

ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและสารไบโอพอลิเมอร์ในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Efficiency of surfactants and biopolymers for PM_{2.5} reduction in a closed chamber



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-Department of Environmental Science

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและสารไปโอพอลิเมอร์ในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด
โดย	น.ส.ขวัญศินี เบ็ญหิม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกษาสีหิ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุพธนา ฉัพพรรณรัตน์)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิมย์ม)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกษาสีหิ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง)	
.....	กรรมการ
(ดร.วัชรภรณ์ สุนสิน)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)	

ขวัญศินี เบ็ญทิม : ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและสารไบโอพอลิเมอร์ในการลดฝุ่นละออง
ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด. (Efficiency of surfactants and
biopolymers for PM_{2.5} reduction in a closed chamber) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ทรรศนีย์
พุกษาสีทธิ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ของการฉีดพ่นสารเคมีที่มี
คุณสมบัติช่วยการเกาะรวมของอนุภาค (Agglomerations) และปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในห้อง
ทดสอบจำลองแบบปิด ทำการศึกษาปัจจัยของสารที่มีต่อประสิทธิภาพการลด PM_{2.5} ได้แก่ ชนิดของสาร ความ
เข้มข้น และปริมาตรของสาร โดยศึกษาประสิทธิภาพของสารไบโอพอลิเมอร์ (เพคติน) สารลดแรงตึงผิว (Tween-
80) สารสูตรตำรับ 5 ชนิด (A-E) และน้ำ เปรียบเทียบความเข้มข้นและปริมาตรที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่
0.05, 0.1 และ 0.5% (W/V, V/V) และ 75, 100 และ 150 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัว
ตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณและการรวมตัวทางกายภาพของฝุ่นหลังผ่านการฉีดพ่นผ่าน
กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ผลการศึกษาพบว่า สารเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100
มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงที่สุด เท่ากับ 66.2±0.2% ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า Tween-80 และ
น้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p < 0.05) และมีอัตราการลด PM_{2.5} เท่ากับ 5
µg/m³.min ซึ่งลดลงเร็วกว่าสารอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ
สูตรตำรับ E ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าสารตำรับอื่นๆ การกระจายตัวตามขนาดของ
อนุภาคหลังจากฉีดพ่นด้วยสารเพคติน Tween-80 สารสูตรตำรับ E มีแนวโน้มการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นที่
ใหญ่กว่า 2.5 ไมครอน (ช่วงขนาด 3.3-5.8 ไมครอน) อย่างชัดเจน แสดงถึงสารดังกล่าวสามารถส่งเสริมการเกาะ
รวมของอนุภาค และลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองที่ฉีดพ่นด้วยสารเพคตินและสารสูตรตำรับ E ซึ่ง
มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นสารพอลิเมอร์มีลักษณะการเกาะรวมเป็นกลุ่มอนุภาคชัดเจนมากกว่าที่ผ่านการฉีดพ่น
ด้วยสาร Tween-80 และน้ำ แสดงให้เห็นว่าสารพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นผ่านกลไกการเกาะรวมกัน
ของอนุภาคฝุ่นได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวและน้ำเปล่า

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สห สาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6280079920 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: PM_{2.5}, bio-polymer, surfactants, water spraying

Kwansinee Benheem : Efficiency of surfactants and biopolymers for PM_{2.5} reduction in a closed chamber. Advisor: Asst. Prof. TASSANEE CHETWITTAYACHAN, Ph.D. Co-advisor: Ratchanon Piemjaiswang, Ph.D.

The objectives of this study were to investigate the PM_{2.5} removal efficiency by using an environmental friendly agglomeration solution in a closed chamber and to examine how the factors including spraying solutions, solution concentration, and solution volume would affect on the removal efficiency of PM_{2.5}. Three volumes (75, 100, and 150 ml) and three concentrations (0.05, 0.1, and 0.5% (W/V, V/V)) of Biopolymer (pectin), surfactant (Tween-80), 5 innovative chemical formulas solutions (A-E) were prepared for the removal testing and compared with water. Size distribution of sprayed particle was quantitatively analyzed and its morphology was inspected by Scanning electron microscope (SEM). The results showed that spraying pectin at 0.5% W/V and 100 ml gave the highest removal efficiency at 66.2±22.6%, and significant higher than those of Tween-80 and water at a confidence level of 95% ($p < 0.05$). Even though pectin could remove PM_{2.5} at the highest rate of 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{min}$, but it was not significantly greater than other solutions and water at 95% confidence interval. Comparing between innovative chemical formulas, E solution when spraying at 100 ml could gave the highest removal efficiency. The particle size distributions after spraying with pectin, Tween-80, E solution were obviously found in the particle size range more than 2.5 microns (the range of 3.3-5.8 micron), which indicated that these solutions could enhance agglomeration of PM_{2.5}. In addition, morphological characteristics of the particle after spraying with pectin and polymer-based solution (E solution) apparently showed better particle agglomeration than those of Tween-80 and water.

Field of Study: Environmental Science

Academic Year: 2021

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านและหลายหน่วยงานที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกกาสิทธิ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำและความรู้อันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนและออกแบบการวิจัย จนถึงขั้นตอนการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังคอยช่วยเหลือและอบรมสั่งสอนผู้วิจัยในเรื่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรุตม์ สหาวิน ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือเพื่อการทำวิจัยและให้ความช่วยเหลือต่างๆ นอกจากนี้ ขอขอบคุณภาควิชาสารสนเทศศาสตร์ คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในความอนุเคราะห์อุปกรณ์การทำวิจัย และขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ร.ต.อ.หญิง เกศษกรหญิง ดร.สุชาติ สุขห่อง คณาจารย์และนักวิจัยประจำคณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์สารสูตรตำรับที่ได้จัดเตรียมเพื่อการทดสอบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการ “ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการรับสัมผัสพีเอ็ม 2.5” ของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษาและการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อุดหนุนทุนวิจัยและความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ตลอดการวิจัย และสุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา รวมถึงเพื่อนๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้องที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน และคอยช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขวัญศินีย์ เบ็ญหิม

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ต
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมติฐาน	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
บทที่ 2	5
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 นิยามของ PM _{2.5}	5
2.1.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก PM _{2.5}	7
2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคาร (indoor air quality)	9
2.2.1 มลพิษอากาศภายในอาคาร (indoor air pollution)	10
2.2.2 สาเหตุการเกิด PM _{2.5} ภายในอาคาร.....	11

2.2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพของ PM _{2.5} ภายในอาคาร.....	12
2.3 เทคนิคการเกาะรวมอนุภาค (agglomeration).....	13
2.3.1 กลไกการเกาะรวมอนุภาคทางฟิสิกส์	15
2.3.2 กลไกการเกาะรวมอนุภาคทางเคมี.....	15
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกาะรวมอนุภาค	16
2.4 สารดักจับฝุ่นละออง.....	17
2.4.1 สารลดแรงตึงผิว	18
2.4.1.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว.....	19
2.4.1.2 กลไกของสารลดแรงตึงผิวในการรวมตัวของอนุภาค	20
2.4.2 สารไบโอพอลิเมอร์	21
2.5 ปัจจัยที่เหมาะสมในสภาวะทดสอบการรวมตัวของอนุภาค.....	22
2.5.1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม.....	22
2.5.2 ปัจจัยของอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ	23
2.5.3 ปัจจัยของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
2.6 เทคนิคการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM).....	24
2.6.1 หลักการทำงานของเครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)	25
2.7 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (factorial design).....	25
2.7.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3 ^k factorial design).....	26
2.7.2 ข้อดีและข้อเสียของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล	27
บทที่ 3	28
วิธีการดำเนินการวิจัย	28
3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย.....	28

3.2 การเตรียมการทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}	29
3.2.1 การเตรียมเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที (real-time).....	29
3.2.2 การเตรียมเครื่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์	29
3.2.3 การเตรียมสารทดสอบในการลดฝุ่น PM _{2.5} (Chemical Agglomeration)	29
3.2.5 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว สารไบโอพอลิเมอร์ ในการลดฝุ่น PM _{2.5}	31
3.3.1 เก็บข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}	31
3.3.2 การเก็บข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ	33
3.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}	34
3.3.4 การวิเคราะห์อัตราการลดลงของ PM _{2.5}	34
3.4 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการฉีดพ่นสารเคมี.....	36
3.4.1 การเตรียมกระดาศกรงสำหรับ gravimetric analysis.....	36
3.4.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฝุ่น	36
3.4.3 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง.....	37
การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ.....	38
บทที่ 4	40
ผลการศึกษาและอภิปรายผล	40
4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM _{2.5} ในห้องทดสอบจำลองแบบปิดที่สภาวะทดสอบต่างๆ	40
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM _{2.5} ในสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร.....	40
4.1.2 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5} ในสภาวะที่ฉีดพ่นน้ำเปล่า	41
4.1.3 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของ PM _{2.5} ในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารละลายเพคติน	44
4.1.4 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของ PM _{2.5} ในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารละลายทวิน-80.....	50

4.1.5 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของ PM _{2.5} ในสถานะที่ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ..	56
4.1.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} จากฉีดพ่นสารละลายทุกชุดทดสอบ	63
4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM _{2.5} ในห้องทดสอบจำลองแบบปิดที่สถานะทดสอบ ต่างๆ	65
4.2.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM _{2.5} ในสถานะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร	65
4.2.2 อัตราการลดลงของปริมาณของ PM _{2.5} ในสถานะที่ฉีดพ่นน้ำเปล่า.....	66
4.2.3 อัตราการลดลงของปริมาณของ PM _{2.5} ในสถานะที่ผ่านการฉีดพ่นสารไบโอพอลิเมอร์	68
4.2.4 อัตราการลดลงของปริมาณของ PM _{2.5} ในสถานะที่ผ่านการฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิว	71
4.3.5 อัตราการลดลงของปริมาณของ PM _{2.5} ในสถานะที่ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ.....	75
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาในการลด PM _{2.5} ด้วยสถิติความแปรปรวนสองตัวแปร..	81
4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5}	81
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับอัตราการลดของ PM _{2.5}	83
4.4 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการฉีดพ่นสารเคมี.....	86
4.4.1 ข้อมูลเชิงปริมาณฝุ่นละอองทุกชุดการทดสอบ	86
4.4.2 ข้อมูลเชิงกายภาพของฝุ่นละอองทุกชุดการทดสอบ	90
บทที่ 5	97
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 สรุปผลการศึกษา	97
5.1.1 ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ด้วยการฉีดพ่นละออง ในห้องทดสอบ จำลองแบบปิด	97
5.1.2 อัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้น PM _{2.5} หลังจากการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมี	98
5.1.3 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการฉีดพ่นสารเคมี ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด	99

5.14 ลักษณะการรวมตัวทางกายภาพของอนุภาคฝุ่น หลังการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมี ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด	99
5.2 ข้อเสนอแนะ	99
บรรณานุกรม.....	101
ภาคผนวก.....	108
ภาคผนวก ก	109
การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} แบบอ่านค่าทันทีโดยไม่ฉีดพ่นสารเคมี (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร).....	109
ภาคผนวก ข	110
การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยน้ำ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร).....	110
ภาคผนวก ค	113
การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยสารเพคติน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร).....	113
ภาคผนวก ง.....	122
การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยสารทวิน-80 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร).....	122
ภาคผนวก จ	131
การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร).....	131
ภาคผนวก ฉ	147
การตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของทุกชุดทดสอบ ภายในห้องทดสอบระบบปิด (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร).....	147
ภาคผนวก ช	160
ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM _{2.5} (Removal Rate) ของการฉีดพ่นละอองทุกชุดทดสอบ.....	160

ภาคผนวก ฉ	170
การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis.....	170
ภาคผนวก ฉ ภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	172
ภาคผนวก ฉ.....	176
ผลการควบคุมคุณภาพของเครื่องชั่งน้ำหนักในการชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง	176
ภาคผนวก ฉ.....	178
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS	178
ประวัติผู้เขียน.....	221



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในอาคาร	10
ตารางที่ 2 ข้อมูลรายละเอียดของสารทดสอบ	32
ตารางที่ 3 รูปแบบการทดลองแบบ 3^k factorial design ที่สภาวะการทดสอบต่างๆ.....	33
ตารางที่ 4 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี ตลอดระยะเวลา 60 นาที.....	40
ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่ฉีดพ่นน้ำเปล่าตลอดระยะเวลา 60 นาที	43
ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพของสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.05% w/v ในการลด $PM_{2.5}$ ตลอดระยะเวลา 60 นาที.....	46
ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.05% V/V ตลอด ระยะเวลา 60 นาที.....	51
ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพของสารละลายสูตรตำรับในการลด $PM_{2.5}$ ตลอดระยะเวลา 60 นาที	60
ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตร ชนิดของสารทดสอบที่มีผล ต่อประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$	82
ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตร ชนิดของสาร ทดสอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$	83
ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ในช่วง 12 นาทีแรกของการ ทดสอบ ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตรและชนิดของสารทดสอบ.....	85
ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (removal rate) ตลอด ระยะเวลา 60 นาที ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตรและชนิดของสารทดสอบ.....	85
ตารางที่ 13 ลักษณะสัญญาณวิทยาตามการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นผ่านการฉีดพ่นสาร	94
ตารางที่ 14 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบอ่านค่าทันทีโดยไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี	109

ตารางที่ 15 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นน้ำเปล่า ปริมาตร 75 มิลลิลิตร	110
ตารางที่ 16 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นน้ำเปล่า ปริมาตร 100 มิลลิลิตร	111
ตารางที่ 17 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นน้ำเปล่า ปริมาตร 150 มิลลิลิตร	112
ตารางที่ 18 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.05% W/V 75 มิลลิลิตร	113
ตารางที่ 19 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.05% W/V 100 มิลลิลิตร	114
ตารางที่ 20 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.05% W/V 150 มิลลิลิตร	115
ตารางที่ 21 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.1% W/V 75 มิลลิลิตร	116
ตารางที่ 22 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.1% W/V 100 มิลลิลิตร	117
ตารางที่ 23 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.1% W/V 150 มิลลิลิตร	118
ตารางที่ 24 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.5% W/V 75 มิลลิลิตร	119
ตารางที่ 25 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.5% W/V 100 มิลลิลิตร	120
ตารางที่ 26 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.5% W/V 150 มิลลิลิตร	121
ตารางที่ 27 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.05% W/V 75 มิลลิลิตร	122

ตารางที่ 28 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.05% W/V 100 มิลลิลิตร	123
ตารางที่ 29 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.05% W/V 150 มิลลิลิตร	124
ตารางที่ 30 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.1% W/V 75 มิลลิลิตร	125
ตารางที่ 31 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.1% W/V 100 มิลลิลิตร	126
ตารางที่ 32 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.1% W/V 150 มิลลิลิตร	127
ตารางที่ 33 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.5% W/V 75 มิลลิลิตร	128
ตารางที่ 34 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.5% W/V 100 มิลลิลิตร	129
ตารางที่ 35 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.5% W/V 150 มิลลิลิตร	130
ตารางที่ 36 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ A 75 มิลลิลิตร	131
ตารางที่ 37 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ A 100 มิลลิลิตร	132
ตารางที่ 38 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ A 150 มิลลิลิตร	133
ตารางที่ 39 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ B 75 มิลลิลิตร	134
ตารางที่ 40 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ B 100 มิลลิลิตร	135
ตารางที่ 41 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ B 150 มิลลิลิตร	136
ตารางที่ 42 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ C 75 มิลลิลิตร	137

ตารางที่ 43 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ C 100 มิลลิลิตร	138
ตารางที่ 44 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ C 150 มิลลิลิตร	139
ตารางที่ 45 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ D 75 มิลลิลิตร	140
ตารางที่ 46 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ D 100 มิลลิลิตร	141
ตารางที่ 47 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ D 150 มิลลิลิตร	142
ตารางที่ 48 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ E 75 มิลลิลิตร	143
ตารางที่ 49 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ E 100 มิลลิลิตร	144
ตารางที่ 50 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ E 150 มิลลิลิตร	145
ตารางที่ 51 ผลการคำนวณค่าปริมาณฝุ่นเริ่มต้นที่แตกต่างกันของสารทุกชุดทดสอบ	146
ตารางที่ 52 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นระหว่างสภาวะทดสอบของไม่ฉีดพ่นสารและฉีดพ่นละอองด้วยน้ำเปล่า	147
ตารางที่ 53 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาระหว่างการทดสอบ สภาวะทดสอบที่ฉีดพ่นละอองด้วยสารละลายเพคติน	149
ตารางที่ 54 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาระหว่างการทดสอบ สภาวะทดสอบที่ฉีดพ่นละอองด้วยสารละลายทวิน-80	152
ตารางที่ 55 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาระหว่างการทดสอบ สภาวะทดสอบที่ฉีดพ่นละอองด้วยสารสูตรตำรับ A-B	154
ตารางที่ 56 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาระหว่างการทดสอบ สภาวะทดสอบที่ฉีดพ่นละอองด้วยสารสูตรตำรับ C-E	157
ตารางที่ 57 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM _{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรก โดยไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร	160

ตารางที่ 58 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM _{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่าน การฉีดพ่นละอองด้วยน้ำเปล่า	160
ตารางที่ 59 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM _{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่าน การฉีดพ่นด้วยสารเพคติน	161
ตารางที่ 60 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM _{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่าน การฉีดพ่นด้วยสารทวิน-80.....	162
ตารางที่ 61 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM _{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่าน การฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ A-E.....	163
ตารางที่ 62 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของฝุ่น PM _{2.5} (Removal Rate) ตลอดระยะเวลา 60 นาทีของทุกชุดทดสอบ	165
ตารางที่ 63 ผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละออง	170
ตารางที่ 64 ค่า Normalization Concentration ของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง	171
ตารางที่ 65 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่ มีขนาดอนุภาค 1000x	172
ตารางที่ 66 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่ มีขนาดอนุภาค 5000x	174
ตารางที่ 67 ผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม.....	176
ตารางที่ 68 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าระหว่างปริมาตร ทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	178
ตารางที่ 69 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารละลายเพคตินระหว่างปริมาตรทั้ง สามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	178
ตารางที่ 70 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรตำรับ A ระหว่างปริมาตรทั้ง สามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	179
ตารางที่ 71 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรตำรับ B ระหว่างปริมาตรทั้ง สามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	179
ตารางที่ 72 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรตำรับ C ระหว่างปริมาตรทั้ง สามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	180

ตารางที่ 73 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรสำหรับ D ระหว่างปริมาตรทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	180
ตารางที่ 74 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรสำหรับ E ระหว่างปริมาตรทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	181
ตารางที่ 75 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างประสิทธิภาพของชนิดสารแต่ละสารทดสอบ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	181
ตารางที่ 76 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างประสิทธิภาพของสารทดสอบของปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของสาร ความเข้มข้นและปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA.....	184



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ตัวอย่าง PM _{2.5} รูปทรงกลมที่มีแหล่งกำเนิดจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน	6
รูปที่ 2 ภาพ SEM ของอนุภาค PM _{2.5} จากโรงไฟฟ้าถ่านหินที่มีรูปทรงแบบคริสตัล.....	6
รูปที่ 3 ภาพ SEM ของ PM _{2.5} สเกลบาร์: 1 ไมครอน.....	7
รูปที่ 4 การชนกันหรือรวมตัวกันของฝุ่นด้วยหลักการเกาะรวมอนุภาค	14
รูปที่ 5 สารลดแรงตึงผิว	19
รูปที่ 6 การออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียล กรณีที่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน	26
รูปที่ 7 การออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียล กรณีที่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน	26
รูปที่ 8 ห้องทดสอบจำลองแบบปิด (Closed chamber).....	28
รูปที่ 9 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ภายในห้องทดสอบระบบปิด.....	30
รูปที่ 10 รายละเอียดและลำดับขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	39
รูปที่ 11 ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดสอบโดยไม่ผ่านการฉีดพ่น สารเคมี	41
รูปที่ 12 ประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า (a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร.....	44
รูปที่ 13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าและชุดควบคุม.....	44
รูปที่ 14 ประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินความเข้มข้นต่างกัน ..	47
รูปที่ 15 ประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินปริมาตรต่างกัน (a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (c) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร	49
รูปที่ 16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} หลังการฉีดพ่นระหว่างสารละลายเพคตินและน้ำ	50
รูปที่ 17 ประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ความเข้มข้นต่างกัน	53
รูปที่ 18 ประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ปริมาตรต่างกัน (a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (c) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร	54

รูปที่ 19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นระหว่างสารละลายเพคติน ทวิน-80 น้ำ และชุดควบคุม.....	56
รูปที่ 20 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ จากการฉีดพ่นสารละลาย A-E (a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (C) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร	61
รูปที่ 21 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ จากการฉีดพ่นสารละลาย A-E เปรียบเทียบกับน้ำและชุดควบคุม.....	62
รูปที่ 22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังจากฉีดพ่นสารละลายทุกชุดทดสอบ	64
รูปที่ 23 แนวโน้มปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ลดลงทุกๆ 3 นาที ในสถานะที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร.....	66
รูปที่ 24 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกโดยไม่มีการฉีดพ่นสาร..	66
รูปที่ 25 อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า	67
รูปที่ 26 ปริมาณการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า เปรียบเทียบกับชุดควบคุม.....	67
รูปที่ 27 อัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า.....	68
รูปที่ 28 ปริมาณที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารเพคตินที่ความเข้มข้นเดียวกัน (a) 0.05% W/V (b) 0.1% W/V (c) 0.5% W/V.....	69
รูปที่ 29 ปริมาณที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารเพคตินที่ปริมาตรเดียวกัน (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร.....	70
รูปที่ 30 อัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารเพคตินเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร	70
รูปที่ 31 เปรียบเทียบอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารเพคติน	71
รูปที่ 32 อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของ $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ที่ปริมาตรแตกต่างกัน (a) 0.05 %v/v (b) 0.1 %v/v (c) 0.5 %v/v ...	72

รูปที่ 33 อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของ $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร 73

รูปที่ 34 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร 74

รูปที่ 35 เปรียบเทียบอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยด้วยสารละลายทวิน-80 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า..... 75

รูปที่ 36 การเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของ $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) จากการฉีดพ่นสารละลาย A-E... 76

รูปที่ 37 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร 76

รูปที่ 38 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า..... 77

รูปที่ 39 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นของสารละลายทุกชุดทดสอบ..... 78

รูปที่ 40 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ตลอดการทดสอบ 60 นาทีหลังการฉีดพ่นของสารละลายทุกชุดทดสอบ..... 79

รูปที่ 41 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นด้วยข้อมูลเชิงปริมาณความเข้มข้นของสารทุกชุดทดสอบ 87

รูปที่ 42 ค่า Normalization ของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองของทุกชุดสารทดสอบ 90

รูปที่ 43 ลักษณะสัณฐานวิทยาตามการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นจากการเผาไหม้รูปเปล่า 91

รูปที่ 44 ลักษณะสารเปือกที่พบของอนุภาคฝุ่นจากการเผาไหม้รูปเปล่าไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี... 92

รูปที่ 45 Control chart แสดงผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม..... 177

รูปที่ 46 Control chart แสดงผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม..... 177

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลพิษทางอากาศภายในอาคาร (indoor air pollution) เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญในพื้นที่เขตเมืองและมีการจัดอันดับปัญหามลพิษภายในอาคารให้เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ทำการกิจกรรมภายในอาคาร (Smith, 1993) มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นภายในอาคารกำลังเป็นที่สนใจและมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากประชาชนใช้เวลาส่วนใหญ่ภายในอาคารมากถึงร้อยละ 90 ของเวลาทั้งหมดในแต่ละวัน (United States Environmental Protection Agency, 2017; Department for Education, 2016) โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ซึ่งเป็นหนึ่งในสารที่องค์การอนามัยโลกจัดว่าเป็นหนึ่งในแปดของตัวชี้วัดมาตรฐานคุณภาพอากาศและเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ (WHO, 2015) เนื่องจากเป็นสารที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถเดินทางเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและซึมผ่านผนังปอดเข้าสู่กระแสเลือด และเป็นสารที่เป็นพาหะของสารอื่น เช่น ปรอท สารโลหะหนัก สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น ซึ่งหากได้รับเป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดมะเร็งต่อผู้รับสัมผัสได้ (Tran et al., 2020)

การรับสัมผัส PM_{2.5} ภายในอาคารมีหลายสาเหตุ โดยอาจมาจากการเคลื่อนที่ของมลพิษทางอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และจากแหล่งกำเนิดภายในอาคารเอง ทั้งนี้มลพิษทางอากาศจากภายนอกอาคารสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ โดยผ่านการระบายอากาศหรือการแทรกซึมผ่านช่องว่าง รอยต่อ และรอยรั่วบนผนัง พื้น และเพดาน (Chen และ Zhao, 2011) รวมถึงทางประตูและหน้าต่าง (Thornburg et al., 2001) ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองและมลพิษในอาคารเพิ่มมากขึ้น และจากการศึกษาทางระบาดวิทยาหลายชิ้นแสดงให้เห็นว่าการสัมผัส PM_{2.5} ภายในอาคารของแหล่งกำเนิดภายนอกอาคารนั้นเป็นอันตรายมากกว่า เมื่อเทียบกับการสัมผัสกับอนุภาคที่ปล่อยออกมาภายในอาคาร (Ebelt et al., 2005) อีกทั้งภายในอาคารเองก็มีแหล่งกำเนิดที่อาจก่อให้เกิดฝุ่น PM_{2.5} ได้เช่นกัน อาทิ มีการใช้สีทาผนังซึ่งเต็มไปด้วยสารเคมีต่างๆ มีความชื้น รอยร้าวซึม รวมถึงการประกอบอาหารภายในอาคาร โดยการประกอบอาหารสามารถก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ภายในอาคารคิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 61.9 เมื่อเทียบกับฝุ่นจากภายนอกอาคาร (Chao และ Cheng, 2002) หรือการสูบบุหรี่ เป็นต้น ทั้งหมดส่งผลให้ผู้รับสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} มีอาการอ่อนเพลีย

ง่าย ปวดหัว ไอ จาม คลื่นไส้และหายใจไม่สะดวก ดังนั้น ปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ภายในอาคารจะแปรผันตรงกับปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคาร หากปริมาณฝุ่นภายนอกสูงฝุ่นภายในอาคารก็จะสูงตามไปด้วย (Jinsart et al., 2002)

จากการศึกษาพบว่ามีหลายวิธีที่ช่วยลดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ภายในอาคารได้ ได้แก่ การใช้เครื่องฟอกอากาศ เครื่องกรองอากาศ และเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งการใช้สเปรย์หรือฉีดพ่นละอองน้ำ ซึ่งการฉีดพ่นละอองน้ำเป็นนวัตกรรมใหม่ที่มีข้อดีในด้านการใช้งานที่สะดวกรวดเร็ว และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านค่าใช้จ่ายที่ถูกลงเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องฟอกอากาศ หรือเครื่องปรับอากาศ โดยมีกลไกในการทำให้ฝุ่นละอองที่ลอยในอากาศเกิดการเกาะรวมกัน ส่งผลให้ฝุ่นละอองเกิดการเกาะรวมกันจนมีน้ำหนักและตกลงสู่พื้นได้ แต่การใช้เพียงน้ำพบว่ามีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จึงมีการพัฒนาใช้สารเคมีร่วมกับการฉีดพ่นละอองน้ำ ซึ่งจากการศึกษาของ Bin et al. (2018) พบว่าการรวมตัวกันของอนุภาคฝุ่นด้วยสารเคมีให้ผลลัพธ์ที่ดีอย่างมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น โดยปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าอนุภาคของฝุ่นละอองมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเพิ่มขึ้น ดังนั้นการรวมตัวทางเคมีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองได้อย่างมากด้วยการรวมอนุภาคขนาดเล็กให้เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น (Lewandowski และ Kawatra, 2009a) แต่เนื่องจากการฉีดพ่นละอองน้ำเพื่อลดฝุ่นยังมีข้อจำกัดในด้านสารเคมีที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิว และอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยังมีการศึกษาข้อมูลด้านสภาวะและปัจจัยที่เหมาะสมต่อการใช้งานภายในอาคารเพียงเล็กน้อย

ดังนั้น งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการฉีดพ่นละอองเพื่อลดฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยใช้สารที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิว ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว(Tween-80) และสารไบโอพอลิเมอร์(เพคติน) ซึ่งมีกลไกการดักจับอนุภาคที่เป็นละอองลอยในอากาศให้เกิดการเกาะรวมเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้นจนตกลงสู่พื้น (chemical agglomeration) รวมทั้งทดสอบสภาวะและปัจจัยที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้สารในการลดฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ฟุ้งกระจายในอากาศให้ตกลงสู่พื้นได้ง่ายขึ้น และดูลักษณะการเกาะรวมทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อสามารถนำข้อมูลไปพัฒนาและต่อยอดสำหรับการใช้ในพื้นที่จริง และตอบสนองต่อความต้องการของผู้อาศัยทั้งในอาคารและพื้นที่ปิดต่าง ๆ ได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว สารไปโอพอลิเมอร์ สารสูตรตำรับ และน้ำในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยการฉีดพ่นละออง
2. เพื่อวิเคราะห์สภาวะและปัจจัยที่เหมาะสมของประสิทธิภาพผ่านการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารไปโอพอลิเมอร์ในการลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

1.3 สมมติฐาน

1. สารลดฝุ่นของกลุ่มสารลดแรงตึงผิวและสารไปโอพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ที่ฟุ้งกระจายในอากาศดีกว่าน้ำ
2. การเพิ่มความเข้มข้นและปริมาณส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ได้ดีที่สุด

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการในสภาวะปิด (chamber test) ที่ขนาดความกว้าง 300 เซนติเมตร ความยาว 200 เซนติเมตร และความสูง 200 เซนติเมตร
2. วิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดปริมาณฝุ่นละอองผ่านการฉีดพ่นละออง จากสาร 2 กลุ่ม ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวและสารไปโอพอลิเมอร์ โดยอาศัยหลักการเกาะรวมทางเคมี
3. การเผาไหม้รูปเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
4. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพสารลดฝุ่นในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ได้แก่ ความเข้มข้นของสาร ปริมาณของสารที่ฉีดพ่น และขนาดหัวฉีดพ่นละออง
5. วิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ผ่านเครื่องวัดค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน แบบอ่านค่าทันที
6. ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดจริง โดยทำการเก็บแบบ gravimetric method ร่วมด้วย และข้อมูลชนิดของสารเคมีได้มาจากการรวบรวมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
7. ศึกษาลักษณะของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบประสิทธิภาพของการลดฝุ่นละอองด้วยวิธีการฉีดพ่นละอองด้วยหลักการเกาะรวมทางเคมี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเคมีกลุ่มสารลดแรงตึงผิว สารไบโอพอลิเมอร์ สารสูตรตำรับ และน้ำ
2. สามารถนำข้อมูลและวิธีการมาต่อยอดเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพสำหรับใช้ภายในอาคาร และพื้นที่เปิด หรืออุตสาหกรรมต่างๆ



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของ PM_{2.5}

Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) หรือฝุ่นละอียด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของฝุ่นในกระแสอากาศ (aerodynamic diameter) ไม่เกิน 2.5 ไมครอน (WHO, 2015) PM_{2.5} เป็นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สามารถเทียบขนาดอย่างง่าย ๆ คือ ขนาดประมาณ 1 ใน 25 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์ PM_{2.5} จัดเป็นฝุ่นละอียดจึงทำให้คนจมูกของมนุษย์ไม่สามารถกรองได้ อีกทั้งยังมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

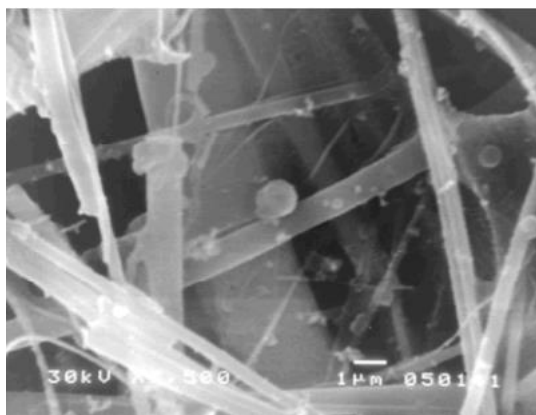
2.1.1 แหล่งกำเนิดของ PM_{2.5}

แหล่งกำเนิด PM_{2.5} สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

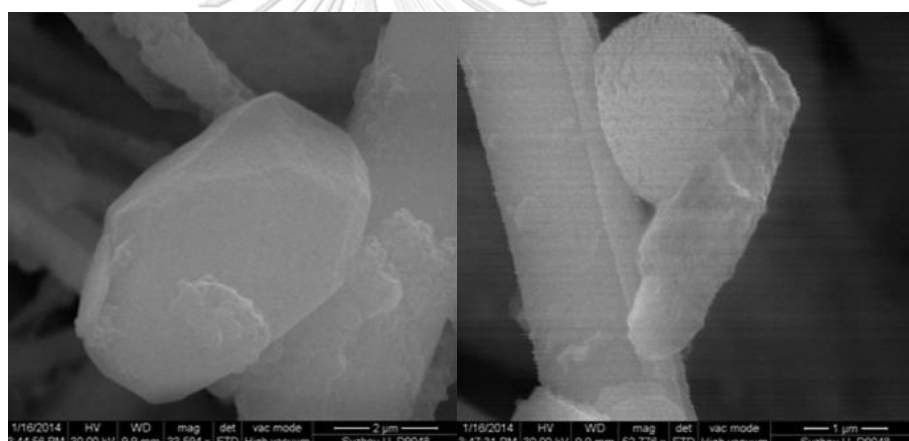
1) แหล่งกำเนิดปฐมภูมิ (primary particle) เป็นแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่น จากฝุ่นละอองดินที่ฟุ้งปลิวจากพื้นดินหรือจากพื้นที่เกษตรกรรม ไฟป่า และการเผาในที่โล่ง ได้แก่ การเผาเศษหญ้า เศษไม้ขยะมูลฝอยที่อยู่ตามบ้านเรือน การเผาหญ้า วัชพืช ชีวมวล เพื่อเตรียมพื้นที่ทางการเกษตร และการเผาในพื้นที่ป่าสงวนและป่าอนุรักษ์ เพื่อหาของป่าและล่าสัตว์

2) แหล่งกำเนิดทุติยภูมิ เป็นแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดฝุ่นควัน การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้าง การเผาขยะมูลฝอยและการเผาในที่โล่ง PM_{2.5} สามารถลอยอยู่ในอากาศได้เป็นวันถึงหลายสัปดาห์และลอยไปไกลจากแหล่งกำเนิดได้ถึง 100 – 1,000 กิโลเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อระยะทางและเวลา ได้แก่ ความเร็วลม ความกดอากาศ ความชื้น สภาพอากาศ แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง และขนาดของฝุ่น และเมื่อ PM_{2.5} มีการแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ กระแสเลือด และแทรกซึมสู่อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย จึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงทำให้เกิดเป็นโรคเรื้อรังและมะเร็งได้ (Chairattanawan and Patthirasinsiri, 2020)

โดยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สามารถพบได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดดังกล่าวข้างต้น ลักษณะของฝุ่น PM_{2.5} จากแหล่งกำเนิดจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน ดังปรากฏในรูปที่ 1 ซึ่งในบางครั้งแหล่งกำเนิดอาจไม่สามารถบอกลักษณะของฝุ่นละอองได้ เนื่องจากลักษณะของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ อาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้น นั่นคือแหล่งกำเนิดเดียวกันอาจมีรูปร่างของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ที่แตกต่างกัน ดังปรากฏในรูปที่ 2 ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ถ่านหินเช่นกัน



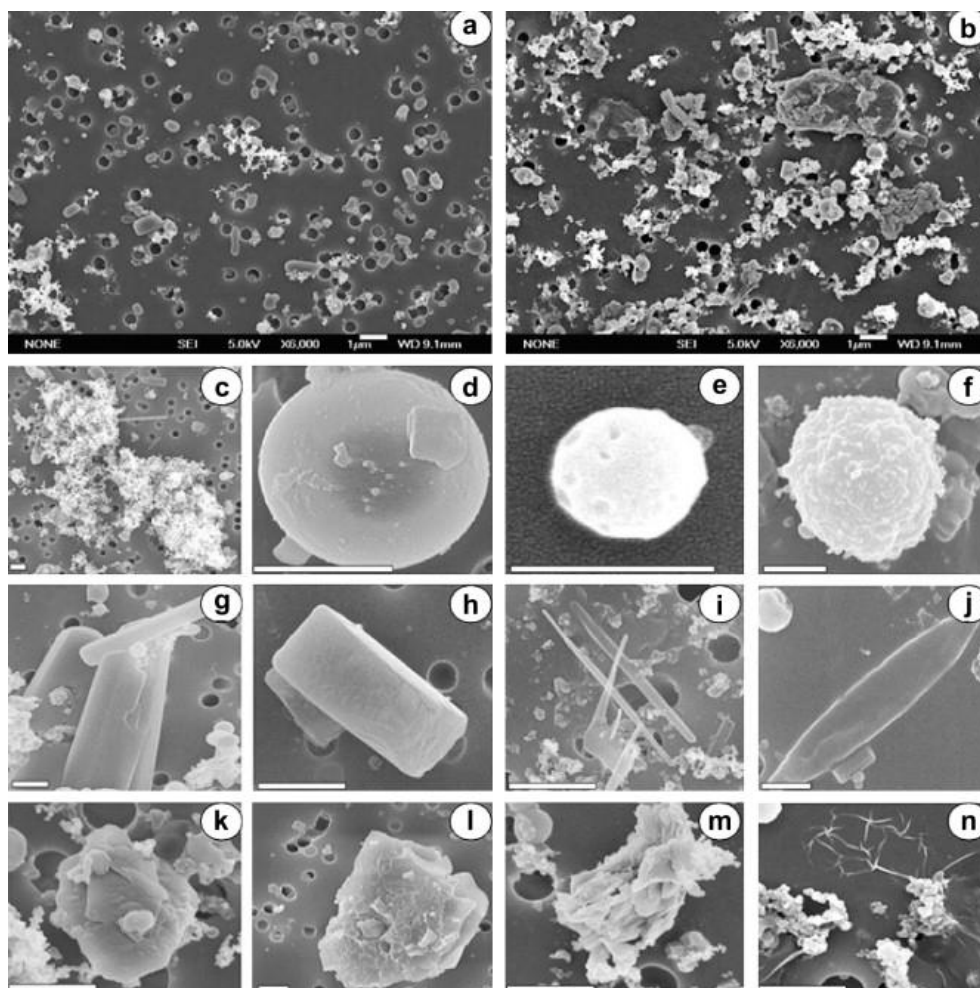
รูปที่ 1 ตัวอย่าง PM_{2.5} รูปทรงกลมที่มีแหล่งกำเนิดจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน
ที่มา: (Tasić et al., 2006)



รูปที่ 2 ภาพ SEM ของอนุภาค PM_{2.5} จากโรงไฟฟ้าถ่านหินที่มีรูปทรงแบบคริสตัล
ซึ่งมีพื้นผิวด้านบนเรียบและหยาบ ตามลำดับ

ที่มา: (Shi et al., 2015)

จากการศึกษาของ Senlin et al. (2008) ได้มีการจำแนกลักษณะพื้นฐานของ PM_{2.5} ออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ รูปทรงแบบปกติ และรูปทรงแบบผิดปกติ ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ดังปรากฏในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพ SEM ของ PM_{2.5} สเกลบาร์: 1 ไมครอน.

(a) ภาพ SEM ของตัวอย่างชานเมือง (b) ภาพ SEM ของตัวอย่างในเมือง (c) เขม่ารวม (d) ถั่วถ่านหิน (e) อนุภาคทางชีวภาพ (ละอองเรณู); (f) อนุภาคทางชีวภาพ (g) อนุภาคแร่ซิลเฟต (h) อนุภาคแร่ซิลเฟต (i) อนุภาคแร่รูปพิน (j) อนุภาคแร่ละลาย (k) อนุภาคแร่ที่ผิดปกติ (l) อนุภาคแร่ที่ผิดปกติ (m) อนุภาคแร่ที่ผิดปกติ (n) อนุภาคที่ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้

ที่มา: (Senlin et al., 2008)

2.1.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก PM_{2.5}

1. สภาพทั่วไป PM_{2.5} ที่ส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัย

การเกิด PM_{2.5} ทำให้ลดระยะทางการมองเห็น บดบังทัศนวิสัยในการมองเห็นให้ลดลง โดยระยะทางการมองเห็นผ่านอากาศจะลดลงถึง 25-45 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีในบรรยากาศมีทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว สามารถดูดซับและทำให้เกิดการหักเหแสงได้ ส่งผลให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบผิวโลกลดลง นอกจากนี้ฝุ่นละอองยังเป็นอนุภาคที่ทำให้เกิดการกลั่นตัว

ของเมฆในบรรยากาศทำให้เกิดกระบวนการดูดซับความชื้นในอากาศให้เกิดได้เร็วขึ้นและก่อตัวกลายเป็นเม็ดน้ำและเกิดเป็นกลุ่มเมฆจำนวนมาก

2. ด้านเศรษฐกิจ

การเกิดปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5} ได้ส่งผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยที่มีแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ ซึ่งผลกระทบที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือ การท่องเที่ยวมีรายได้ลดลง ผลกระทบนี้เกิดขึ้นกับบริษัท องค์กร หรือรายได้อื่นๆ ของประชาชนก็น้อยลงด้วย ไม่ว่าจะเป็นแม่ค้าหาบเร่ แผงลอย ร้านค้าริมถนน วินมอเตอร์ไซค์รับจ้าง ในขณะที่รายจ่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากประชาชนไม่แข็งแรง มีการเจ็บป่วยทำให้ต้องเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายสุขภาพมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ค่ารักษาพยาบาล ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และอื่นๆ อีกมากมาย

3. ด้านคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม

PM_{2.5} เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (fine particle) ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ทั้งแบบเฉียบพลัน (นับเป็นชั่วโมงหรือวัน) และแบบเรื้อรัง (นับเป็นเดือนหรือปี) ในทุกเพศ ทุกวัย และสามารถเห็นผลทันทีในเด็กและคนชราที่มีความต้านทานหรือภูมิคุ้มกันของโรคต่ำกว่าคนปกติ อาการที่พบเห็นในระยะเฉียบพลัน คือ การระคายเคืองจมูก คอ และดวงตา นอกจากนี้ยังมีอาการไอ จาม น้ำมูกไหล การหายใจติดขัด ส่วนอาการที่พบเห็นในระยะยาวหรือแบบเรื้อรังจะเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน นี้สามารถเข้าไปถึงกระแสเลือด ทำให้เลือดข้นขึ้นและยังสามารถเข้าไปที่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอด และยังส่งผลต่อการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดผ่านปอดและหัวใจ ส่งผลให้สมรรถภาพการทำงานของปอดลดลงและหัวใจทำงานหนักขึ้น ซึ่งนำไปสู่โรคหอบหืดเรื้อรัง และโรคหัวใจได้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าผู้ที่อยู่ในสถานที่ ๆ มี PM_{2.5} สูง ในระยะยาวอาจส่งผลให้เกิดโรคสมองเสื่อมได้อีกด้วย ซึ่งจากที่กล่าวมาสรุปได้ว่าผู้ที่หายใจรับฝุ่นพิษ PM_{2.5} เข้าไปจะลดอายุขัยเฉลี่ยได้จึงเกิดคำว่า “ผู้ที่เสียชีวิตก่อนวัยอันควร” จากการศึกษาวิจัยของเฉลิม ลิ่วศรีกุลและคณะ (2545) เกี่ยวกับ ฝุ่นพิษที่เกิดขึ้นกับตำรวจจราจรในเมืองเชียงใหม่ แม้ว่าจะได้ใช้หน้ากากป้องกันฝุ่นละอองในการปฏิบัติงานแล้วก็ตาม ผลการศึกษาพบว่าอาการทางระบบทางเดินหายใจที่พบบ่อยที่สุดในตำรวจจราจรคือ อาการไอ และ เมื่อการศึกษาอย่างลึกซึ้งในทางการแพทย์ได้พบว่า ตำรวจจราจรในเมืองเชียงใหม่มีความผิดปกติใน ด้านอาการของโรกระบบทางเดินหายใจและความผิดปกติของสมรรถภาพปอด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา และวิจัยของ อุษณีย์วิจิเขตคานวน และชนิษฐา พันธุ์ธัม (2550) ที่พบว่า PM_{2.5} ทำให้เกิดความเป็นพิษที่เซลล์ถุงลมปอด เซลล์เม็ดเลือดขาวจากปอดและเซลล์เยื่อหุ้มหลอดลม จึงทำให้ผู้ได้รับ PM_{2.5} ส่วนใหญ่จะเสียชีวิตจากการเป็น

โรคหัวใจล้มเหลวและโรคหลอดเลือดหัวใจ แต่หากมีการควบคุม $PM_{2.5}$ ให้ลดลงได้จะสามารถลดจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้สูงอายุและยังลดจำนวนผู้ป่วยเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคหัวใจล้มเหลวและโรคหลอดเลือดหัวใจ

นอกจากนี้เด็กและผู้หญิง หากได้รับ $PM_{2.5}$ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของปอด ระบบหายใจ และทำให้คนที่เป็โรคหอบหืดอยู่แล้วมีอาการที่แยลง สำหรับหญิงมีครรภ์เมื่อได้รับ $PM_{2.5}$ จะส่งผลกระทบต่อเด็กอาจคลอดก่อนกำหนด และเมื่อคลอดออกมาจะมีน้ำหนักน้อย ตัวเล็กและส่งผลกระทบต่อระบบประสาทและโรคเบาหวานในเด็ก

2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคาร (indoor air quality)

คุณภาพอากาศภายในอาคาร หมายถึง สภาวะที่อากาศภายในอาคารอาจไม่มีสิ่งเจือปน หรือมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณที่อาจจะทำหรือไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ต่อทรัพย์สินของมนุษย์หรือต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบๆ อาคาร หากปริมาณสิ่งปนเปื้อนต่ำกว่าระดับที่จะก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวจะถือว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในระดับดี เหมาะสำหรับการอยู่อาศัย แต่ถ้าปริมาณสิ่งปนเปื้อนเท่ากับหรือสูงกว่าระดับที่จะก่อให้เกิดปัญหาจะถือว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารนั้นไม่ดี ไม่เหมาะสำหรับการอยู่อาศัย (Maroni et al., 1995)

มลพิษทางอากาศภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดมาจากภายนอกอาคารและภายในอาคารเอง โดยสิ่งปนเปื้อนจากภายในอาคารมีสาเหตุจากแหล่งกำเนิดหลายประเภทจากภายในอาคาร เช่น เฟอร์นิเจอร์ พรม ฝ้าผ้า ฉนวนกันความร้อน น้ำยาทำความสะอาดพื้น สีทาผนัง กาว น้ำหอมปรับอากาศ ยาฆ่าแมลง สารทำความสะอาด ฝุ่นละออง เชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งลักษณะกิจกรรมหรือลักษณะส่วนบุคคลของผู้อาศัยหรือผู้ใช้อาคาร (Forouzanfar et al., 2016)

นอกจากนี้องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาและหน่วยงานอื่น ๆ ได้ดำเนินการสำรวจและพบว่าสิ่งแวดล้อมภายในอาคารมีมลพิษมากกว่าภายนอกอาคารสูงเป็นอัตรา 2-10 เท่า และมีการจัดอันดับปัญหามลพิษในอาคารเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อาศัย (Smith, 1993)มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นภายในอาคารกำลังเป็นที่สนใจและมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากมนุษย์ใช้เวลาร้อยละ 80-90 อยู่ในอาคาร ซึ่งอาจเป็นที่อยู่อาศัย สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงเรียน และโรงพยาบาล อาจจะใช้เวลาอยู่ในอาคารวันละไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง โดยในแต่ละวันมนุษย์ต้องหายใจเอาอากาศเข้าสู่ปอดประมาณ 10,000-15,000 ลิตร และจะมีสารพิษต่างๆ ปะปนเข้าสู่ร่างกายมากขึ้นแตกต่างกัน

จากผลกระทบทางสุขภาพต่อประชาชนจึงจำเป็นต้องมีค่ามาตรฐานทั้งระยะสั้น 24 ชั่วโมง และระยะยาวคือ 1 ปี (ตารางที่ 1) โดยค่าเฉลี่ยระยะยาว 1 ปีของ $PM_{2.5}$ นั้นกำหนดระดับต่ำสุดที่ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าที่เริ่มมีผลทำให้อัตราการตายสูงขึ้น โดยอ้างอิงข้อมูลจากสมาคมโรคมะเร็งแห่งสหรัฐอเมริกา American Cancer Society's : ACS (Pope Iii et al., 2002); (Krewski et al., 2009) จากการศึกษาพบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัส $PM_{2.5}$ ในระยะยาวกับอัตราการตาย โดยปริมาณค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่ผ่านมาเท่ากับ 18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (11.0 – 29.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ใน 6 เมืองที่ทำการศึกษา และจากการศึกษาของ ACS ค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่สัมพันธ์กับอัตราการตายที่เพิ่มขึ้นคือ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (9.0 – 33.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แต่ทั้งการศึกษายังไม่สามารถกำหนดค่า Threshold ได้ว่าค่าที่ปลอดภัยสำหรับประชากรทุกคนควรเป็นเท่าไร แต่จากการศึกษาของ (Dockery and Pope, 1994) พบว่าความเสี่ยงต่ออัตราการตายที่เพิ่มขึ้นยังเหมือนเดิมในเมืองที่ทำการศึกษาที่มีค่าความเข้มข้นระยะยาวของ $PM_{2.5}$ ต่ำสุด คือ 11-12.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงสรุปได้ว่า ปริมาณของ $PM_{2.5}$ ที่มีผลต่อสุขภาพที่ต่ำสุด คือ 11-15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น World Health Organization: WHO ได้สร้างมาตรฐานคุณภาพอากาศ (air quality guideline) ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานที่ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดังกล่าวได้ทำการศึกษาทั้งการสัมผัสในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งพบว่ามีความปลอดภัยในระดับหนึ่ง และสามารถลดความเสี่ยงลงไปได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในอาคาร

ฝุ่นละออง	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 25 มคก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 10 มคก./ลบ.ม.

ที่มา: องค์การอนามัยโลก (WHO, 2006)

ทั้งนี้กรมควบคุมมลพิษของประเทศไทย ได้กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองเฉลี่ย 1 ปี 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ ในอาคารที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

2.2.1 มลพิษอากาศภายในอาคาร (indoor air pollution)

มลพิษอากาศภายในอาคารมีลักษณะการปลดปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แหล่งกำเนิดที่ปลดปล่อยมลพิษอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น วัสดุก่อสร้าง และอุปกรณ์ตกแต่งอาคาร และแหล่งกำเนิดที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นครั้งคราว โดยขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้น

ภายในอาคาร เช่น การสูบบุหรี่ การประกอบอาหาร การปรับปรุงและตกแต่งอาคารใหม่ การใช้สเปรย์ปรับอากาศ และการใช้ยาฆ่าแมลง (Prevention and Incorporated, 1995)

Wang et al. (2017) ทำการศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ และองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากภายในอาคารโรงพยาบาล 4 แห่ง และภายนอกอาคารที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ในเมืองกวางซู ประเทศจีน ในช่วงฤดูร้อน จากการศึกษาพบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารมีค่า 99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าภายนอกอาคารที่มีปริมาณ $PM_{2.5}$ 65 ไมโครกรัมต่อตารางเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณ $PM_{2.5}$ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์กันและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (ภายในอาคาร $R^2=0.87$ นอกอาคาร $R^2=0.90$) เพราะมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ปริมาณฝุ่นภายในอาคารและภายนอกอาคารมีความสัมพันธ์กัน ($PM_{2.5}$ มีค่า $R^2=0.78$ และ PM_{10} มีค่า 0.67) เนื่องจากฝุ่นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านช่องเปิดของอาคารเข้ามาภายในได้ และฝุ่นภายในอาคารยังมีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์และการจราจร

Canha et al. (2012) ทำการศึกษาคุณภาพอากาศในโรงเรียนประถม 3 แห่งของเมืองลิสบอน ประเทศโปรตุเกส คือ 1) โรงเรียนอยู่โซนที่พักอาศัยมีการจราจรน้อย 2) โรงเรียนอยู่กลางเมืองและตั้งอยู่บนถนนเส้นหลัก 3) โรงเรียนอยู่กลางเมืองแต่อยู่ห่างจากถนนเส้นหลัก ผลการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 และ 73 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ $PM_{2.5}$ มีค่า 8-47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 3-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.60$) ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารมีค่าสูงกว่านอกอาคารอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$) บ่งบอกว่าฝุ่นหยาบมีแหล่งกำเนิดภายในห้องเรียนมากกว่าจากภายนอกอาคาร

2.2.2 สาเหตุการเกิด $PM_{2.5}$ ภายในอาคาร

สาเหตุของมลพิษทางอากาศภายในอาคารมีหลายสาเหตุ โดยอาจมาจากการเคลื่อนที่ของมลพิษทางอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และจากแหล่งกำเนิดภายในอาคารเอง ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของมลพิษทางอากาศภายนอกนั้น อาจเกิดได้จากการเดินทางของอากาศผ่านรอยรั่วต่างๆ ของอาคาร เช่น ขอบประตู ขอบหน้าต่าง และอื่นๆ การเคลื่อนที่เข้าสู่อาคารนั้นจะมีมากขึ้นหากช่องเปิดมีขนาดกว้างขึ้น มลพิษภายนอกที่เดินทางเข้าสู่ในอาคารนั้นอาจเกิดการสะสมภายในอาคาร หรือในห้องที่ขาดการระบายอากาศ และอาจส่งผลให้มลพิษภายในอาคารมีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจพบภายนอกอาคารได้ การสะสมนี้มักพบมากในอาคารที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ เช่น ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น โรงงาน และอื่นๆ และมลพิษทางอากาศภายในอาคารเป็นส่วนสำคัญที่

ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเช่นกัน แหล่งกำเนิดในอาคารที่พบบ่อย ประกอบด้วย เครื่องใช้ภายในสำนักงาน เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร (Khawgrib, 2020) ที่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยและก๊าซโอโซน เป็นต้น สารเคลือบเงาต่างๆ ที่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย การทำอาหารภายในบ้าน โดยใช้เชื้อเพลิงแข็งก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Goyal and Kumar, 2013) การสูบบุหรี่ การจุกตุบ และการใช้พรมก่อให้เกิดการสะสมของฝุ่นและอาจลอยขึ้นมาหากมีการขยับตัว เป็นต้น

2.2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพของ PM_{2.5} ภายในอาคาร

PM_{2.5} เป็นฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ทั้งแบบเฉียบพลัน (นับเป็นชั่วโมงหรือวัน) และแบบเรื้อรัง (นับเป็นเดือนหรือปี) ในทุกเพศ ทุกวัย และสามารถเห็นผลทันทีในเด็กและคนชราที่มีความต้านทานหรือภูมิคุ้มกันของโรคต่ำกว่าคนปกติ อาการที่พบเห็นในระยะเฉียบพลัน คือ การระคายเคืองจมูก คอ และดวงตา นอกจากนี้ยังมีอาการไอ จาม น้ำมูกไหล การหายใจติดขัด ส่วนอาการที่พบเห็นในระยะยาวหรือแบบเรื้อรังจะเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน นี้สามารถเข้าไปถึงกระแสเลือด ทำให้เลือดข้นขึ้นและยังสามารถเข้าไปที่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอด และยังส่งผลกระทบต่อการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดผ่านปอดและหัวใจ ส่งผลให้สมรรถภาพการทำงานของปอดลดลงและหัวใจทำงานหนักขึ้น ซึ่งนำไปสู่โรคมะเร็งปอด และโรคหัวใจได้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าผู้ที่อยู่ในสถานที่ ๆ มี PM_{2.5} สูง ในระยะยาวอาจส่งผลให้เกิดโรคสมองเสื่อมได้อีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นการศึกษาทางระบาดวิทยาหลายชิ้นแสดงให้เห็นว่าการสัมผัส PM_{2.5} ภายในอาคารของแหล่งกำเนิดภายนอกอาคารนั้นเป็นอันตรายมากกว่า เมื่อเทียบกับการสัมผัสกับอนุภาคที่ปล่อยออกมาภายในอาคาร (Ebelt et al., 2005)

การศึกษาของ Long et al. (2001) ในบ้านปลอดบุหรี่ 9 แห่งในบอสตัน แสดงให้เห็นว่าอนุภาค ultrafine (UFP อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.1 ไมครอน) และอนุภาคหยาบ (PM_{2.5-10}) มี ประสิทธิภาพการส่งผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เมื่อมีแหล่งที่มาภายในอาคาร ความเข้มข้น PM_{2.5} ภายในอาคารมักจะสูงกว่าภายนอกอาคาร (Weschler and Shields, 1997)

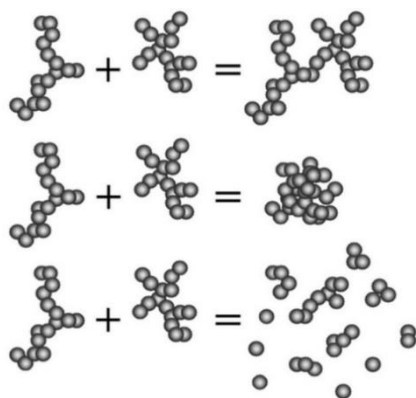
จากการศึกษาของ Khawgrib. (2020) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือฝุ่น PM_{2.5} ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ปฏิบัติงานในอาคารได้โดยเฉพะานักจดหมายเหตุที่ตรวจสอบประเมินคุณค่าเอกสาร เช่น เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ดวงตา หรือระบบทางเดิน หายใจ เนื่องจากฝุ่น PM_{2.5} เป็นฝุ่นละอองที่คนสามารถรับสัมผัสโดยการหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกและถูกดูดซึมเข้าสู่

กระแสโลหิตผ่านเส้นเลือดฝอยในปอดเข้าสู่ร่างกายได้ปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรงและเป็นที่มาของการเข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาล เนื่องจากเจ็บป่วยด้วยโรคต่างๆ เพิ่มมากขึ้น ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ภายในห้องขนาดเล็กและมีอัตราการหมุนเวียนอากาศอยู่ในระดับต่ำ มีแนวโน้มการเกิดอันตรายหรือการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องจากอาคาร (Building-related Illness) มากขึ้น

Lombay et al. (2015) ทำการศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ องค์ประกอบธาตุ Indoor/Outdoor (I/O) ratio และ enrichment factors ในโรงพยาบาลประเทศฟิลิปปินส์ ในห้องที่มีระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ คือ แผนกเด็กและแผนกเภสัชกรรม และห้องที่มีระบบปรับอากาศ คือห้อง ICU และห้อง CCU ผู้ป่วยกุมารเวชกรรม พบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ ในแผนกเด็กช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม มีค่า 32.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เดือนมีนาคม-เมษายน มีค่า 28.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และแผนกเภสัชกรรม ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม มีค่า 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ WHO กำหนดไว้ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การศึกษาค่า I/O ratio แสดงให้เห็นว่า $PM_{2.5}$ ส่วนใหญ่มาจากบรรยากาศภายนอกอาคารแต่สามารถเล็ดลอดเข้าสู่ภายในอาคาร ส่งผลกระทบต่อสุขภาพภายในโรงพยาบาลได้

2.3 เทคนิคการเกาะรวมอนุภาค (agglomeration)

การเกาะรวมอนุภาค เป็นกระบวนการที่อนุภาคในรูปของแข็งขนาดเล็กที่เป็นละอองลอยในบรรยากาศ เกิดการชนกันและเกาะรวมกันเป็นกลุ่มอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นก๊าซหรือสุญญากาศ โดยอนุภาคของฝุ่นละอองที่ชนกันจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันและก่อตัวเป็นกลุ่มฝุ่นใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4 (Blum, 2006) ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการรวมอนุภาคของฝุ่น โดยมีการใช้สารเคมีในการเพิ่มประสิทธิภาพให้เกิดการรวมกันของอนุภาคที่ดีขึ้น (Lewandowski and Kawatra, 2009a)



รูปที่ 4 การชนกันหรือรวมตัวกันของฝุ่นด้วยหลักการเกาะรวมอนุภาค

ที่มา: (Blum, 2006)

กระบวนการเกาะรวมอนุภาคของฝุ่นละอองที่สำคัญ ได้แก่ การเกาะรวมของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศคือ การก่อตัวของเมฆและมีอนุภาคไอน้ำหรือละอองน้ำที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ โดยกระบวนการกำจัดฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มาจากการรวมตัวกับอนุภาคไอน้ำมีอนุภาคฝุ่นละอองเป็นแกนกลางก่อตัวเป็นละอองเมฆฝ่น (cloud droplets) ซึ่งฝุ่นละอองที่อยู่ในเมฆจะถูกดักจับโดยอนุภาคที่มาจากกระบวนการกลั่นตัวของน้ำและตกลงมา เช่น ฝน และหิมะ เป็นต้น (United States Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 1996)

การเกาะรวมของอนุภาคทั่วไปจะขึ้นอยู่กับแรงยึดเกาะที่เพิ่มขึ้นระหว่างส่วนประกอบของอนุภาค ระหว่างการรวมตัวที่เกิดจากการควบแน่นของอนุภาค การรวมตัวด้วยไฟฟ้า การรวมตัวกันแบบปั่นป่วน การรวมตัวกันแบบอนุสติก และการรวมตัวที่เกิดจากสารเคมี (Tucker, 2000)

การรวมตัวของอนุภาค (particles agglomeration) หมายถึง การรวมตัวกันของอนุภาคแขวนลอยทำให้เกิดมวลรวมของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น โดยมีอนุภาคที่เป็นของเหลวเป็นตัวเชื่อมให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาค หรือเรียกอีกอย่างว่า การแข็งตัว (coagulation) หรือการตกตะกอน (flocculation)

การเกาะรวมของอนุภาคฝุ่นละอองทำให้ปริมาตรและขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลให้ปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศลดน้อยลง เนื่องจากระยะเวลาการคงอยู่ในบรรยากาศของฝุ่นละอองมีความแตกต่างกันไปตามขนาดของอนุภาค ฝุ่นละอองหยาบหรือฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะตกลงจากบรรยากาศอย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงและสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะทางสั้นๆเท่านั้น ในขณะที่ฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่าจะมีระยะเวลาใน

การคงอยู่ในบรรยากาศที่นานและสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (United States Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2001)

2.3.1 กลไกการเกาะรวมอนุภาคทางฟิสิกส์

การเกาะรวมอนุภาคจะเกิดจากการชนกันระหว่างอนุภาคฝุ่นละออง โดยมวลของอนุภาคที่เกาะรวมมีผลต่อการรวมตัวเป็นมวลอนุภาคใหม่ ซึ่งอาจเกิดการเกาะรวมเป็นอนุภาคที่มีรูปแบบแตกต่างออกไปจากเดิม ขึ้นอยู่กับอนุภาคของมวลสองมวลที่ชนกันและความเร็วในการชนกัน โดยมีการพิจารณาแง่มุมทางทฤษฎีของการรวมตัวของฝุ่นและคำอธิบายทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานทางฟิสิกส์ โดยสมการของ Smoluchowski ได้อธิบายการเกาะรวมด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ไว้ว่ามีการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ มีการเกาะรวมอนุภาคจากการเคลื่อนที่แบบ Brownian และการเคลื่อนที่แบบ linear ซึ่งได้อธิบายฟังก์ชันการกระจายมวลแบบสากลโดย Vemury และ Pratsinis 84 และโดย Zurita – Gotor และ Rosner 85 (Blum, 2006)

2.3.2 กลไกการเกาะรวมอนุภาคทางเคมี

ทฤษฎีการเกาะรวมทางเคมี เป็นกระบวนการรวมตัวของอนุภาคของแข็งขนาดเล็กให้เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น โดยอาศัยสารเคมีในการรวมตัว ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดที่ช่วยให้มีความแข็งแรงในการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคและสารเคมี (Liu et al., 2016) และจากการศึกษาของ Lewandowski and Kawatra. (2009b) พบว่าแรงระหว่างโมเลกุลที่เกี่ยวข้องมี 3 ชนิด ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) แรงพันธะเวเลนซ์ (valence forces) และแรงที่ไม่ใช่พันธะเวเลนซ์ (non-valence association)

จากการศึกษาของ Bin et al. (2018) พบว่าการรวมตัวกันของอนุภาคฝุ่นด้วยสารเคมีให้ผลลัพธ์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ดีมาก โดยประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาพบว่า อนุภาคของฝุ่นละอองมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น การตกกลับด้วยไฟฟ้าสำหรับอนุภาคขนาด 0.1–1 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพต่ำ แต่หากมีการรวมตัวทางเคมีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองได้อย่างมาก โดยผ่านการรวมอนุภาคขนาดเล็กให้เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น

จากการศึกษาของ Liu et al. (2016) พบว่าปัจจุบันการกำจัดฝุ่น โดยอาศัยวิธีการทางเคมีส่วนใหญ่ใช้เพื่อการควบคุมอนุภาคของฝุ่นละออง ซึ่งส่วนใหญ่จะเลือกใช้สารเคมีที่มีองค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิว และการศึกษาของ Mandal et al. (2012) ได้พิจารณาเลือกองค์ประกอบของสาร

ลดแรงดึงผิวสำหรับการกำจัดฝุ่น และพบว่าสารลดแรงดึงผิวที่ใช้ในการรวมตัวอนุภาคของฝุ่นมีคุณสมบัติการเกาะรวมที่ดีที่สุด

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกาะรวมอนุภาค

2.3.3.1 ความชื้นในบรรยากาศ (atmospheric humidity)

เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดและการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศ โดยกระบวนการการดูดความชื้นของอนุภาคฝุ่นละอองเป็นกระบวนการที่ฝุ่นละอองดูดและคายความชื้นออกสู่บรรยากาศ เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ดูดความชื้นเข้าไปจะมีมวลเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ฝุ่นละอองที่คายความชื้นออกสู่บรรยากาศจะมีมวลลดลง โดยมีการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กสอดคล้องกับปริมาณความชื้นในอากาศ เนื่องจากความชื้นทำให้เกิดแรงเชื่อมระหว่างอนุภาคฝุ่นจากของเหลวที่อยู่ในอากาศ และความชื้นที่มากขึ้น (มากกว่าร้อยละ 80) จะช่วยเพิ่มการแตกตัวของไอออนบนพื้นผิวของอนุภาคฝุ่นละออง ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิตที่สูงขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำให้อนุภาคฝุ่นจำนวนมากที่อยู่ในอากาศเกิดการรวมตัวกัน ดังนั้นการรวมตัวของอนุภาคที่เกิดขึ้นจึงมีปัจจัยมาจากผลกระทบของปริมาณความชื้นในอากาศที่ส่งผลทั้งทางกายภาพและทางเคมีต่ออนุภาคฝุ่นละอองในอากาศ (He et al., 2019) โดยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในสถานะที่มีความชื้นสูงจะมีปริมาณน้อยกว่าในสถานะที่มีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 46 (เปรียบเทียบระหว่างสถานะความชื้นที่ร้อยละ 70 และร้อยละ 20) (J. J. Kim et al., 2019)

2.3.3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (positive potential of the hydrogen ions)

ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลโดยตรงต่อความเสถียรของประจุไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคฝุ่นละอองหรือสารแขวนลอยในอากาศ โดยอนุภาคไอออนบวกและไอออนลบจะรวมตัวกันอยู่เป็นชั้นติดบนพื้นผิวของอนุภาคแขวนลอย การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างจะส่งผลต่อค่าความเสถียรของประจุไอออนบนพื้นผิวอนุภาค ซึ่งค่าความเสถียรของประจุบนพื้นผิวอนุภาคสามารถใช้บ่งบอกค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) หรือค่าความต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างชั้นความหนาแน่นของไอออนที่อยู่รอบ ๆ อนุภาค โดยในสถานะที่ค่าประจุบนพื้นผิวของอนุภาคมีความเสถียรค่าศักย์ซีตาจะมีค่าเป็นบวกหรือลบ แต่ในสถานะที่ค่าประจุบนพื้นผิวของอนุภาคไม่มีความเสถียรค่าศักย์ซีตาจะเป็นศูนย์ และเมื่อประจุบนพื้นผิวของอนุภาคขาดความเสถียรจะส่งผลให้อัตราการรวมตัวของอนุภาคสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพื้นฐานความเป็นกรด-ด่างของอนุภาคแขวนลอยว่าต้อง

มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างให้น้อยลงหรือเพิ่มขึ้นเท่าใดจึงจะทำให้ค่าศักยภาพซีตาเป็นศูนย์ และทำให้ประจุบนพื้นผิวอนุภาคแขวนลอยสูญเสียความเสถียร ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่ทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคได้ดีที่สุดอยู่ที่ 6 (pH เท่ากับ 6) (Al-Gebory and Mengüç, 2018)

2.3.3.3 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรวมตัวกันของอนุภาคแขวนลอยที่อยู่ในบรรยากาศ โดยการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดที่ 150 องศาเซลเซียส ทำให้ประสิทธิภาพในการรวมตัวกันของอนุภาคในอากาศดีขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นในสสารที่มีสถานะเป็นของเหลวที่กำลังรวมตัวกับอนุภาคแขวนลอยในอากาศลดลง ส่งผลให้ของเหลวที่เชื่อมระหว่างอนุภาคสารแขวนลอยเกิดการแข็งตัวได้เร็วขึ้น ทำให้กระบวนการรวมตัวของอนุภาคในบรรยากาศเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคสารแขวนลอยที่มาจากก๊าซไอเสียในอากาศลดลง (Liu et al., 2016)

2.3.3.4 อัตราการไหลของอากาศ (air flow rate)

อัตราการไหลของอากาศมีอิทธิพลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในอาคาร โดยในสถานะที่มีอิทธิพลของความเร็วอากาศแตกต่างกันพบว่า ภายในห้องที่มีอัตราการไหลของอากาศต่ำความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน จะต่ำกว่าภายในห้องที่มีการไหลของอากาศสูง เนื่องจากการไหลของอากาศมีผลโดยตรงต่อการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในอาคาร (Ma et al., 2015) และในสถานะที่มีความชื้นในอากาศการไหลเวียนของอากาศจะมีส่วนช่วยให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศลดลง เนื่องจากการไหลเวียนของอากาศทำให้ความชื้นและอนุภาคฝุ่นในอากาศทำปฏิกิริยาทั้งทางกายภาพและเคมีต่อกันได้ง่ายมากขึ้น ส่งผลให้การรวมตัวกันของอนุภาคฝุ่นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วมากขึ้นเช่นกัน (J. J. Kim et al., 2019)

2.4 สารดักจับฝุ่นละออง

ปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกลางในการรวมตัว (agglomerant) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการฉีดพ่นละอองน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เนื่องจากสารดักจับฝุ่นละอองเป็นสารเคมีที่มีกลไกในการช่วยประสานการเกาะรวมของอนุภาคที่เป็นละอองลอยในบรรยากาศ โดยทำหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพการเกาะรวมของอนุภาคขนาดเล็กให้เกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจนกระทั่งมีน้ำหนักและสามารถตกลงสู่พื้นได้

โดยกลุ่มสารที่มีความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคที่นิยม ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) และสารที่ทำให้เปียก (wetting agent) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้เป็นที่นิยมในการใช้ภาคอุตสาหกรรม คุณสมบัติการเกาะรวมอนุภาคของสารเหล่านี้จึงเหมาะแก่การนำมาเป็นสารดักจับฝุ่นละออง

การลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในอาคารควรเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผู้อาศัยภายในอาคาร โดยหนึ่งในสารเคมีที่น่าสนใจ คือ สารลดแรงตึงผิว และสารไบโอพอลิเมอร์ เนื่องจากเป็นสารที่มีคุณสมบัติการเกาะรวมอนุภาคที่เป็นละอองลอยให้เกิดการตกสู่พื้นได้ และเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจการเลือกสารลดแรงตึงผิวและสารไบโอพอลิเมอร์สำหรับการดักจับฝุ่นภายในอาคาร โดยมีรายละเอียดของสารดังต่อไปนี้

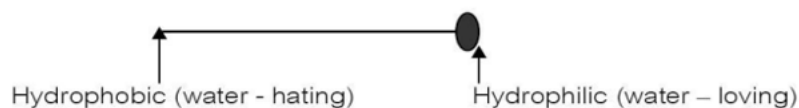
2.4.1 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนหัวที่มีขั้ว (ionic surfactants) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในกลุ่มที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนหางที่ไม่มีขั้ว (nonionic surfactants) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) (Luo et al., 2017)

ส่วนที่ไม่เป็นประจุเป็นหมู่อัลคิล (alkyl group) มีคาร์บอนตั้งแต่ 8-18 อะตอม ลักษณะโมเลกุลที่มีส่วนเป็นประจุและส่วนที่ไม่เป็นประจุอยู่ด้วยกันเรียกว่า แอมฟิไฟล์ (Amphiphile) หรือมีลักษณะเป็นแอมฟิพาธิค (amphipathic) เมื่ออยู่ในน้ำส่วนของโมเลกุลที่ละลายน้ำไม่ได้ (hydrophobic group) จะถูกผลักทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไปรวมตัวกันที่ผิวหน้า ซึ่งมีผลทำให้พลังงานอิสระ (free energy) ของโมเลกุลของน้ำที่ผิวลดลงทำให้แรงตึงผิว (surface tension) ของน้ำจึงลดลงด้วย เมื่อสารลดแรงตึงผิวในน้ำมีปริมาณมากขึ้น โมเลกุลอิสระของสารลดแรงตึงผิวจะเข้ารวมตัวกันเอง เกิดโครงสร้างลักษณะคล้ายทรงกลมเรียกไมเซลล์ (micelle) โดยที่ส่วนโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำจะคูดกันเองอยู่ภายใน และส่วนโมเลกุลที่ชอบน้ำซึ่งมีประจุไฟฟ้าจะผลักกันและกระจายอยู่รอบผิวจะทำให้ลดแรงผลักของน้ำที่มีต่อส่วนโมเลกุลไม่ละลายน้ำ ดังปรากฏในรูปที่ 5

ความเข้มข้นที่พอเหมาะที่ทำให้แอมฟิไฟล์รวมตัวกันเป็นไมเซลล์ (micelle) เรียกว่า Critical Micelle Concentration (CMC) ซึ่งจะมีค่าจำเพาะสำหรับแอมฟิไฟล์แต่ละชนิด โครงสร้างไมเซลล์ในน้ำจะอยู่ตัวเนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างหมู่ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งอยู่ด้านในไมเซลล์ แรงนี้เรียกว่า Hydrophobic interaction การเกิดโครงสร้างในไมเซลล์ทำให้แอมฟิไฟล์ละลายน้ำได้และสามารถ

ละลายคราบไขมันที่ติดบนภาชนะหรือเสื้อผ้าเข้ามาละลายในส่วนที่ไม่เป็นประจุ ซึ่งอยู่ด้านในเป็นหยดเล็ก ๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำ



รูปที่ 5 สารลดแรงตึงผิว

ที่มา: (Luo et al., 2017)

2.4.1.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (hydrophilic) โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. Anionic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในรูปของ carboxylate, sulfate, sulfonate หรือ phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภทผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน เป็นต้น โดยใช้มากถึงร้อยละ 49 ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี (Luo et al., 2017)

2. Cationic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท cationic จะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic นิยมใช้ในพวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น

3. Nonionic surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic และ cationic ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุโดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น

4. Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารตึงผิวประเภทอื่น ๆ

2.4.1.2 กลไกของสารลดแรงตึงผิวในการรวมตัวของอนุภาค

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาททำให้อนุภาคขนาดเล็กก่อรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ โดยทำให้อนุภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปอนุภาคเปียก ความสามารถในการเปียกน้ำเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีแนวโน้มต่อการเปลี่ยนแปลงของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่เป็นไอออน > สารลดแรงตึงผิว zwitterionic > สารลดแรงตึงผิวประจุลบ > สารลดแรงตึงผิวประจุบวก สิ่งนี้บ่งชี้ว่าความสามารถในการเปียกน้ำของสารลดแรงตึงผิวแบบ non-ionic นั้นเหนือกว่าการใช้สารทำให้เปียก (Zerpa et al., 2011) นอกจากนี้การเพิ่มสารลดแรงตึงผิวประจุบวกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรวมตัวกันของอนุภาคได้มากขึ้น โดยที่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกันจะมีประสิทธิภาพในการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นเหมือนกัน ซึ่งในส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกทำให้เกิดผลดีต่อประสิทธิภาพการรวมตัว (Wang et al., 2011)

การศึกษาของ Wang et al. (2020) พบว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวในการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์ฉีดพ่นละอองน้ำมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองมากกว่าการใช้น้ำเปล่า อีกทั้งสารลดแรงตึงผิวสามารถนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการพ่นละอองของหัวพ่นหมอกได้ในระดับหนึ่ง โดยทำให้ขนาดอนุภาคที่พ่นออกมาจากหัวพ่นหมอกมีขนาดเล็กลง ซึ่งทำให้สารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาของ Xu et al. (2018) พบว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายที่ใช้สำหรับดักจับฝุ่น เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นของสารละลาย เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ทำให้สารละลายยังมีแรงตึงผิวลดน้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับหรือดักจับฝุ่นละอองของสารละลายเพิ่มมากขึ้น

การศึกษาของ Chang et al. (2020) พบว่าสารลดแรงตึงผิวจะมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองสูง เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นต่ำ เนื่องจากในสภาวะที่มีความเข้มข้น

ของฝุ่นต่ำปริมาณละอองที่ฉีดพ่นจะค่อนข้างสูงกว่าในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของฝุ่นสูง ดังนั้น ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จึงควรปรับให้เหมาะสมกับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายใน พื้นที่ที่ต้องการจัดการ

การศึกษาของ Gue et al. (2017) มีการใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ สารประจุบวก (CTAB), สารประจุลบ (SDS) และสารไม่มีประจุ (TX100) พบว่าสารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} อยู่ที่ร้อยละ 3.8, 3.7 และ 9 ตามลำดับ โดยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงที่สุด

2.4.2 สารไบโอพอลิเมอร์

สารไบโอพอลิเมอร์เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบในสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่ โปรตีน (protein) พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) และกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) เป็นต้น โดยโปรตีนเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโน (amino acid) พอลิแซ็กคาไรด์เป็นพอลิเมอร์ของมอโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) และกรดนิวคลีอิกเป็นพอลิเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ (nucleotide)

2.4.2.1 กลไกของสารไบโอพอลิเมอร์ในการรวมตัวของอนุภาค

จากการศึกษาของ Bin et al. (2018) พบว่าสามารถใช้เพคติน (pectin) ในการรวมตัวของอนุภาค สารเพคตินมีแรงตึงผิวที่ต่ำกว่าน้ำ ทำให้เกิดการสร้าง liquid film บนพื้นผิวของอนุภาคได้ และดูดซับอนุภาคละเอียดและเกาะติดกันเพื่อสร้างอนุภาคขนาดใหญ่ โดยที่อนุภาคละเอียดและอนุภาคขนาดใหญ่รวมตัวกันจนมีความคงตัว เนื่องจากอนุภาคละเอียดรวมกับสารและตัวกลาง ทำให้พื้นผิวของอนุภาคจะไม่เรียบเหมือนเดิม สารเคมีช่วยเพิ่มการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคซับไมครอน และส่งเสริมการรวมตัวของอนุภาคซับไมครอน – ไมครอน ทำให้อนุภาคขนาดเล็กสามารถรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น โดยที่สารไบโอพอลิเมอร์มักถูกใช้เพื่อช่วยรวมตะกอนให้มีขนาดใหญ่ขึ้น สารบางกลุ่มเป็นสารอินทรีย์ที่มีความอันตราย (มีข้อกำหนดในการทำงาน) และราคาค่อนข้างสูง การใช้งานจึงต้องหาปริมาณที่เหมาะสมเพื่อช่วยตกตะกอน จึงไม่นิยมที่ใส่พอลิเมอร์ในปริมาณมาก

จากการศึกษาของ Gue et al., 2017 พบว่าสารพอลิเมอร์เป็นสารที่มีคุณสมบัติการรวมตัวระหว่างอนุภาคได้ดี โดยการศึกษาครั้งนี้สนใจสารพอลิเมอร์ KC, PAM ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสารพอลิเมอร์เข้าไปเท่ากับร้อยละ 31.4 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 59.5 และ 34.3 ตามลำดับ และพบว่าโครงสร้างพอลิเมอร์มีแนวโน้มเปลี่ยนโครงสร้างให้มีความเป็นตาข่าย เพื่อให้เกิดการรวมตัวระหว่างอนุภาคที่ง่ายขึ้นและรวมตัวจนมีขนาดใหญ่

2.5 ปัจจัยที่เหมาะสมในสภาวะทดสอบการรวมตัวของอนุภาค

2.5.1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

2.5.1.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency) ได้แนะนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 45-50 เปอร์เซ็นต์ และ สมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers : ASHRAE) ได้เสนอแนะว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศควรต่ำกว่าร้อยละ 60

จากการศึกษาของ Kim et al. (2019) พบว่าความชื้นเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของอนุภาคฝุ่นในอากาศ มีการรายงานว่า การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มีส่วนช่วยเพิ่มการรวมตัวกันของอนุภาคฝุ่น (particle agglomeration) โดยอาศัยคุณสมบัติในการดูดความชื้น (hygroscopic) ปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในห้องทดสอบแบบปิดที่มีความชื้นมากจะพบปริมาณฝุ่นน้อยกว่าในห้องทดสอบแบบปิดที่มีความชื้นน้อย (เทียบระหว่างความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์)

2.5.1.2 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิภายในอาคารที่ทำให้คนรู้สึกสบายนั้น เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับในคุณภาพอากาศภายในอาคาร ช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้คนรู้สึกสบายที่กำหนดโดย ASHRAE (Geary, 2001) คือ อุณหภูมิ 20-26 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาของ Liu et al. (2016) พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในแต่ละปฏิกิริยาจะมีค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกัน โดยการศึกษาเป็นสภาวะทดสอบที่ใช้สำหรับภาคอุตสาหกรรม ทดลองที่อุณหภูมิ 120 150 และ 250 องศาเซลเซียส พบว่าค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด (optimal temperature) คือ 150 องศาเซลเซียส เป็นประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นได้ดีที่สุดในภาคอุตสาหกรรม

2.5.2 ปัจจัยของอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

2.5.2.1 ขนาดของหัวฉีดและค่าแรงดันฉีดพ่น (droplet atomization performance)

ขนาดหัวฉีดพ่นละอองมีผลต่อขนาดของละอองสารละลายที่ใช้รวมตัวอนุภาคที่ผ่านออกมา หัวฉีดขนาดเล็กจะสร้างละอองอนุภาคมีขนาดเล็ก ซึ่งขนาดละอองที่มีอนุภาคเล็กนั้น จะมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นได้สูง โดยที่ค่าแรงดันของอุปกรณ์ฉีดพ่นและความดันอากาศที่หัวฉีดจะขึ้นกับความหนืดของสารละลายที่ใช้ (Zhou et al., 2019)

จากการศึกษาของ Liu et al. (2016) พบว่ากรณีที่สารมีความหนืดสูงต้องมีการใช้แรงดันที่สูงขึ้น เพื่อให้สารละลายแตกตัวเป็นละอองได้ดี ซึ่งขนาดหัวฉีด ordinary atomized nozzle (50 ไมโครเมตร) และ BETE atomizing nozzle (30 ไมโครเมตร) ทำให้กำจัดฝุ่นได้ดีขึ้น (two fluid atomization nozzles) และความดันอากาศที่หัวฉีด 0.2-0.4 MPa จะเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นที่ดีที่สุด

2.5.2.2 ลักษณะของห้องทดสอบแบบระบบปิด

ลักษณะของห้องทดสอบนั้นเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ผู้ทดสอบต้องคำนึงถึง หากเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสม อาจนำไปสู่ผลการทดลองที่คลาดเคลื่อนได้ ในกระบวนการทดลองเพื่อศึกษาการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นด้วยวิธีการทางเคมีนั้น วัสดุสำหรับใช้ทำห้องทดสอบควรใช้วัสดุที่มีค่าไฟฟ้าสถิตต่ำ เพื่อลดการเกาะติดของฝุ่นกับวัสดุคลุม ในการศึกษาส่วนมากจึงใช้ห้องทดสอบที่ประกอบด้วยวัสดุประเภทแก้วและโครงสแตนเลสเพื่อลดการสะสมไฟฟ้าสถิตของอนุภาคละอองบนผนังให้น้อยที่สุด (Kim et al., 2020) หรือห้องทดสอบควรประกอบด้วยวัสดุประเภทสแตนเลสและ polymethyl methacrylate (Wang et al., 2019)

2.5.3 ปัจจัยของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

2.5.3.1 ความเข้มข้นสาร

ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้เกาะรวมอนุภาคช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นได้ดีขึ้น ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ช่วยเกาะรวมจะทำให้สารมีความหนืดมากขึ้น ขนาดหยดใหญ่ขึ้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคช้าลง ขนาดของอนุภาคคงที่ ประสิทธิภาพในการเกาะรวมอนุภาคแปรผันตรงกับความเร็วยของหยดและจำนวนหยดต่อหน่วยปริมาตร และแปรผกผันกับขนาดหยด ความหนืดส่งผลให้ liquid bridge force อ่อนลง ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแย่ง (ทดลองที่ความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และที่ดีที่สุด 0.5 เปอร์เซ็นต์) (Liu et al., 2016)

2.5.3.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อการฉีดพ่น

ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อการฉีดพ่นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ถูกนำมาพิจารณา เนื่องจากปริมาณน้ำจะถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ในแง่ของความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพในการใช้สารหรือใช้น้ำในปริมาณที่ต่างกัน โดยที่ปริมาณการใช้น้ำจะบอกได้ถึงปริมาณความเข้มข้นของสารที่เหมาะสมในการฉีดพ่นละออง และความถี่ของการฉีดพ่น เป็นข้อมูลพิจารณาในแง่ของการนำไปใช้ในพื้นที่จริง (Peng et al., 2020)

2.5.3.3 ความเป็นกรด - ด่าง (potential of hydrogen ion)

การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อประจุบนพื้นผิวอนุภาค ค่าศักย์ซีต้า (zeta potential) เป็นค่าที่ใช้ในการบอกความต่างของประจุ ในสถานะที่เสถียรค่าของ Zeta potential ควรมีค่าสูงทั้งที่เป็นค่าบวกหรือค่าลบ ดังนั้นถ้าค่าศักย์ซีต้าเท่ากับศูนย์ แสดงว่าอนุภาคฝุ่นสูญเสียความเสถียรไป มีผลต่อการเกาะรวมที่ไม่ดี ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่ทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคได้ดีที่สุดอยู่ที่ 6 (pH เท่ากับ 6) และจากการศึกษา Liu et al. (2016) พบว่าถ้าค่า pH ต่ำ สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้า และ electrode layer components ของสารดักจับฝุ่นละออง ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นได้ดีขึ้น

2.6 เทคนิคการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

Scanning electron microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุด 10 นาโนเมตร การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ ลักษณะฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

การส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถดูสัณฐานวิทยา ลักษณะทางเคมี เพื่อดูแหล่งที่มาหลักของฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดต่าง ๆ ได้ ซึ่งในบางครั้งแหล่งกำเนิดอาจไม่สามารถบอกลักษณะของฝุ่นละอองได้ เนื่องจากลักษณะของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ อาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้น การใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงสามารถดูสัณฐานของลักษณะฝุ่นละอองได้อย่างชัดเจน

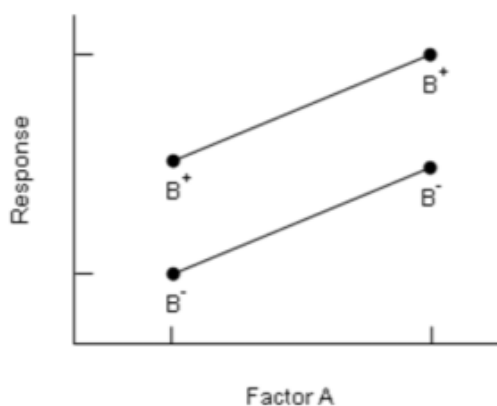
2.6.1 หลักการทำงานของเครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

ใช้สำหรับศึกษาโครงสร้างหรือลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งสามารถรองรับงานในการศึกษาโครงสร้างบนชั้นผิวของตัวอย่างทางชีวภาพ ภายภาพ รวมถึงตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์ นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานได้ โดยการวัดสัญญาณ secondary electron ที่หลุดจากผิวตัวอย่างจากการชนของ primary electron ภายใต้อากาศสุญญากาศ และแปลงเป็นสัญญาณภาพ ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย อิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวของชิ้นงานเกิดการกระเจิงกลับและและเกิดสัญญาณเอ็กซ์เรย์ ทำให้สามารถวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

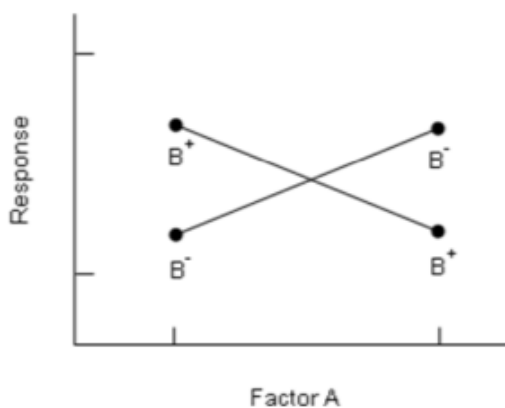
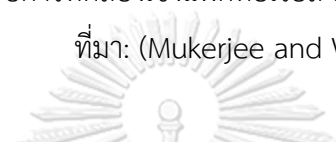
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.7 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (factorial design)

การทดลองในห้องปฏิบัติการส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของปัจจัย (factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (factorial design) เป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อพิจารณาถึงผลของระดับ (level) ปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น อาทิ การศึกษามีปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ ปัจจัย A ซึ่งประกอบไปด้วย a ระดับ และ ปัจจัย B ซึ่งประกอบไปด้วย b ระดับ ในการทดลองซ้ำหนึ่งครั้งจะประกอบไปด้วยการทดลองทั้งหมด $a \times b$ การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ปัจจัยเหล่านี้จะมีการไขว้ซึ่งกันและกัน ดังปรากฏในรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล กรณีที่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน
ที่มา: (Mukerjee and Wu, 2007)



รูปที่ 7 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล กรณีที่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน
ที่มา: (Mukerjee and Wu, 2007)

2.7.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k factorial design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการทดลองกรณีที่มีปัจจัยแต่ละปัจจัย ประกอบไปด้วย 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจใช้ตัวเลข -1 แทนระดับต่ำ 0 แทนระดับปานกลาง และ 1 แทนระดับสูง

2.7.2 ข้อดีและข้อเสียของการออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียล

จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่าการออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียลแตกต่างไปจากการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ ทั้งในส่วนของจำนวนปัจจัยที่สามารถนำมาทดลองได้ไม่จำกัด และยังสามารถศึกษาถึงอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยได้พร้อมกัน ในการทดลองในกรณีที่ทำการทดลองแล้วพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเกิดขึ้น สามารถใช้ยืนยันได้ว่าในการทดลองมีเพียงอิทธิพลหลักเท่านั้นที่มีผลต่อค่าผลตอบสนอง ทำให้การทดลองครั้งต่อไปสามารถลดจำนวนการทดลอง โดยเปลี่ยนไปใช้การออกแบบการทดลองแบบที่ละปัจจัยแทน แต่ในกรณีที่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเกิดขึ้นจะทำให้ผู้จัดทำสามารถทราบได้ถึงรูปแบบของการทดลองและอิทธิพลของผลกระทบนั้น เพื่อเป็นแนวทางการควบคุมให้ได้สภาวะที่เหมาะสมต่อไป



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและสารไบโอพอลิเมอร์ในการเกาะรวมอนุภาคที่ฟุ้งกระจายภายในห้องทดสอบแบบปิด ได้กำหนดให้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการเกาะรวมอนุภาค ได้แก่ ความเข้มข้นของสาร ปริมาตรของสาร และชนิดของสารละลาย โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

กำหนดพื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่าง โดยพิจารณาจากการจำลองพื้นที่ระบบปิดภายในอาคาร เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้สารลดแรงตึงผิว สารไบโอพอลิเมอร์ และน้ำ ในการลดปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยห้องทดสอบ (chamber test) มีขนาดความกว้าง×ยาว×สูง คือ 300 เซนติเมตร × 200 เซนติเมตร × 200 เซนติเมตร (ปริมาตร 10.71 ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างที่คลุมด้วยวัสดุพอลิเมอร์ ปรากฏดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ห้องทดสอบจำลองแบบปิด (Closed chamber)

3.2 การเตรียมการทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5}

3.2.1 การเตรียมเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที (real-time)

เตรียมเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันทีของ Aeroqual Series 500 monitor Software version 6.5 เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ทั้งก่อนและหลังการฉีดพ่นสารลดฝุ่นละออง เป็นจำนวน 1 เครื่อง โดยเครื่องมือทำการตรวจวัดด้วยหลักการ Light scattering ซึ่งสามารถอ่านค่าความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 0.001 - 1.000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m³) ซึ่งมีการปรับเทียบค่าให้เป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (µg/m³) ด้วยโปรแกรม Microsoft excel โดยเครื่องมือได้รับการสอบเทียบจากผู้ผลิตและต้องสอบเทียบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง จากนั้นนำเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันทีไปใส่ตู้ที่ได้ทำการดัดแปลงเพื่อป้องกันละอองน้ำเข้าสู่ตัวเครื่อง และไม่ให้เกิดความเสียหายต่อตัวเครื่องในขณะทำการทดลอง

3.2.2 การเตรียมเครื่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

เตรียมอุปกรณ์ควบคุมความชื้น (Xiaomi Zhibai Smart Control) ภายในห้องทดสอบ โดยควบคุมค่าความชื้นภายในห้องทดสอบให้อยู่ระหว่าง 40-50% ตลอดการทดสอบและอุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิภายในและนอกห้องทดสอบ (Temp & RH Data Logger)

3.2.3 การเตรียมสารทดสอบในการลดฝุ่น PM_{2.5} (Chemical Agglomeration)

เตรียมสารทดสอบในการลดฝุ่น PM_{2.5} ภายในพื้นที่ปิด โดยคัดเลือกสารที่มีคุณสมบัติในการเกาะรวมฝุ่นละอองใ้มีน้ำหนักและตกลงสู่พื้น รวมทั้งเป็นสารที่ปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวและสารไบโอพอลิเมอร์ กำหนดสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดสอบการเกาะรวมของฝุ่นละออง คือ สารละลายทวิน-80 (Tween-80) และสารไบโอพอลิเมอร์ คือ สารละลายเพคติน (Pectin) อีกทั้งสารทั้งสองชนิดจัดเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ตามที่ EC-directives 67/548/EEC หรือ 1999/45/EC กำหนด ส่วนการเตรียมสารตำรับดำเนินการโดยคณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นจำนวน 5 สูตร ได้แก่ สาร A B C D และ E ซึ่งสารทดสอบจะถูกเตรียมให้มีระดับความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงระดับปริมาตรที่แตกต่างกัน ได้แก่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร ซึ่งสารละลายดังกล่าวสามารถเตรียมได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละโดยปริมาตรของตัวถูกละลาย (\%V/V)} = \left(\frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \right) \times 100 \quad \text{สมการ 3.1}$$

$$\text{ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรของตัวถูกละลาย (\%W/V)} = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \right) \times 100 \quad \text{สมการ 3.2}$$

3.2.5 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

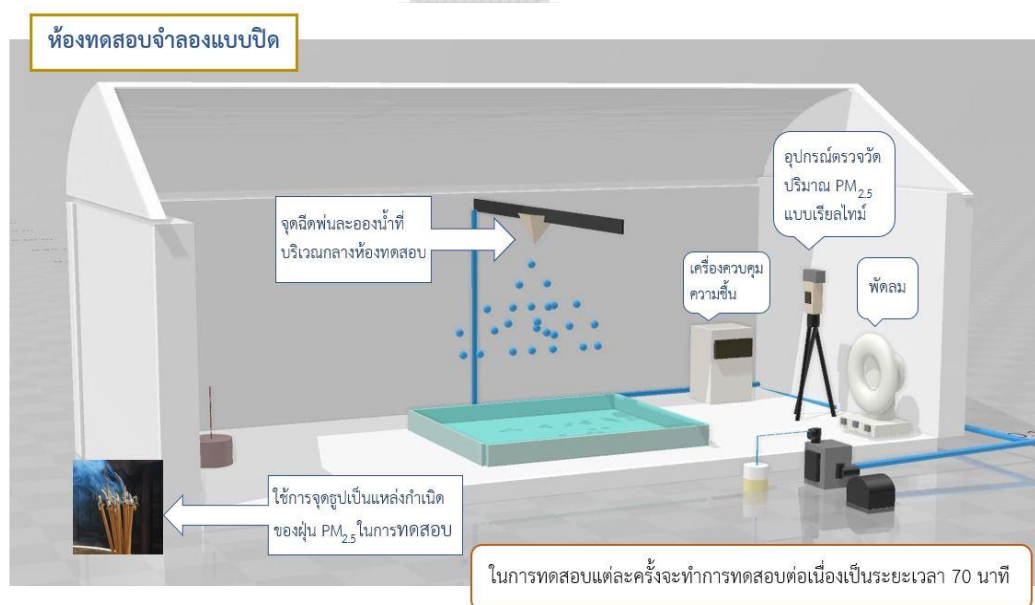
ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบจำลองแบบปิด ปรากฏดังรูปที่ 9 โดยติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบภายในห้องทดสอบ ดังต่อไปนี้

1) ติดตั้งอุปกรณ์ฉีดพ่นละอองน้ำโดยให้ตำแหน่งของหัวพ่นหมอกอยู่ที่บริเวณตรงกึ่งกลางของห้องทดสอบจำนวน 1 หัวต่อพื้นที่ทดสอบ เพื่อเป็นจุดฉีดพ่นสารลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนและกำหนดขนาดหัวฉีดพ่นละออง คือ 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งหัวฉีดพ่นละอองทำการต่อเข้ากับท่อและอุปกรณ์ปั้มน้ำ

2) ติดตั้งเครื่องควบคุมความชื้นและเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยเครื่องควบคุมความชื้นติดตั้งภายในห้องทดสอบจำลองแบบปิดและเครื่องวัดอุณหภูมิติดตั้งทั้งภายในและภายนอกของห้องทดสอบ

3) ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบต่อเนื่องจำนวน 1 เครื่อง ตำแหน่งจุดการติดตั้งจะอยู่ใกล้บริเวณที่ติดตั้งรูปและจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ฉีดพ่นละอองน้ำ เพื่อตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดก่อนและหลังจากการใช้สารลดฝุ่นละอองด้วยอุปกรณ์ฉีดพ่นละอองน้ำ

4) ติดตั้งรูปที่เป็นตัวแทนของแหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยติดตั้งภายในห้องทดสอบบริเวณด้านหลังสุดเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$



รูปที่ 9 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ภายในห้องทดสอบระบบปิด

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว สารไฮโปโพลีเมอร์ ในการลดฝุ่น PM_{2.5}

3.3.1 เก็บข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5}

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและสารไฮโปโพลีเมอร์ในการลดฝุ่น PM_{2.5} ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด ขนาด 2x2x3 เมตร (ปริมาตร 10.71 ลูกบาศก์เมตร) โดยออกแบบการทดลองในรูปแบบของ 3^k Factorial design เพื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ซึ่งกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการเกาะรวมอนุภาค คือ ชนิดของสาร (เพคติน, Tween-80) ความเข้มข้นของสาร (0.05, 0.1 และ 0.5% W/V, V/V) และปริมาตรในการฉีดพ่นสาร (75, 100 และ 150 มิลลิลิตร) โดยมีรายละเอียดการทดสอบ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากการเปิดอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันที (aeroqual series 500) และอุปกรณ์ควบคุมความชื้น (Xiaomi Zhibai Smart Control) โดยควบคุมค่าความชื้นภายในห้องทดสอบให้อยู่ระหว่าง 40-50% และอุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิภายในและนอกห้องทดสอบ (Temp & RH Data Logger) จากนั้นเริ่มการจุดธูปที่เป็นตัวแทนแหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{2.5} ร่วมกับการเปิดพัดลมให้เกิดการฟุ้งกระจายภายในห้องทดสอบจำลองแบบปิด โดยกำหนดความยาวธูปที่ 2 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 10 นาที จนเกิดการเผาไหม้หมด เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ทำการปิดพัดลมและฉีดพ่นสารเคมีที่เตรียมไว้ผ่านหัวฉีดพ่นละอองจำนวน 1 หัวฉีดตรงกลางห้องทดสอบ โดยกำหนดขนาดหัวฉีดพ่นที่ 0.3 มิลลิเมตร โดยข้อมูลรายละเอียดของสารทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2 จากนั้นวัดปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ภายในห้องทดสอบและบันทึกอย่างต่อเนื่องโดยเครื่อง aeroqual series 500 เป็นระยะเวลา 60 นาที หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้น บันทึกค่าปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ก่อนและหลังการฉีดพ่นสารทดสอบ โดยทำการดาวน์โหลดข้อมูลปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ในเครื่อง aeroqual series 500 บันทึกค่าความชื้นภายในห้องทดสอบ และค่าอุณหภูมิภายในและนอกห้องทดสอบลงคอมพิวเตอร์ก่อนที่จะเริ่มการทดลองครั้งต่อไป เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดฝุ่น PM_{2.5} ซึ่งแต่ละชุดการทดลองทำการทดสอบ 3 ซ้ำ โดยทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลาทั้งหมด 105 นาทีต่อครั้งการทดลอง ตลอดการทดลองจะมีชุดควบคุมที่ดำเนินขั้นตอนแบบดังกล่าวข้างต้นแต่ทำการฉีดพ่นละอองด้วยน้ำเปล่า เพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองจากการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารไฮโปโพลีเมอร์ โดยรูปแบบการทดลองแสดงในตารางที่ 3

ทั้งนี้ หลังจากทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและคัดเลือกตัวอย่างสารฉีดพ่นที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการลดฝุ่น PM_{2.5} จากนั้นจะนำตัวอย่างที่ดีที่สุดมาทดสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของฝุ่นละอองหลังการฉีดพ่น เพื่อศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงด้วยข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงกายภาพของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการชั่งน้ำหนักและดูลักษณะการเกาะรวมอนุภาคผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตารางที่ 2 ข้อมูลรายละเอียดของสารทดสอบ

ชื่อสาร	ประเภทสาร	ข้อมูลลักษณะของสารเคมี	รูปภาพ
สารละลาย pectin	เป็นกลุ่มสารที่ให้ความหนืด เป็น polymer ที่ใช้ทางคหกรรมเป็นส่วนใหญ่และมีความเป็นพิษต่ำ	มีลักษณะเป็นผงขาวขุ่น เมื่อละลายจะให้ลักษณะหนืดใส และมีกลิ่นหืนเล็กน้อย	
สารละลาย tween-80	เป็นกลุ่มสารลดแรงตึงผิว surfactant และเป็น Emulsifier	เป็นสารละลายสีเหลืองเมื่อละลายจะได้สีเหลืองใส และมีกลิ่นหืน	
สาร A	เป็นกลุ่มสาร surfactants	สารละลายมีความใส และมีความหนืด	
สาร B	เป็นกลุ่มสารที่ให้ความหนืด เป็น polymer ที่ใช้ทางเภสัชกรรมและมีความเป็นพิษต่ำ	สารละลายมีความหนืดละลายช้าที่สุด แต่ละลายได้ใส	
สาร C	โครงสร้างมีลักษณะเป็น polymer ของสารผสมที่มีประจุบวก (+)	สารละลายมีความขุ่นอ่อนๆ และมีกลิ่นหืนเล็กน้อย	
สาร D	polymer ของสารผสมที่มีประจุบวก (+)	สารละลายมีความขุ่นเล็กน้อย	
สาร E	โครงสร้างมีลักษณะเป็น polymer ของสารผสมที่มีประจุบวก (+)	สารละลายมีความใส และมีความหนืด	

ตารางที่ 3 รูปแบบการทดลองแบบ 3^k factorial design ที่สภาวะการทดสอบต่างๆ

สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ	ประเภทของสาร	ปัจจัยทดสอบ	
		ความเข้มข้นของสาร	ปริมาณของสาร
Water (N=9)	-	-	75, 100, 150 ml.
Pectin	Biopolymer	0.05%, 0.1%, 0.5% w/v *(N=3)	75, 100, 150 ml. *(N=9)
Tween-80	Surfactant	0.05%, 0.1%, 0.5% v/v *(N=3)	75, 100, 150 ml. *(N=9)
สาร A	Surfactant	-	75, 100, 150 ml. *(N=9)
สาร B	Polymer	-	75, 100, 150 ml. *(N=9)
สาร C	Polymer	-	75, 100, 150 ml. *(N=9)
สาร D	Polymer	-	75, 100, 150 ml. *(N=9)
สาร E	Polymer	-	75, 100, 150 ml. *(N=9)

แต่ละชุดการทดสอบทำ 3 ซ้ำ

3.3.2 การเก็บข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ

เก็บข้อมูลค่าความชื้นและอุณหภูมิห้องในช่วงเวลาที่ทำการทดลองด้วยเครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิในอากาศด้วยเครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิ TM-305U TENMARS ที่มีการบันทึกข้อมูลใน data logger ซึ่งสามารถแสดงผลและบันทึกค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นและอุณหภูมิในบรรยากาศแบบต่อเนื่องได้ ทำการบันทึกข้อมูลการตรวจวัดตลอดช่วงเวลากการเก็บข้อมูลการฉีดพ่นสารลดฝุ่นละออง

3.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5}

หลังจากการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ที่ได้จากการบันทึกโดยเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที (real time) ได้นำปริมาณฝุ่นเริ่มต้นแต่ละชุดทดสอบมาวิเคราะห์ความเบี่ยงเบน เพื่อควบคุมคุณภาพการทดสอบที่ยอมรับได้ การคำนวณแสดงดังสมการที่ 3.3

$$\%RSD = \left(\frac{SD}{\bar{X}}\right) \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

โดย %RSD = ร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
 SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 \bar{X} = ค่าเฉลี่ยข้อมูล

จากนั้นนำค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ที่ได้จากการบันทึกโดยเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที โดยนำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละออง (removal efficiency) ซึ่งมีการกำหนดค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ก่อนการฉีดพ่นสารเป็นค่าของนาที่ที่ 10 เนื่องจากเป็นค่าความเข้มข้นที่ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจายภายในห้องทดสอบ และค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} หลังการฉีดพ่นจะเป็นค่าสุดท้ายของเวลาที่ทดสอบ ได้ดังสมการที่ 3.4

$$\text{Removal efficiency} = \frac{PM_{2.5}(\text{pre}) - PM_{2.5}(\text{post})}{PM_{2.5}(\text{pre})} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

โดย PM_{2.5}(pre) = ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} ก่อนการฉีดพ่นสาร
 PM_{2.5}(post) = ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} หลังการฉีดพ่นสาร

3.3.4 การวิเคราะห์อัตราการลดลงของ PM_{2.5}

หลังจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดฝุ่น PM_{2.5} เนื่องจากค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ที่ตรวจวัดแบบ real time มีค่าความแปรปรวนสูง จึงต้องมีการนำมาปรับให้ข้อมูลเรียบมากขึ้น ด้วยการปรับค่าการตรวจวัดทุกๆ นาที่ให้อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) ในช่วงเวลา 3 นาที่ แสดงดังสมการที่ 3.5

$$X_i = \frac{(X_{t-1} + X_t + X_{t+1})}{3} \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

โดย X_i = ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเคลื่อนที่ ณ เวลาใดๆ ที่ผ่านการเฉลี่ยในเวลาทุกๆ 3 นาที

X_t = ค่าความเข้มข้นตรวจวัด ณ เวลา t

X_{t-1} = ค่าความเข้มข้นตรวจวัด ณ เวลา t-1 นาที

X_{t+1} = ค่าความเข้มข้นตรวจวัด ณ เวลา t+1 นาที

จากนั้นนำค่า X_i (moving average) ที่ได้มาหาค่าการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ทุกๆ 3 นาที (ΔY_3) ดังสมการที่ 3.6 เพื่อให้เห็นแนวโน้มการลดลงที่ชัดเจน นำค่า ΔY_3 ที่ได้มาพล็อตกราฟแสดงแนวโน้มการลดลง (Decreasing concentration) จากนั้นพิจารณาเลือกช่วงเวลาที่กราฟแสดงแนวโน้มการลดลงอย่างชัดเจนจนกระทั่งค่าของการลดลงค่อนข้างคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

$$(\Delta Y_3) = (X_{it} - X_{it-3}) \quad \text{สมการที่ 3.6}$$

โดย ΔY_3 = ปริมาณที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ทุกๆ 3 นาที (Decreasing concentration)

X_{it} = ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ณ เวลา t

X_{it-3} = ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ณ เวลา t-3 นาที

จากนั้นกำหนดช่วงเวลาที่เห็นการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ อย่างชัดเจนในทุกๆ ชุดทดสอบเพื่อควบคุมช่วงเวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการของสารที่ทดสอบการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ เช่น แนวโน้มการลดลงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในช่วง 12 หรือ 15 นาทีแรกหลังการฉีดพ่น เป็นต้น นำค่า ΔY_3 ในช่วงเวลาที่เลือกมาคำนวณหาอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (removal rate) ในหน่วยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อนาที ($\mu g/m^3 \cdot min$) แสดงดังสมการที่ 3.7

$$\text{Removal rate of } PM_{2.5} (RR_x) = \frac{\sum_{n=1}^i [\Delta Y_{3n}/3]}{n} \quad \text{สมการที่ 3.7}$$

โดย RR_x = อัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในหน่วย $\mu g/m^3 \cdot min$ ของสารทดสอบ
ชนิด x

ΔY_{3n} = ค่าปริมาณที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ทุกๆ 3 นาทีลำดับที่ n

n = จำนวนค่าข้อมูล ΔY_3 ที่นำมาพิจารณาแนวโน้มการลดลง (เช่น เวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการของสารที่ทดสอบเป็น 12 นาทีแรก ค่า $n = 4$)

นอกจากนี้ หาค่าการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ เพื่อวิเคราะห์ค่าอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (removal rate) ตลอดการทดสอบ 60 นาที จากการปรับเส้นโค้ง (curve fitting) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยใช้สมการที่ดัดแปลงจากการศึกษาของ Kim et al. (2020) แสดงดังสมการที่ 3.8

$$\ln(C_{in} - C_{in,ss}) = -kt + \ln(C_{in,ini} - C_{in,ss}) \quad \text{สมการที่ 3.8}$$

โดย $C_{in,ini}$ = ค่าความเข้มข้น ณ เวลา t ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 $C_{in,ss}$ = ค่าความเข้มข้นหลังการฉีดพ่นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ณ เวลา t ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 k = สัมประสิทธิ์การลดลงของฝุ่น (min^{-1})
 t = เวลาการทดสอบ (minute)

3.4 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการฉีดพ่นสารเคมี

3.4.1 การเตรียมกระดาศกรงสำหรับ gravimetric analysis

1) เตรียมกระดาศกรงชนิด Glass Microfiber filter (GF) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81 มิลลิเมตร ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ จากนั้นนำกระดาศกรงไปเก็บในตู้ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ เพื่อรอการชั่งน้ำหนัก

2) นำกระดาศกรงมาชั่งน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Mettler-Toledo ที่สามารถอ่านค่าละเอียด 0.0001 มิลลิกรัม ซึ่งขั้นตอนการชั่งน้ำหนักจะมีการควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักกระดาศกรงด้วยการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยการนำลูกตุ้มมาตรฐานขนาด 100 และ 200 มิลลิกรัม มาชั่งก่อนและหลังการชั่งกระดาศกรงทุกครั้ง

3.4.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฝุ่น

หลังจากทำการเก็บข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ทั้งก่อนและหลังการฉีดพ่นละออง โดยใช้เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที (real-time) แล้ว จากนั้นทำการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นที่ได้ทำการคัดเลือกสถานะทดสอบที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดแล้ว โดยใช้เครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล (personal pump) ต่อเข้ากับอุปกรณ์คัดแยกขนาดฝุ่นชนิด

Cascade impactor ที่ใส่กระดาษกรองที่ได้ทำการเตรียมไว้ชนิด Glass Microfiber filter (GF) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81 มิลลิเมตร โดยปรับอัตราการไหลของอากาศให้อยู่ที่ 28.3 ลิตรต่อวินาที โดยนำกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้วไปวิเคราะห์ค่าน้ำหนัก เพื่อหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ทดสอบและนำตัวอย่างที่ได้ทำการคัดเลือกสถานะทดสอบที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดแล้ว ไปวิเคราะห์การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการฉีดพ่นสารเคมี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อศึกษาข้อมูลเชิงปริมาณน้ำหนักฝุ่นละอองและข้อมูลเชิงกายภาพของฝุ่นละออง

3.4.3 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ทำการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของฝุ่นละออง เพื่อหาค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ทดสอบ โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 3 ซ้ำ และนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ได้ดังสมการที่ 3.8 และ 3.9

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{2.5} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = (W_{\text{post}} - W_{\text{pre}})/V \quad \text{สมการที่ 3.8}$$

โดย W_{pre} = น้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (μg)

W_{post} = น้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษกรองก่อนหลังตัวอย่าง (μg)

V = ปริมาตรอากาศ (m^3)

จากนั้นทำวิเคราะห์การกระจายตัวตามขนาดของ PM_{2.5} (Normalize Concentration) โดยการคำนวณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลปริมาณความเข้มข้นรูปแบบมาตรฐาน เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของฝุ่น PM_{2.5} ไม่เท่ากัน เพื่อนำมาสร้างกราฟ ดังสมการที่ 3.9

$$dC/d\log D_p = \frac{dC}{\log D_{p,u} - \log D_{p,l}} \quad \text{สมการที่ 3.9}$$

โดย dC = ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$D_{p,u}$ = upper channel diameter

$D_{p,l}$ = lower channel diameter

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

เพื่อควบคุมคุณภาพการทดสอบในแต่ละชุดทดลองได้นำปริมาณฝุ่นที่เริ่มต้นแต่ละชุดทดสอบมาวิเคราะห์ความเบี่ยงเบน โดยวิเคราะห์ค่า %RSD ในกรณีที่ค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ เริ่มต้นในชุดทดสอบใดทำให้ค่า %RSD > 20% ผลการทดสอบชุดนั้นจะไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้วิเคราะห์ทั้งสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) และสถิติเชิงอนุมาน (Analytical statistics)

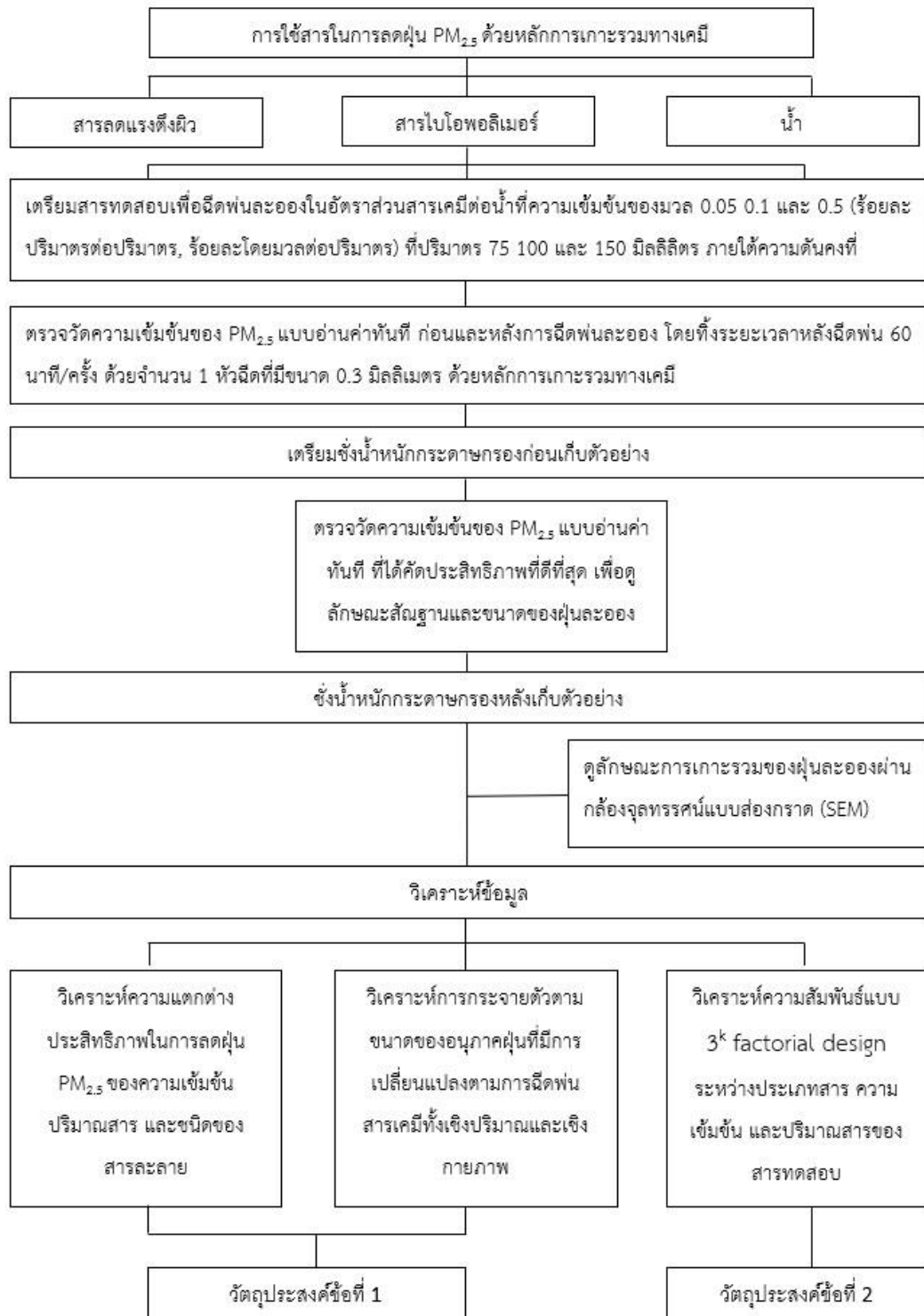
3.6.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของข้อมูลทั่วไป เช่น ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.6.2 สถิติเชิงอนุมาน (Analytical statistics)

1) วิเคราะห์ความแตกต่างประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ของความเข้มข้นและปริมาณสารในการลดฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยใช้สถิติอนุมาน Analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากโปรแกรม SPSS Statistics version 28

2) วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way ANOVA) เป็นหาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยรูปแบบ 3^k factorial design เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ และอัตราการลดของ $PM_{2.5}$ ระหว่างประเภทของสารที่ฉีดพ่น ปริมาณสาร และความเข้มข้นของสารละลาย โดยใช้สถิติ ANOVA for quadratic

จากรายละเอียดวิธีการศึกษาตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปแผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 รายละเอียดและลำดับขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในห้องทดสอบจำลองแบบปิดที่สภาวะทดสอบต่างๆ

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร

ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมีก่อนเริ่มการทดสอบกระบวนการเกาะรวมทางเคมีของชุดทดสอบต่าง ๆ ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด ขนาด 2*3*3 เมตร (ปริมาตร 10.71 ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งได้มีการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันที (Real-time) ทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลา 70 นาทีนับตั้งแต่จุดธูปพร้อมกับการเปิดพัดลม ซึ่งให้ฝุ่นละอองเกิดการฟุ้งกระจายภายในห้องทดสอบเป็นระยะเวลา 10 นาทีแรก และสังเกตการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} เป็นเวลา 60 นาที ระหว่างการทดสอบจะมีการควบคุมค่าความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 40-50 ตลอดการทดสอบและทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีการบันทึกค่าความชื้นและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ เพื่อศึกษาสภาวะที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} พบว่าค่าความชื้นภายในห้องทดสอบอยู่ในช่วงร้อยละ 40.0-50.3 โดยมีการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเมื่อสิ้นสุดการทดสอบประมาณร้อยละ 10 และทำการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ตลอดการทดสอบมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.8-29.2 ± 0.7 องศาเซลเซียส การยอมรับผลของชุดทดสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพต้องมีค่าปริมาณฝุ่นเริ่มต้นที่แตกต่างกันของแต่ละชุดทดสอบไม่เกินประมาณร้อยละ 25 ซึ่งใช้ควบคุมคุณภาพการทดสอบในชุดทดสอบอื่นๆ เช่นเดียวกัน (ข้อมูลปริมาณฝุ่นเริ่มต้นโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก จ) ผลการตรวจวัดข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงปรากฏดังตารางที่ 4

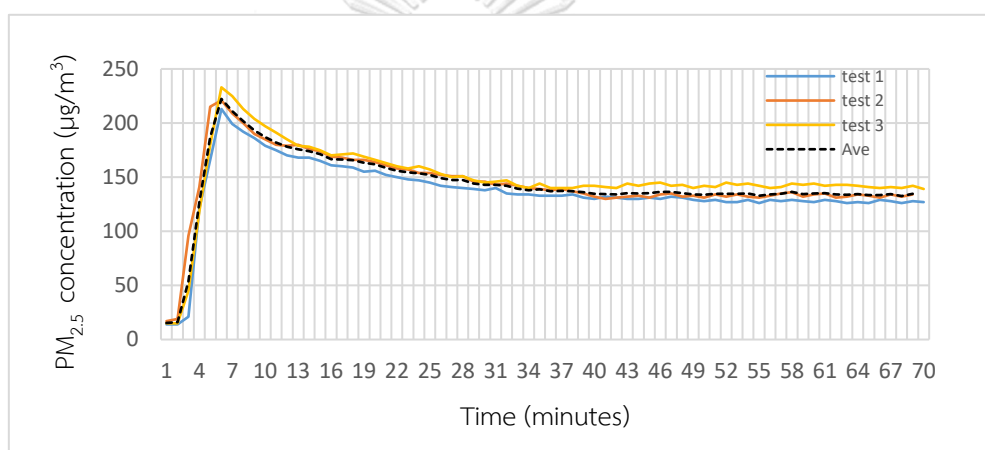
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมีตลอดระยะเวลา 60 นาที

การทดสอบ	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5} (µg/m ³)		ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5} ที่เปลี่ยนแปลง (%)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
1	213	128	31.2
2	221	134	29.5
3	233	142	30.4
			ค่าเฉลี่ย: 30.3 ± 0.9

หมายเหตุ การทดสอบอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27.6-29.5 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40-50.3

จากการตรวจวัดข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงในสถานะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 213-233 (± 10.1) ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 128-142 (± 7) ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 30.3 ± 0.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาค่าแนวโน้มความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลง ปรากฏดังรูปที่ 11 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มที่ค่อยๆ ลดลงในช่วง 30 นาทีแรกของการทดสอบ โดยผลการตรวจวัดข้อมูลปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงจะถูกนำไปใช้เป็นชุดควบคุมเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบหลังการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมี



รูปที่ 11 ปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดสอบโดยไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.2 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในสถานะที่ฉีดพ่นน้ำเปล่า

การศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบอ่านค่าทันที (Real-time) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในสถานะที่มีการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตรแตกต่างกันสามระดับ ได้แก่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร โดยทำการฉีดพ่นน้ำเปล่า (น้ำประปา) ผ่านหัวฉีดพ่นขนาด 0.3 มิลลิเมตร จำนวน 1 หัวฉีด บริเวณกึ่งกลางห้องทดสอบแบบปิด เก็บข้อมูลเป็นเวลา 70 นาทีหลังจากจุดธูป โดยให้ฝุ่นละอองเกิดการฟุ้งกระจายภายในห้องทดสอบแบบปิดเป็นเวลา 10 นาที โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ในสถานะที่ฉีดพ่นน้ำเปล่าปรากฏดังตารางที่ 5 และรูปที่ 12 (ข้อมูลโดยละเอียดรวบรวมในภาคผนวก ข)

จากการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในสถานะที่ฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า พบว่าค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตร 75 100 และ

150 มีค่าปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้น 143.7 218.7 และ 175 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 65.7 64.7 และ 92.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 49.6 ± 1.1, 53.2 ± 1.8 และ 44.1 ± 1.9 ตามลำดับ ผลการทดสอบจึงสรุปได้ว่าเมื่อทำการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตรแตกต่างกัน ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุด รองลงมา คือ 75 และ 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพที่ทดสอบด้วยปริมาตรน้ำสามระดับมาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ปริมาตรที่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) หากพิจารณาจากห้องทดสอบแบบปิดที่ขนาด 2*3*3 เมตร (ปริมาตร 10.71 ลูกบาศก์เมตร) และปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองเริ่มต้นที่ใช้ทดสอบ ปริมาตรน้ำที่ 100 มิลลิลิตรให้ผลการลดลงของ PM_{2.5} สูงสุด ซึ่งหากใช้ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรอาจไม่เพียงพอต่อขนาดของห้องทดสอบ และความเข้มข้นของฝุ่นละออง ส่วนการฉีดพ่นที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} เนื่องจากอนุภาคของน้ำที่มากเกินไปอาจไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเกาะรวมกับอนุภาคของฝุ่นละออง เนื่องจากแรงดึงดูดที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยตัวเอง (Cohesion) อาจทำให้อนุภาคของน้ำเกิดการชนและรวมตัวกันเองก่อนการจับกับอนุภาคของฝุ่นละออง

ทั้งนี้ เมื่อนำค่าประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ที่ฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าเปรียบเทียบกับสถานะที่ไม่มีการฉีดพ่นสารเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที ดังรูปที่ 13 พบว่าปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตรให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุด (53.2 ± 1.8%) รองลงมาได้แก่ 75 (49.6 ± 1.1%) และ 150 มิลลิลิตร (44.1 ± 1.9%) ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าการฉีดพ่นละอองด้วยน้ำมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับสถานะที่ไม่มีการฉีดพ่นละอองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ซึ่งปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าสถานะที่ไม่ฉีดพ่นอยู่ประมาณร้อยละ 20 สำหรับปริมาตรที่ 75 และ 150 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพได้ดีกว่าสถานะที่ไม่ฉีดพ่นอยู่ประมาณร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าน้ำมีคุณสมบัติในการรวมตัวระหว่างอนุภาคในอากาศได้ เนื่องจากน้ำมีความสามารถในการเกาะรวมกับอนุภาคฝุ่นที่เป็นละอองลอยในอากาศ ด้วยแรงเชื่อมของของเหลว (liquid bridge force) ที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาคน้ำและอนุภาคฝุ่น ทำให้เกิดการเกาะรวมกันจนมีน้ำหนักรวมและตกลงสู่พื้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Blum, 2006) นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bin et al. (2018) ที่พบว่าน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ได้ดีกว่าสถานะไม่ฉีดพ่นสารอยู่ที่ร้อยละ 68.1 ให้ประสิทธิภาพดีกว่า

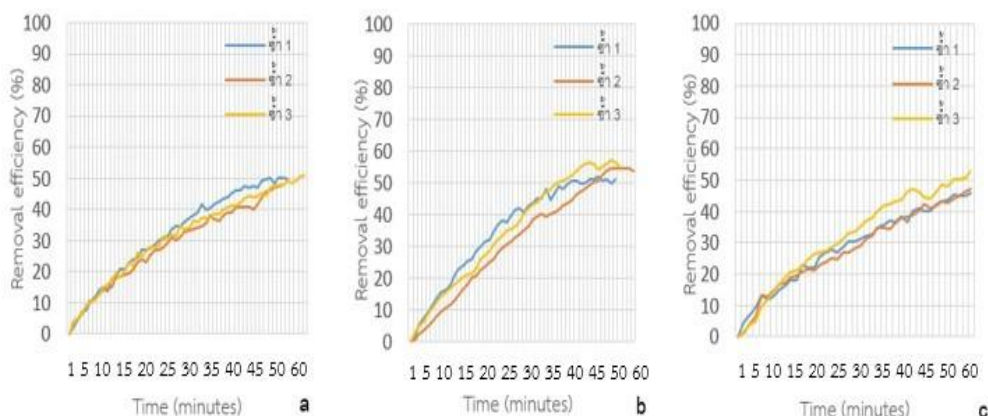
สภาวะที่ไม่ฉีดพ่นสารอยู่ที่ร้อยละ 5.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมีคุณสมบัติในการรวมตัวระหว่างอนุภาค และให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ได้ดีกว่าสภาวะที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร

นอกจากนี้ ผลการตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยในระหว่างการทดสอบ ข้อมูลโดยละเอียด รวบรวมไว้ในภาคผนวก ฉ พบว่าค่าความชื้นภายในห้องทดสอบของการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าปริมาตรที่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 43.2-49.3, 42.6-44.8 และ 44.0-44.7 โดยมีการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเมื่อสิ้นสุดการทดสอบเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร และทำการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ตลอดการทดสอบมีค่าอุณหภูมิ อยู่ในช่วง 28.3-28.5 (± 0.2), 28.7-29.3 (± 0.4) และ 28.9-29.0 (± 0.4) องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบพบว่า มีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดการทดสอบจึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการลด PM_{2.5} ที่ฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า ภายในห้องทดสอบระบบปิด ซึ่งค่าความชื้นและอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ควบคุมไว้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานภายในอาคารเมื่อนำไปฉีดพ่นละออง

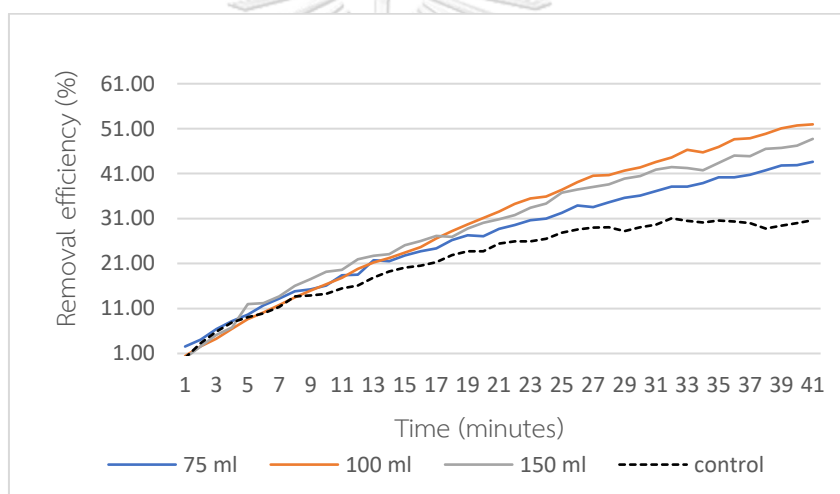
ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ในสภาวะที่ฉีดพ่นน้ำเปล่าตลอดระยะเวลา 60 นาที

ปริมาตรของสาร (มิลลิลิตร)	การทดสอบ	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ประสิทธิภาพในการลด PM _{2.5} (%)
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	
75	1	153	66	49.5
	2	139	65	48.6
	3	139	66	50.8
				ค่าเฉลี่ย: 49.6 \pm 1.1
100	1	269	64	51.1
	2	158	65	53.6
	3	229	65	54.9
				ค่าเฉลี่ย: 53.2 \pm 1.8
150	1	201	99	44.7
	2	166	95	45.4
	3	158	84	42.1
				ค่าเฉลี่ย: 44.1 \pm 1.9

หมายเหตุ การทดสอบอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27.9-30.1 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40.2-52.3



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า (a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (c) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร



รูปที่ 13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าและชุดควบคุม

4.1.3 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของ $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารละลายเพคติน

ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารละลายเพคตินในการทดสอบกระบวนการเกาะรวมทางเคมีของชุดทดสอบต่างๆ ภายในห้องทดสอบจำลองแบบปิด โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบอ่านค่าทันที เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินที่มีความเข้มข้นสามระดับ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5 % W/V ร่วมกับศึกษาในสภาวะของปริมาตรที่แตกต่างกันสามระดับ ได้แก่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร ผลประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ของสารละลายเพคติน ปรากฏดังตารางที่ 6

ผลการทดสอบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ หลังผ่านการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินแต่ละ ปริมาตร ได้รวบรวมใน ภาคผนวก ค ผลการทดสอบพบว่า ค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ เปลี่ยนแปลงไปหลังจากฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.05% W/V มีค่าปริมาณความ เข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 162 196 และ 174.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่า ปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 66.3 86.7 และ 71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ ในช่วงร้อยละ 53.5±0.8, 53.4±1.6 และ 52.7±2.4 ตามลำดับ และการทดสอบด้วยสารละลายเพค ดินที่ความเข้มข้น 0.1% W/V มีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 227 133.7 และ 180.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 89 51.7 และ 87.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ เมื่อทดสอบที่ ระยะเวลา 60 นาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 54.2±0.9, 54.5±2.3 และ 53.4±2.3 ตามลำดับ ส่วน การทดสอบด้วยสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V มีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 159 204.7 และ 166.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อ สิ้นสุดการทดสอบ 70 65.3 และ 85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการ ลด $PM_{2.5}$ เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 52.1±1.1, 66.2±0.2 และ 53.4±2.3 ตามลำดับ

ผลการทดสอบจึงสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ที่สูงที่สุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือ การใช้สารเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (66.2±0.2%) รองลงมาได้แก่ การใช้สารเพคตินที่ 0.1% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (54.5±2.3%), 0.1% W/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (54.2±0.9%), 0.05% W/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (53.5±0.8%), 0.05% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (53.4±1.6%), 0.1% W/V ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (53.4±2.3%), 0.05% W/V ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (52.7±2.4%), 0.5% W/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (52.1±1.1%) และ 0.5% W/V ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (44.8±0.4%) ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพของสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.05% w/v ในการลด PM_{2.5} ตลอดระยะเวลา 60 นาที

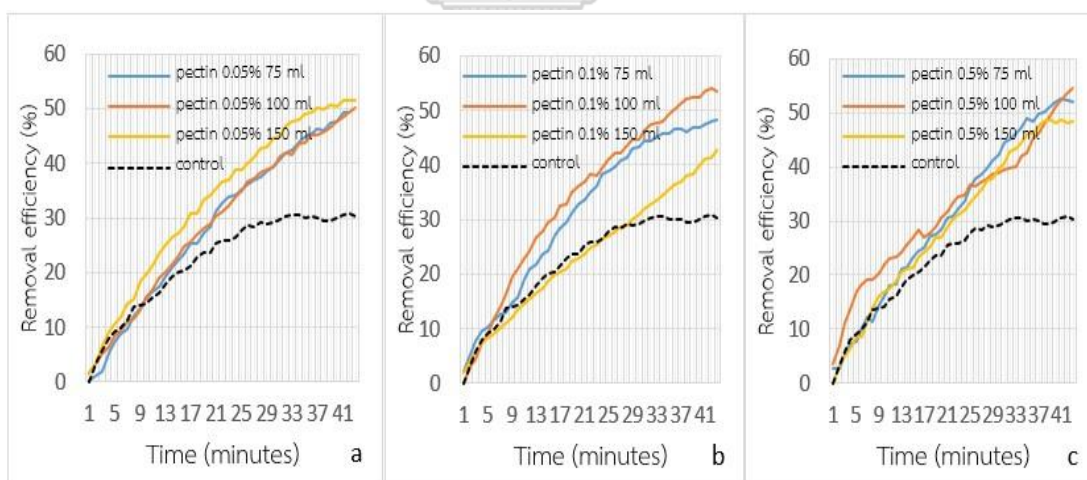
ปริมาตร (ml)		0.05%		0.1%		0.5%						
		ความเข้มข้น		ประสิทธิภาพ		ความเข้มข้น		ประสิทธิภาพ		ความเข้มข้น	ประสิทธิภาพ	
		PM _{2.5} (µg/m ³)		(%)		PM _{2.5} (µg/m ³)		(%)		PM _{2.5} (µg/m ³)	(%)	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด			
75	T ₁	163	66	52.9		208	81	55		162	70	53.3
	T ₂	167	70	53.3		242	94	54.4		159	71	52
	T ₃	156	63	54.3		231	92	53.3		156	69	51
	ค่าเฉลี่ย			53.5±0.8				54.2±0.9				52.1±1.1
100	T ₁	208	87	54.7		135	51	54.5		217	67	66
	T ₂	191	87	54		128	48	56.8		201	65	66.1
	T ₃	189	86	51.7		138	56	52.1		196	64	66.3
	ค่าเฉลี่ย			53.4±1.6				54.5±2.3				66.2±0.2
150	T ₁	172	68	54.3		173	86	54		160	84	44.4
	T ₂	173	78	50		181	92	50.8		169	86	44.9
	T ₃	179	67	53.8		188	84	55.3		170	85	45.1
	ค่าเฉลี่ย			52.7±2.4				53.4±2.3				44.8±0.4

หมายเหตุ การทดสอบอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27.6-30.3 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40.1-50.7

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการฉีดพ่นสารละลายเพคตินเมื่อใช้ความเข้มข้นระดับเดียวกันแต่ใช้ปริมาตรที่แตกต่างกัน ปรากฏดังรูปที่ 14 พบว่า ความเข้มข้น 0.05% W/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที (53.5±0.8%) รองลงมา คือ 100 มิลลิลิตร (53.4±1.6%) และ 150 มิลลิลิตร (52.7±2.4%) ตามลำดับ และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ปริมาตรที่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p < 0.05) (ภาพ a) บ่งชี้ว่าการทดสอบที่ความเข้มข้น 0.05% W/V เมื่อใช้ปริมาตรที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความสามารถในการลด PM_{2.5} ส่วนผลการทดสอบของสารละลายเพคตินของความเข้มข้น 0.1% W/V ที่ปริมาตรแตกต่างกัน (ภาพ b) ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตรให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที (54.5±2.3%) รองลงมาได้แก่ 75 มิลลิลิตร (54.2±0.9%) และ 150 มิลลิลิตร (53.4±2.3%) ตามลำดับ และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตรด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ปริมาตรที่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p < 0.05)

และผลการทดสอบของสารละลายเพคตินของความเข้มข้น 0.5% W/V ที่ปริมาตรแตกต่างกัน (ภาพ c) ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($66.2 \pm 0.2\%$) ให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที รองลงมา คือ 75 มิลลิลิตร ($52.1 \pm 1.1\%$) และ 150 มิลลิลิตร ($44.8 \pm 0.4\%$) ตามลำดับ และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตรด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าความแตกต่างของปริมาตรทั้งสามระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) บ่งชี้ว่าการฉีดพ่นสารละลายที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เหมาะสมต่อขนาดของห้องทดสอบจำลองแบบปิด

จากผลการทดสอบการฉีดพ่นสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้นเดียวกันภายใต้ปริมาตรที่ใช้แตกต่างกันจึงสรุปได้ว่า ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงที่สุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที ทั้งสองความเข้มข้น ได้แก่ 0.5% W/V รองลงมาคือ 0.1% W/V และ ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 0.05% W/V ซึ่งความสามารถในการลด $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพได้ดีเมื่อฉีดพ่นสารละลายที่ปริมาตรระหว่าง 75 – 100 มิลลิลิตร ในขณะที่ความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคจะลดลงหากฉีดพ่นปริมาตรที่มากเกินไป (150 มิลลิลิตร) เนื่องจากอนุภาคของสารอาจเกิดการชนกันเองก่อนที่จะรวมตัวกับอนุภาคฝุ่นละอองที่ลอยในอากาศ



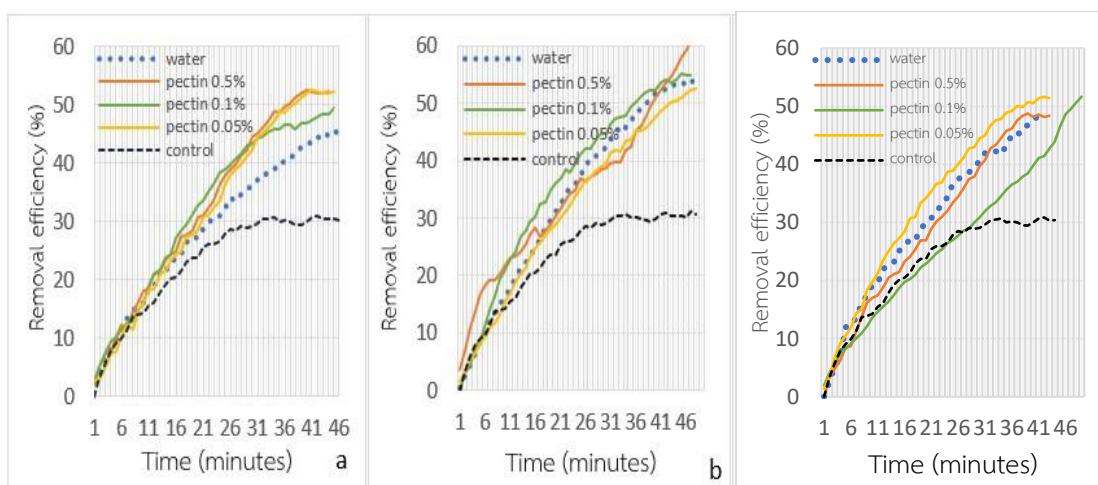
รูปที่ 14 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินความเข้มข้นต่างกัน

(a) ความเข้มข้น 0.05% W/V (b) ความเข้มข้น 0.1% W/V (c) ความเข้มข้น 0.5% W/V

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบเมื่อทำการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินปริมาตรเดียวกันแต่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ผลปรากฏดังรูปที่ 15 พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือ 0.1% W/V ($54.2 \pm 0.9\%$) รองลงมาได้แก่ 0.05%

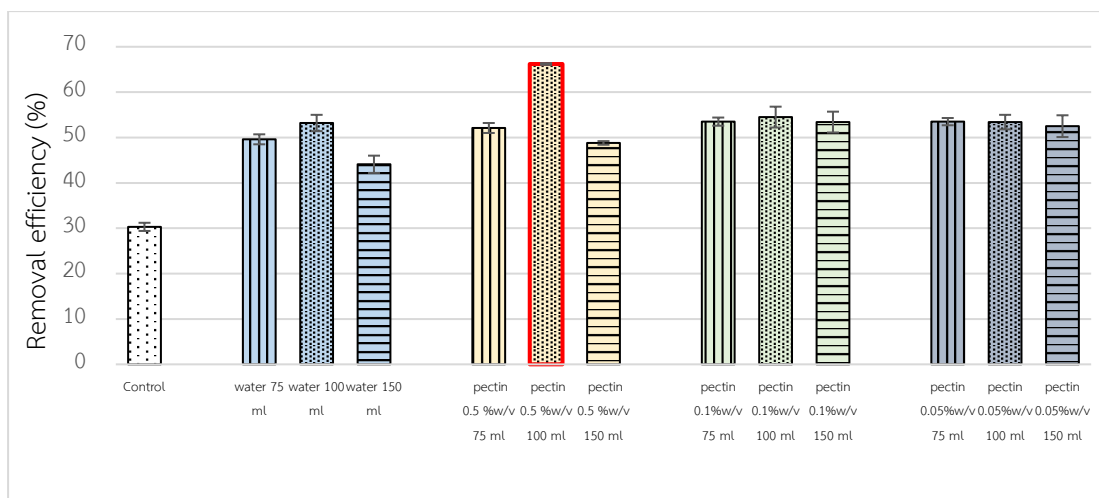
W/V ($53.5 \pm 0.8\%$) และ 0.5% W/V ($52.1 \pm 1.1\%$) ตามลำดับ (ภาพ a) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าเมื่อเปรียบเทียบทุกความเข้มข้นรวมทั้งน้ำที่ปริมาตรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) บ่งชี้ถึงความแตกต่างของความเข้มข้นเมื่อปริมาตรสารต่ำไม่ส่งผลต่อความสามารถในการลด $PM_{2.5}$ ส่วนการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินของปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือ 0.5% W/V ($66.2 \pm 0.2\%$) รองลงมาได้แก่ 0.1% W/V ($54.5 \pm 2.3\%$) และ 0.05% W/V ($53.4 \pm 1.6\%$) ตามลำดับ (ภาพ b) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร พบว่าที่ความเข้มข้น 0.5% W/V มีความแตกต่างกับทุกความเข้มข้นรวมถึงการใช้น้ำที่ปริมาตรเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ส่วนการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินของปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือ 0.1% W/V ($53.4 \pm 2.3\%$) รองลงมาได้แก่ 0.05% W/V ($52.7 \pm 2.4\%$) และ 0.5% W/V ($44.8 \pm 0.4\%$) ตามลำดับ (ภาพ c) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร พบว่าความเข้มข้น 0.1% W/V มีความแตกต่างกับ 0.5% W/V และน้ำที่ปริมาตรเดียวกันแต่ไม่มีความแตกต่างกับ 0.05% W/V อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

จากผลการทดสอบการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินในห้องทดสอบจำลองแบบปิด ภายใต้สภาวะความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาทีที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ($66.2 \pm 0.2\%$) รองลงมาได้แก่ 0.1% W/V ที่สูงที่สุดทั้งปริมาตรที่ 75 และ 150 มิลลิลิตร ($54.2 \pm 0.9\%$ และ $53.4 \pm 2.3\%$ ตามลำดับ) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละความเข้มข้น ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าความแตกต่างของความเข้มข้น 0.5% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตรมีความแตกต่างกับ 0.1% W/V ที่ปริมาตร 75 และ 150 มิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ความแตกต่างของความเข้มข้น 0.1% W/V ระหว่างปริมาตรที่ 75 และ 150 มิลลิลิตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ซึ่งความสามารถในการลด $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพได้ดีเมื่อฉีดพ่นสารละลายที่ความเข้มข้นระหว่าง $0.1-0.5\%$ W/V ในขณะที่ความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคจะลดลงหากฉีดพ่นความเข้มข้นที่ต่ำเกินไป เนื่องจากความเข้มข้นของสารที่ต่ำกว่า 0.1% ทำให้ความสามารถในการลดแรงตึงผิวของอนุภาคฝุ่นละอองต่ำลง จึงไม่สามารถส่งเสริมเกาะรวมระหว่างอนุภาคได้ดี (Yan et al., 2016)



รูปที่ 15 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินปริมาตรต่างกัน (a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (c) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ที่สภาวะการทดสอบทั้งหมด ดังรูปที่ 16 สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ที่สูงที่สุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือ ความเข้มข้นที่ 0.5% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ($66.2 \pm 0.2\%$) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยความเข้มข้นของสารและปริมาตรของสาร พบว่าความสามารถในการลด $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพได้ดีเมื่อฉีดพ่นสารละลายที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.1-0.5% W/V และปริมาตรที่ 75-100 มิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ที่พบว่าสารละลายเพคตินเป็นสารที่มีคุณสมบัติรวมตัวระหว่างอนุภาค ทำให้สารเกาะรวมกันจนมีน้ำหนักและตกลงสู่พื้น (Lewandowski et al., 2009b) และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทุกปริมาตรรวมทั้งชุดควบคุม พบว่าการฉีดพ่นผ่านสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตรให้ประสิทธิภาพได้ดีกว่าน้ำในปริมาตรเดียวกัน ($53.2 \pm 1.8\%$) คิดเป็นร้อยละ 13 หรือ 1.2 เท่า และดีกว่าชุดควบคุม ($30.3 \pm 0.9\%$) คิดเป็นร้อยละ 36 หรือ 2.2 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bin et al. (2018) ที่แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ โดยไม่มีการฉีดพ่นสารคิดเป็นร้อยละ 62.9 ในขณะที่การใช้น้ำและสารเพคตินให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 68.1 และ 77.6 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารละลายเพคตินมีคุณสมบัติเป็นสารรวมตัวที่ให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ได้ดีกว่าน้ำเปล่าและสภาวะที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร



รูปที่ 16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นระหว่างสารละลายเพคตินและน้ำ

4.1.4 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของ $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารละลายทวิน-80

ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารละลายทวิน-80 ในการทดสอบกระบวนการเกาะรวมทางเคมีของชุดทดสอบต่างๆ ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบอ่านค่าทันที เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่มีการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้นสามระดับ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5% V/V ร่วมกับการศึกษาในสภาวะของปริมาตรที่แตกต่างกันสามระดับ ได้แก่ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร ผลการทดสอบสรุปดังตารางที่ 7

ผลการทดสอบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ หลังผ่านการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 แต่ละปริมาตร ได้รวบรวมในภาคผนวก ง ผลการทดสอบพบว่า ค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้น 0.05% V/V มีค่าปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้น 144 144.7 และ 169.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 62.3 86 และ 71.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50 ± 1.8 34.9 ± 5.2 และ 45 ± 6.5 ตามลำดับ และสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้น 0.1% V/V มีค่าปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้น 162 160.7 และ 188 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 68.3 75.3 และ 89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที อยู่ในช่วงร้อยละ 55.3 ± 1.2 47.8 ± 3.4 และ 49.9 ± 1.1 ตามลำดับ ส่วนสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้น 0.5% V/V มีค่าปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้น 132.3 178.7 และ 162 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณ

ความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 52.3 89 และ 95.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} มีค่าเฉลี่ยเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที อยู่ในช่วงร้อยละ 52.5±1.1 43.8±8.1 และ 40.9±2.4 ตามลำดับ

ผลการทดสอบจึงสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ที่สูงที่สุดเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที การทดสอบที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (55.3±1.2%) รองลงมาได้แก่ 0.5% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (52.5±1.1%), 0.05% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (50±1.8%), 0.1% V/V ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (49.9±1.1%), 0.1% V/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (47.8±3.4%), 0.05%V/V ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (45±6.5%), 0.5% V/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (43.8±8.1%), 0.5% V/V ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (40.9±2.4%) และ 0.05% V/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (34.9±5.2%) ตามลำดับ

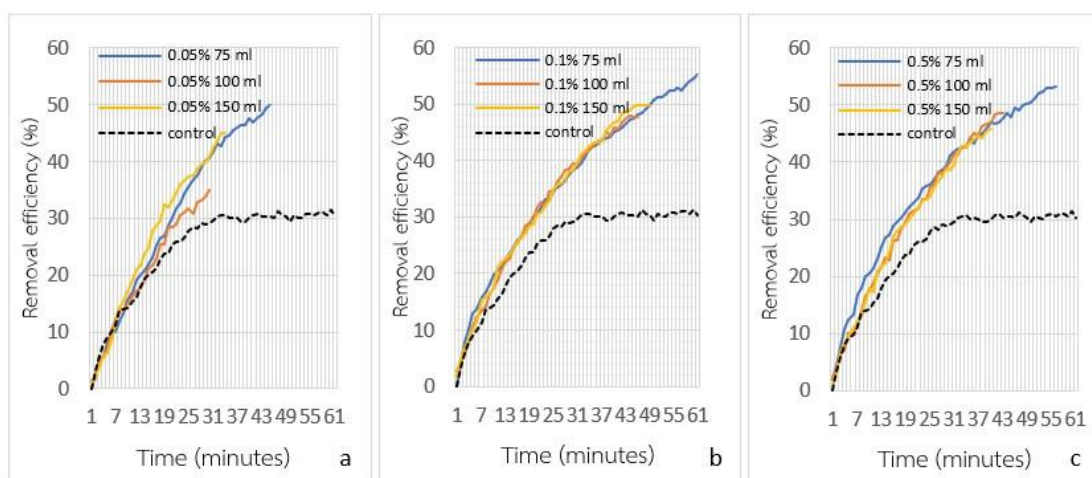
ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5% V/V ตลอดระยะเวลา 60 นาที

ปริมาณ (ml)		0.05%		0.1%		0.5%						
		ความเข้มข้น		ประสิทธิภาพ (%)	ความเข้มข้น		ประสิทธิภาพ (%)	ความเข้มข้น		ประสิทธิภาพ (%)		
		PM _{2.5} (µg/m ³)			PM _{2.5} (µg/m ³)			PM _{2.5} (µg/m ³)				
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด			
ครึ่ง	75	T ₁	134	60	49.6	165	69	54	114	44	53.2	
		T ₂	146	64	48.4	165	69	56.3	138	54	53	
		T ₃	152	63	52	156	67	55.6	145	59	51.2	
		ค่าเฉลี่ย			50±1.8%			55.3±1.2%			52.5±1.1%	
100	T ₁	165	92	39.9	164	79	44.8	168	95	36.2		
		T ₂	144	91	29.5	184	84	51.4	241	104	52.3	
		T ₃	125	75	35.3	134	63	47.2	127	68	42.7	
		ค่าเฉลี่ย			34.9±5.2%			47.8±3.4%			43.8±8.1%	
150	T ₁	167	80	38.5	186	87	51.1	137	91	38		
		T ₂	167	71	45	191	90	48.9	177	101	43.6	
		T ₃	175	64	51.5	187	90	49.7	172	94	40.9	
		ค่าเฉลี่ย			45±6.5%			49.9±1.1%			40.9±2.4%	

หมายเหตุ การทดสอบอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27.9-30.3 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40.1-50.7

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการฉีดพ่นทวิน-80 เมื่อใช้ความเข้มข้นระดับเดียวกันแต่ใช้ ปริมาตรที่ต่างกัน ปรากฏดังรูปที่ 17 พบว่าความเข้มข้น 0.05% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ให้ ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุดเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที (50±1.8%) รองลงมาได้แก่ 150 มิลลิลิตร (45±6.5%) และ 100 มิลลิลิตร (34.9±5.2%) ตามลำดับ (ภาพ a) และเมื่อนำค่า ประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าการ ทดสอบที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ของความเข้มข้น 0.1% V/V เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่า ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร (55.3±1.2%) ให้ประสิทธิภาพใน การลด PM_{2.5} สูงสุด รองลงมาได้แก่ 150 มิลลิลิตร (49.9±1.1%) และ 100 มิลลิลิตร (47.8±3.4%) ตามลำดับ (ภาพ b) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีความแตกต่างกันกับปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร และไม่มี ความแตกต่างกับปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ส่วนการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ของความเข้มข้น 0.5% V/V เมื่อทดสอบที่ ระยะเวลา 60 นาที พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร (52.5±1.1%) ให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุด รองลงมาได้แก่ 100 มิลลิลิตร (43.8±8.1%) และ 150 มิลลิลิตร (40.9±2.4%) ตามลำดับ (ภาพ c) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีความแตกต่างกับปริมาตรทั้งสองระดับอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

จากผลการทดสอบการฉีดพ่นสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้นเดียวกันภายใต้ปริมาตรที่ใช้ แตกต่างกันจึงสรุปได้ว่า ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรมีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุดเมื่อทดสอบที่ ระยะเวลา 60 นาทีในทุกความเข้มข้นและให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร ซึ่งความสามารถในการลด PM_{2.5} มีแนวโน้มที่เหมาะสมและให้ ประสิทธิภาพได้ดีเมื่อฉีดพ่นสารละลายที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ในขณะที่ความสามารถในการเกาะ รวมอนุภาคจะลดลงหากฉีดพ่นปริมาตรที่มากเกินไประหว่าง 100-150 มิลลิลิตร เนื่องจากอนุภาค ของสารอาจเกิดการชนกันเองก่อนที่จะรวมตัวกับอนุภาคฝุ่นละอองที่ลอยในอากาศ

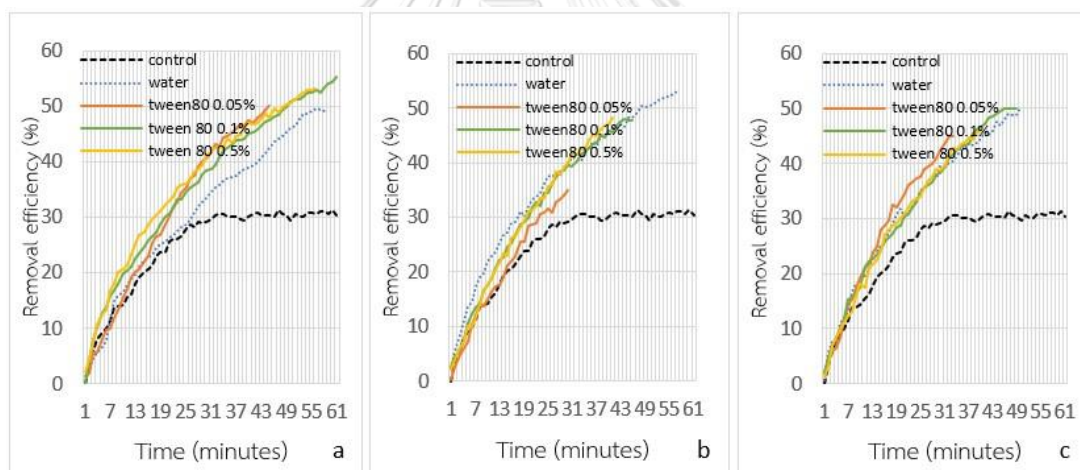


รูปที่ 17 ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ความเข้มข้นต่างกัน
(a) ความเข้มข้น 0.05 V/V (b) ความเข้มข้น 0.1 V/V (c) ความเข้มข้น 0.5 V/V

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบเมื่อทำการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ปริมาตรเดียวกันแต่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ผลปรากฏดังรูปที่ 18 พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือ 0.1% V/V ($55.3 \pm 1.2\%$) รองลงมา 0.5% V/V ($52.5 \pm 1.1\%$) และ 0.05% V/V ($50 \pm 1.8\%$) ตามลำดับ (ภาพ a) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละความเข้มข้น ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน ($49.6 \pm 1.1\%$) การทดสอบด้วยปริมาตร 100 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ($47.8 \pm 3.4\%$) รองลงมาได้แก่ 0.5% V/V ($43.8 \pm 8.1\%$) และ 0.05% V/V ($34.9 \pm 5.2\%$) ตามลำดับ (ภาพ b) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละความเข้มข้น ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าความเข้มข้น 0.1% V/V และ 0.5% V/V ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทั้งสองระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกับ 0.05% V/V อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม การใช้สาร 100 มิลลิลิตรยังคงให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ได้ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน ($53.2 \pm 1.8\%$) ส่วนการใช้สารที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที คือที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ($49.9 \pm 1.1\%$) รองลงมาได้แก่ 0.05% V/V ($45 \pm 6.5\%$) และ 0.5% V/V ($40.9 \pm 2.4\%$) ตามลำดับ (ภาพ c) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าความเข้มข้นที่ 0.1% V/V มีความแตกต่างกับ 0.05% V/V อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับความเข้มข้นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และความเข้มข้นที่ 0.1 V/V มีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน ($44.1 \pm 1.9\%$)

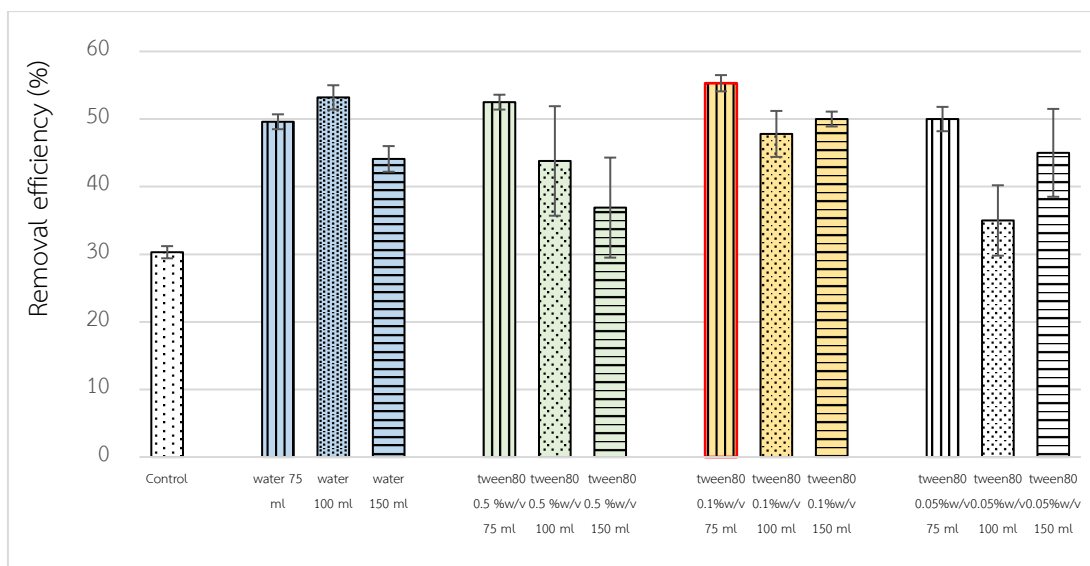
จากผลการทดสอบการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด ภายใต้สภาวะความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงสุดอยู่ที่ระดับความเข้มข้น 0.1% V/V เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที และให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ปริมาตรเดียวกันและดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งความสามารถในการลด $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพได้ดีเมื่อฉีดพ่นสารละลายที่ 0.1% V/V ในขณะที่ความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคจะลดลงหากฉีดพ่นความเข้มข้นที่ต่ำหรือมากเกินไป สอดคล้องกับการศึกษาของ Yan et al. (2016) ที่เลือกใช้ความเข้มข้น 0.1% เนื่องจากแรงตึงผิวของสารจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายต่ำกว่า 0.1% และแรงตึงผิวของสารจะลดลงเล็กน้อยหากใช้ความเข้มข้นสูงกว่า 0.1% ทั้งนี้แรงตึงผิวของสารที่ส่งผลในการลดแรงตึงผิวของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 18 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ปริมาตรต่างกัน
(a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (c) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ที่สภาวะการทดสอบทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 19 จึงสรุปได้ว่าสารละลายทวิน-80 ความเข้มข้นที่ 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ($55.3 \pm 1.2\%$) ให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงที่สุดเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน ($49.6 \pm 1.1\%$) คิดเป็นร้อยละ 5.7 หรือ 1.1 เท่า เนื่องมาจากสารละลายทวิน-80 ที่เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมีคุณสมบัติในการเกาะรวมอนุภาคฝุ่นทำให้เกิดการเกาะรวมจนมีน้ำหนักและตกลงสู่พื้นได้ดีกว่าการไม่ฉีดพ่นสาร สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ที่พบว่าสารลดแรงตึง

ผิวมีกลไกการรวมตัวระหว่างสารและอนุภาคของฝุ่นละอองด้วยไมเซลล์ที่มีคุณสมบัติในการลดแรงตึงผิวของสารและอนุภาค โดยเป็นไมเซลล์ที่อยู่ในรูปแบบ reverse micelle ทำให้เกิดการดูดซับกันระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว โดยไมเซลล์ส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำจะจับกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำบนผิวของอนุภาคฝุ่น ทำให้เกิดการเกาะรวมระหว่างสารและอนุภาคได้ (Xu et al., 2018) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Yan et al. (2016) ที่ระบุว่า การใช้สารลดแรงตึงผิวในการทดสอบที่ 0.1% เหมาะสมที่สุด หากใช้ความเข้มข้นต่ำหรือความเข้มข้นสูงกว่า 0.1% แรงตึงผิวของสารจะลดลงเล็กน้อย ส่งผลต่อความสามารถในการลดแรงตึงผิวของอนุภาคได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guo et al. (2017) ที่มีการใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ 0.1% ชนิดประจุบวก และไม่มีประจุ พบว่าประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.8% และ 9% ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} หลังจากฉีดพ่นด้วยสารละลายละลายทวิน-80 ไม่มีความแตกต่างกับการฉีดพ่นด้วยละอองน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) บ่งชี้ว่าสารละลายทวิน-80 มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ใกล้เคียงกับน้ำเปล่า จากการศึกษาทางงานวิจัยที่ผ่านมา ความสามารถในการเป็นสารรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสาร กลไกของสาร รวมถึง ค่าแรงตึงผิว (surface tension) และแรงยึดเกาะ (adhesion force) จากงานวิจัยของ Li et al. (2020) ที่ได้กล่าวว่าสารละลายทวิน-80 เป็นสารเกาะรวมที่ดีกว่าน้ำ ซึ่งมีปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมคุณสมบัติการรวมตัวของสาร คือ แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาค (adhesion force) สารละลายทวิน-80 มีแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาค (adhesion force) (153.2) มากกว่าน้ำ (98.2) ทำให้การรวมตัวกับอนุภาคเกิดขึ้นได้ง่าย และการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ช่วยทำให้สะพานของเหลวที่เชื่อมระหว่างอนุภาคกับสารเกิดการแข็งตัวได้ไวขึ้น (Liu et al., 2016) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Gue et al. (2017) ที่เพิ่มอุณหภูมิจาก 105 องศาเซลเซียส เป็น 140 องศาเซลเซียส ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 43.5 อยู่ที่ร้อยละ 54.5 การเพิ่มอุณหภูมิดังกล่าวอาจเป็นสภาวะที่ดึงความสามารถของสารเกาะรวมได้ดี หากพิจารณาจากการศึกษาครั้งนี้ที่ทดสอบโดยอ้างอิงสภาวะจริงภายในอาคารจึงทดสอบที่อุณหภูมิห้อง จึงอาจไม่สามารถแสดงศักยภาพการเกาะรวมของสารทดสอบได้ดีเท่าที่ควร อย่างไรก็ตาม ถึงแม้มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ใกล้เคียงกับน้ำเปล่า อาจจำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในการรวมตัวของสารละลายทวิน-80 และการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคหลังการฉีดพ่น ซึ่งอาจให้ผลที่แตกต่างกับการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2 และ 4.4 ต่อไป



รูปที่ 19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นระหว่างสารละลายเพคติน ทวิน-80 น้ำ และชุดควบคุม

4.1.5 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของ $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ

การใช้สารเคมีเพื่อส่งเสริมการเกาะรวมของ $PM_{2.5}$ ที่อยู่ในขั้นตอนการพัฒนาสูตรตำรับ จึงไม่สามารถเปิดเผยองค์ประกอบของชนิดสารที่ใช้ได้ ในการทดสอบจึงใช้รหัสตัวอย่างของสารทดสอบในการรายงานผลการศึกษา สารตำรับที่พัฒนาในช่วงการศึกษานี้มี 5 สูตร ได้แก่ สาร A B C D และ E หากแต่สามารถระบุกลุ่มของสาร ดังต่อไปนี้ กลุ่มสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ สาร A และกลุ่มสารพอลิเมอร์ ได้แก่ สาร B, C, D และ E ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ของสารตำรับทั้ง 5 สูตร สรุปพร้อมได้ดังตารางที่ 8 (ข้อมูลโดยละเอียดรวบรวมในภาคผนวก จ)

ผลการทดสอบการลด $PM_{2.5}$ ด้วยสารละลาย A ที่ฉีดพ่นด้วยปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตรเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที พบว่า ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 110 105 และ 149 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 50 49 และ 90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 44.6 ± 9.2 และปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 101 99 และ 109 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 63 73 และ 74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 32.2 ± 4.5 ส่วนปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 130 120 และ 119

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 67 67 และ 74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 40.7 ± 7.9 ดังนั้นผลการทดสอบสาร A จึงสรุปได้ว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด ตามด้วย 150 และ 100 มิลลิลิตร (ประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 44.6 ± 9.2 40.7 ± 7.9 และ 32.2 ± 4.5 ตามลำดับ) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีความแตกต่างกับปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร แต่ไม่แตกต่างกับปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบการลด $PM_{2.5}$ ด้วยสารละลาย B ที่ฉีดพ่นด้วยปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตรเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที พบว่า ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 148 105 และ 137 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 89 76 และ 64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 30.4 ± 9.8 และปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 126 113 และ 154 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 61 60 และ 70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 49.7 ± 0.5 ส่วนปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 107 139 และ 129 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 48 68 และ 59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 49.3 ± 3 ดังนั้นผลการทดสอบสาร B จึงสรุปได้ว่าปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมา 150 และ 75 มิลลิลิตร ตามลำดับ (ประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 49.7 ± 0.5 49.7 ± 0.5 และ 30.4 ± 9.8 ตามลำดับ) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร มีความแตกต่างกับปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร แต่ไม่แตกต่างกับ 150 มิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบการลด $PM_{2.5}$ ด้วยสารละลาย C ที่ฉีดพ่นด้วยปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตรเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที พบว่า ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 105 127 และ 164 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณ

ความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 45 60 และ 72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50.7 ± 4.8 และปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 165 148 และ 131 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 80 73 และ 69 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 46.8 ± 6.3 ส่วนปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 145 173 และ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 68 82 และ 59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 42.5 ± 7.2 ดังนั้นผลการทดสอบสาร C จึงสรุปได้ว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมา 100 และ 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ (ประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50.7 ± 4.8 46.8 ± 6.3 และ 42.5 ± 7.2 ตามลำดับ) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีความแตกต่างกับปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตร แต่ไม่แตกต่างกับ 100 มิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบการลด $PM_{2.5}$ ด้วยสารละลาย D ที่ฉีดพ่นด้วยปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตรเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที พบว่า ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 96 128 และ 136 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 47 56 และ 69 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 48.5 ± 5 และปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 135 105 และ 126 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 67 47 และ 52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 47.1 ± 9.6 ส่วนปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 94 158 และ 112 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 43 73 และ 49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50.7 ± 3.5 ดังนั้นผลการทดสอบสาร D จึงสรุปได้ว่าปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมา 75 และ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ (ประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50.7 ± 3.5 48.5 ± 5 และ 47.1 ± 9.6 ตามลำดับ) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วย

สถิติ One-Way ANOVA พบว่าปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตร ไม่มีความแตกต่างกับปริมาตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

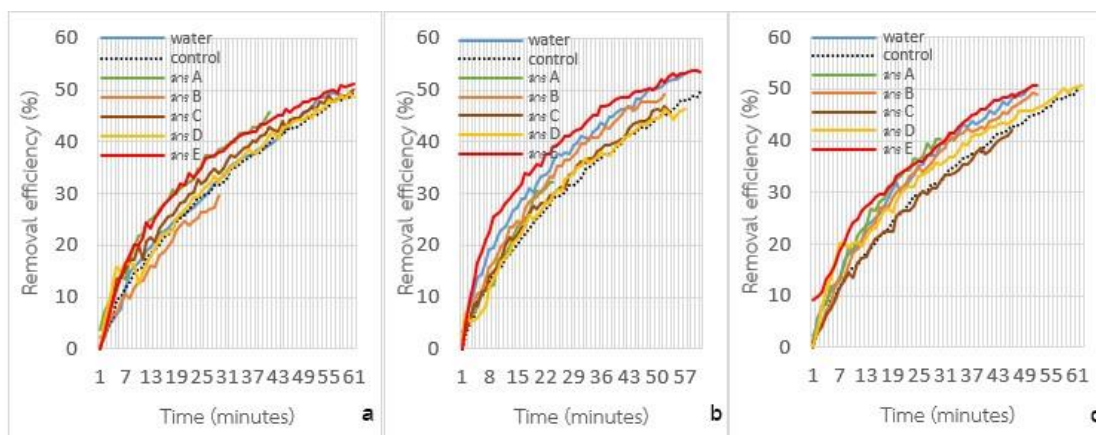
ผลการทดสอบการลด $PM_{2.5}$ ด้วยสารละลาย E ที่ฉีดพ่นด้วยปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตรเมื่อทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที พบว่า ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 136 124 และ 136 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 57 60 และ 65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 51.3 ± 2.5 และปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 122 109 และ 109 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 59 50 และ 49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 53.6 ± 1.8 ส่วนปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรมีค่าปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เริ่มต้น 129 139 และ 143 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าปริมาณความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 59 64 และ 66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50.6 ± 0.4 ดังนั้นผลการทดสอบสาร E จึงสรุปได้ว่าปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมา 75 และ 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ (ประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 53.6 ± 1.8 51.3 ± 2.5 และ 50.6 ± 0.4 ตามลำดับ) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตรด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ไม่มีความแตกต่างกับปริมาตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพของสารละลายสูตรตำรับในการลด PM_{2.5} ตลอดระยะเวลา 60 นาที

รหัสสาร	ครั้งที่	75 ml		100 ml		150 ml				
		ความเข้มข้น PM _{2.5} (µg/m ³)		ประสิทธิภาพ (%)	ความเข้มข้น PM _{2.5} (µg/m ³)		ประสิทธิภาพ (%)	ความเข้มข้น PM _{2.5} (µg/m ³)		
		เริ่มต้น	สิ้นสุด		เริ่มต้น	สิ้นสุด		เริ่มต้น	สิ้นสุด	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด			
A	T ₁	110	50	52.4	101	63	36.4	130	67	48.5
	T ₂	105	49	49.5	99	63	33	120	67	39.6
	T ₃	149	90	35.3	109	74	27.5	119	74	32.7
เฉลี่ย				44.6±9.2%			32.2±4.5%			40.7±7.9%
B	T ₁	148	89	35	126	61	47	107	48	46.7
	T ₂	105	76	18.3	113	60	47	139	68	50
	T ₃	137	64	35.3	154	70	54	129	59	50.4
เฉลี่ย				30.4±9.8%			49.7±0.5%			49.3±3%
C	T ₁	105	45	49.4	165	80	48.7	145	68	50.4
	T ₂	127	60	45.5	148	73	51	173	82	37.4
	T ₃	164	72	55	131	69	39	100	59	38.5
เฉลี่ย				50.7±4.8%			46.8±6.3%			42.5±7.2%
D	T ₁	96	47	51	135	67	50.4	94	43	46.3
	T ₂	128	56	52	105	47	52.6	158	73	51.6
	T ₃	136	69	43	126	52	35	112	49	53
เฉลี่ย				48.5±5%			47.1±9.6%			50.7±3.5%
E	T ₁	136	57	50.4	122	59	51.6	129	59	50.4
	T ₂	124	60	49	109	50	54	139	64	50.4
	T ₃	136	65	54	109	49	55	143	66	51
เฉลี่ย				51.3±2.5%			53.6±1.8%			50.6±0.4%

หมายเหตุ การทดสอบอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27.4-30.5 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40.1-50.9

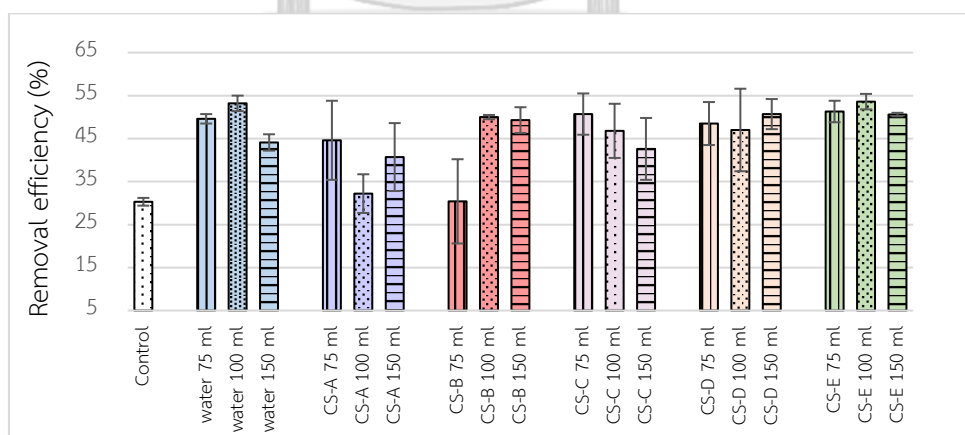
ผลการคำนวณประสิทธิภาพของการลด PM_{2.5} หลังการทดสอบด้วยการฉีดพ่นสารละลาย A-E ปรากฏดังรูปที่ 20 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} เมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาทีของสารตำรับแต่ละปริมาณ พบว่าปริมาณ 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงที่สุดตามด้วยปริมาณที่ 75 และ 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ สามารถเรียงลำดับปริมาณที่ 100 มิลลิลิตร ได้ดังนี้ สารละลายที่มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงที่สุด คือ สาร E (53.6±1.8%) รองลงมาได้แก่ B (49.7±0.5%) D (47.1±9.6%) C (46.8±6.3%) และ A (32.2±4.5%) ตามลำดับ (ภาพ b) ส่วนปริมาณที่ 75 มิลลิลิตร คือ สาร E (51.3±2.5%) รองลงมาได้แก่ C (50.7±4.8%), D (48.5±5%), A (44.6±9.2%) และ B (30.4±9.8%) ตามลำดับ (ภาพ a) และสำหรับปริมาณที่ทดสอบ 150 มิลลิลิตร ได้แก่ สาร D (50.7±3.5%) รองลงมาคือ E (50.6±0.4%), B (49.3±3%), C (42.5±7.2%) และ A (40.7±7.9%) ตามลำดับ (ภาพ c)



รูปที่ 20 ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} จากการฉีดพ่นสารละลาย A-E (a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (c) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} จากการฉีดพ่นสารละลาย A-E เปรียบเทียบกับน้ำและชุดควบคุมปรากฏดังรูปที่ 21 จึงสรุปได้ว่าสาร E ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($53.6 \pm 1.8\%$) มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ สาร D ปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตร ($50.7 \pm 3.5\%$), สาร C ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ($50.7 \pm 4.8\%$), สาร B ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($49.7 \pm 0.5\%$) และสาร A ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ($44.6 \pm 9.2\%$) ตามลำดับ เมื่อสังเกตกลุ่มประเภทของสารสูตรตำรับพบว่าสารกลุ่มพอลิเมอร์ (E D C และ B) มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} มากกว่ากลุ่มสารลดแรงตึงผิว (สาร A) และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าสารพอลิเมอร์ (สาร E ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร) มีความแตกต่างกับกลุ่มสารลดแรงตึงผิวในทุกปริมาตร (สาร A) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าสารละลายเพคติน (สารไบโอพอลิเมอร์) มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารละลายทวิน-80 (สารลดแรงตึงผิว) แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ของสารสูตรตำรับใกล้เคียงกับน้ำในทุกสภาวะทดสอบ อาจเนื่องมาจากฝุ่นละอองโดยทั่วไปมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีคุณสมบัติทางประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันทำให้สารลดแรงตึงผิวประเภทที่มีประจุสามารถจับกับอนุภาคฝุ่นบางส่วนที่มีประจุต่างชนิดกันได้ แต่จะไม่สามารถจับกับฝุ่นที่มีค่าความเป็นประจุเหมือนกัน เนื่องจากการผลักกันของประจุเหมือนกันที่อยู่บนพื้นผิวอนุภาคฝุ่นและสารลดแรงตึงผิว (Tessum and Raynor, 2017; Liu et al., 2019; Wang, 2020; Tang, 2016) สารละลายทวิน-80 เป็นสารชนิดไม่มีประจุมีกลไกการรวมตัวกับอนุภาคด้วยการจับตัวของไมเซลล์และอนุภาค ด้วยโครงสร้าง

โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวส่วนหางหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะจับกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำบนพื้นผิวของอนุภาคด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์หรือแรงดึงดูดระหว่างขั้ว (Dipole-dipole force) (xu et al., 2018, Sharma, Kori, & Parmar, 2015) ในขณะที่สารพอลิเมอร์มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันและมีขั้วที่หลากหลาย โดยผลการศึกษาของ Gue et al. (2017) ได้ทำการทดสอบด้วยสารพอลิเมอร์พบว่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 31.4 เป็นร้อยละ 59.5 เนื่องจากคุณสมบัติของสารพอลิเมอร์มีความหนืด โดยความหนืดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (Campo et al., 2019) อีกทั้ง พฤติกรรมทั่วไปของพอลิเมอร์เชิงเส้นที่มีประจุหรือพอลิอิเล็กโทรไลต์ เส้นใยของโมเลกุลพอลิเมอร์มีแนวโน้มที่จะพันกันเพื่อสร้างโครงสร้างคล้ายตาข่าย (Morris et al., 1980) จึงส่งผลให้มีโอกาสเพิ่มขึ้นในการเกาะจับและเกาะรวมเป็นก้อนของอนุภาคละเอียด ทำให้สามารถเกาะรวมกับอนุภาคฝุ่นละอองที่มีประจุได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ นอกจากนี้ คุณสมบัติของสารยังมีส่วนที่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการเกาะรวมของสารกับอนุภาคนี้อีกได้แก่ ค่าความตึงผิวของสารรวมตัว (tension surface) และแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาค (adhesion force) จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการรวมตัวระหว่างสารและอนุภาค (Balakin et al., 2015) ทำให้ช่วยเสริมโครงสร้างการเชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bin et al., (2018) สารเพคตินมีค่าความตึงผิว (40.25) ที่ต่ำกว่าน้ำ (74.3) ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรวมตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ร้อยละ 43.52



รูปที่ 21 ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ จากการฉีดพ่นสารละลาย A-E เปรียบเทียบกับน้ำและชุดควบคุม

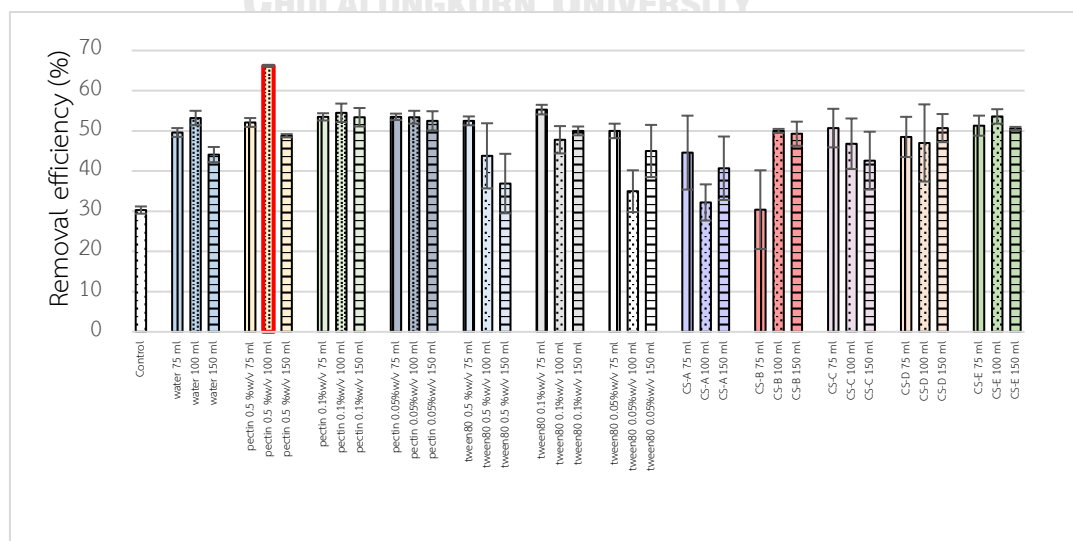
4.1.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} จากฉีดพ่นสารละลายทุกชุดทดสอบ

ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายเปรียบเทียบระหว่างสารละลายเพคติน สารละลายทวิน-80 สารสูตรตำรับ น้ำและชุดควบคุม จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ด้วยการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารที่ดีที่สุดและสถานะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงบริเวณพื้นที่ในอาคาร

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบสารละลายระหว่างสารละลายเพคติน สารละลายทวิน-80 สารสูตรตำรับ น้ำและชุดควบคุมเมื่อทดสอบที่ระยะเวลา 60 นาที ปรากฏดังรูปที่ 22 จึงสรุปได้ว่า สารละลายเพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร (66.2 ± 0.2) มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร (55.3 ± 1.2) สารสูตรตำรับ (E) ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร (53.6 ± 1.8) น้ำ ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร (53.2 ± 1.8) และชุดควบคุม (30.3 ± 0.9) ตามลำดับ และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า สารละลายเพคตินแตกต่างกับสารทดสอบอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) บ่งชี้ว่าสารละลายเพคตินมีความสามารถในการลดปริมาณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ได้ดีกว่าชุดทดสอบอื่นๆ ในปริมาตรเดียวกัน เนื่องจากสารเพคตินมีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ของสารที่มีขั้ว การรวมตัวของสารเคมีและอนุภาคสามารถทำปฏิกิริยาด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่เก็บน้ำไว้ภายใน โดยมีกลไกที่ทำให้เกิดการสร้าง liquid film บนพื้นผิวของอนุภาคได้มีการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคที่ยึดเกาะด้วยแรงยึดระหว่างอนุภาค (adhesion force) และก่อตัวเป็นก้อน (Coagulation) ที่ใหญ่ขึ้นและมีความคงตัว โดยแรงดึงผิวเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญต่อการทำให้อนุภาครวมตัวกัน ซึ่งสารเพคตินมีแรงดึงผิว (40.25) ที่ต่ำกว่าน้ำ (74.3) ทำให้การรวมตัวกันของสารและอนุภาคเกิดได้ง่ายขึ้น (Bin et al., 2018) ในขณะที่สารลดแรงดึงผิวมีการรวมตัวกับอนุภาคด้วยพันธะไอออนิกและมีกลไกการจับกันระหว่างส่วนหางของไมเซลล์ที่ไม่ชอบน้ำจับกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำของอนุภาค จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้เพคตินเป็นสารที่มีคุณสมบัติการรวมตัวกับอนุภาคได้ดีกว่าสารทวิน-80 นอกจากนี้ น้ำเป็นเพียงสะพานของเหลวเชื่อมระหว่างอนุภาค เมื่อเกิดการระเหยอนุภาคที่รวมตัวกันจึงไม่มีความคงตัวเช่นสารเกาะรวมต่าง ๆ

หากพิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษารั้งนี้กับการศึกษาที่ผ่านมา ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ที่ให้ผลไม่เกิน 70% อาจเกิดจากปัจจัยบางอย่าง ซึ่งมีหลายสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ไม่สูงเท่าที่ควร อาทิ ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของการศึกษาในครั้งนี้นี้ที่มีการใช้การเผา

ไหม้รูปที่มีขนาด 2 เซนติเมตร ให้ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 200 ไมโครกรัม/ลบ.ม. ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Bin et al (2018) ที่มีการใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ $PM_{2.5}$ สูงทำให้มีผลประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ อยู่ที่ร้อยละ 68.1-82.6 อีกทั้ง เมื่อพิจารณากรณีการเพิ่มปริมาตรของสารทดสอบแต่ยังไม่พบการเพิ่มประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ อย่างชัดเจนอาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของหัวฉีดพ่น ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ใช้หัวฉีดพ่นขนาด 0.3 มิลลิเมตร จำนวน 1 หัวฉีด ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Bin et al (2018) ที่ใช้หัวฉีดพ่นขนาด 0.1 มิลลิเมตร จำนวน 2 หัวฉีด นอกจากนี้ Liu et al (2016) กล่าวว่า ละอองที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ทำให้ความสามารถในการรวมตัวของอนุภาคต่ำส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ต่ำลง (Liu et al.,2016) และการศึกษาครั้งนี้เป็นการอ้างอิงสภาวะภายในอาคารเป็นหลัก จึงทำการควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์และตรวจวัดค่าอุณหภูมิห้องภายในห้องทดสอบแบบปิด พบว่าค่าความชื้นอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 40.2-50.7 และตรวจวัดค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.6-30.3 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และค่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยไม่ต่างจากสภาวะที่ไม่มีการฉีดพ่นสารและสภาวะที่ฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า อุณหภูมิและความชื้นของการทดสอบครั้งนี้จึงไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ เพียงแต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นระหว่างทำการทดสอบ พบว่าเมื่อทำการฉีดพ่นสารละลายค่าความชื้นมีการเพิ่มขึ้นระหว่างทำการฉีดพ่นสารอยู่ที่ร้อยละ 7 แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบค่าความชื้นลดลงและยังอยู่ในช่วงที่ควบคุม ดังนั้นค่าความชื้นอาจไม่ได้ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ แต่อาจมีผลต่ออัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ทำการวิเคราะห์โดยจะกล่าวถึงต่อในหัวข้อที่ 4.2 ต่อไป



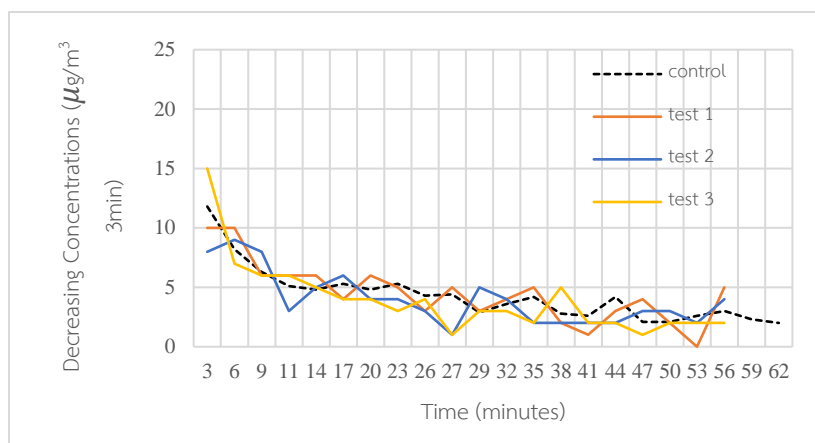
รูปที่ 22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังจากฉีดพ่นสารละลายทุกชุดทดสอบ

4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในห้องทดสอบจำลองแบบปิดที่สภาวะทดสอบต่างๆ

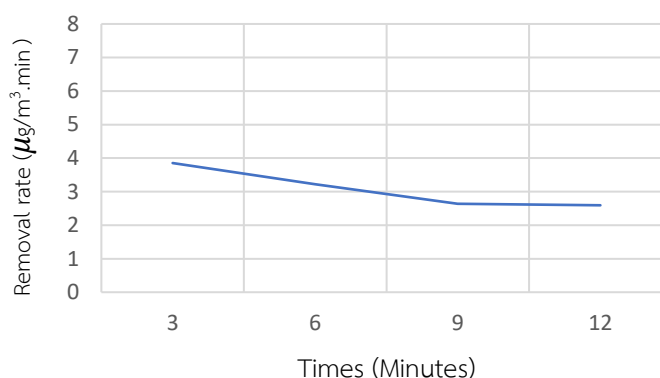
หลังจากวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของสารเคมีในการลด PM_{2.5} แล้วจึงได้ทำการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} ด้วยข้อมูลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นแบบ real time ภายในห้องทดสอบระบบปิด อย่างไรก็ตาม ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ดังกล่าวมีค่าความแปรปรวนสูง จึงต้องมีการปรับให้ข้อมูลเรียบมากขึ้นด้วยการปรับค่าการตรวจวัดทุกๆ นาทีให้อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) ในช่วงเวลา 3 นาที เพื่อศึกษาแนวโน้มการลดลงของ PM_{2.5} (Decreasing Rate) ของสารเคมีที่ทำการฉีดพ่นละออง จากนั้นคำนวณหาอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (removal rate) ในหน่วยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ต่อนาที ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ในช่วง 12 นาทีแรก ที่เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน และคำนวณหาอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (removal rate) ตลอดเวลาทดสอบ 60 นาที ด้วยสมการที่ดัดแปลงจากการศึกษาของ Kim et al. (2020) (ข้อมูลการคำนวณโดยละเอียดรวบรวมในภาคผนวก ข) ผลการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} เป็นดังต่อไปนี้

4.2.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร

ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น PM_{2.5} ภายในห้องทดสอบระบบปิดก่อนเริ่มการทดสอบกระบวนการเกาะรวมทางเคมีของชุดทดสอบต่างๆ เป็นเวลา 60 นาที เมื่อนำค่าการตรวจวัดทุกๆ นาทีมาปรับให้อยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) ในช่วงเวลา 3 นาที เพื่อศึกษาแนวโน้มการลดลงของ PM_{2.5} (Decreasing Rate) พบว่าปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ลดลงในทุกๆ 3 นาทีที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในช่วง 10-12 นาทีแรก มีปริมาณของฝุ่น PM_{2.5} ลดลงอยู่ในช่วง 4.0 - 11.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ปรากฏดังรูปที่ 23 หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น PM_{2.5} ที่ลดลงด้วยระดับที่ค่อนข้างคงที่ และค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงลดลงเหลือประมาณ 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ จนถึงสิ้นสุดการทดสอบ เมื่อพิจารณาเวลาที่มีแนวโน้มการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} ที่สามารถนำมาคิดอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} ต่อนาที พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น PM_{2.5} อย่างชัดเจนในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบ จึงนำค่าในช่วง 12 นาทีแรกเท่ากับ 7.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ มาวิเคราะห์ผลต่อไป จากรูปที่ 24 มีอัตราการลดลงอยู่ในช่วง 2.59 - 3.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการฉีดพ่นสารเคมีเกาะรวมต่อไป



รูปที่ 23 แนวโน้มปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ลดลงทุกๆ 3 นาที ในสภาวะที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร

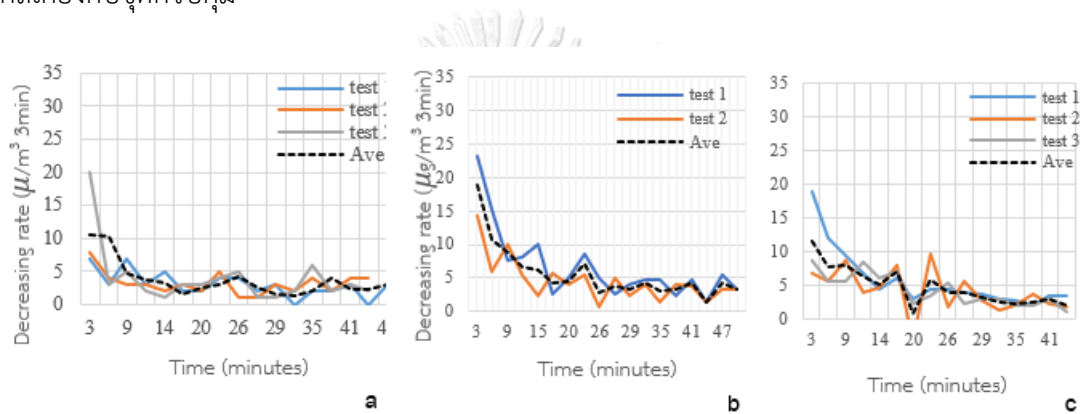


รูปที่ 24 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกโดยไม่มีการฉีดพ่นสาร

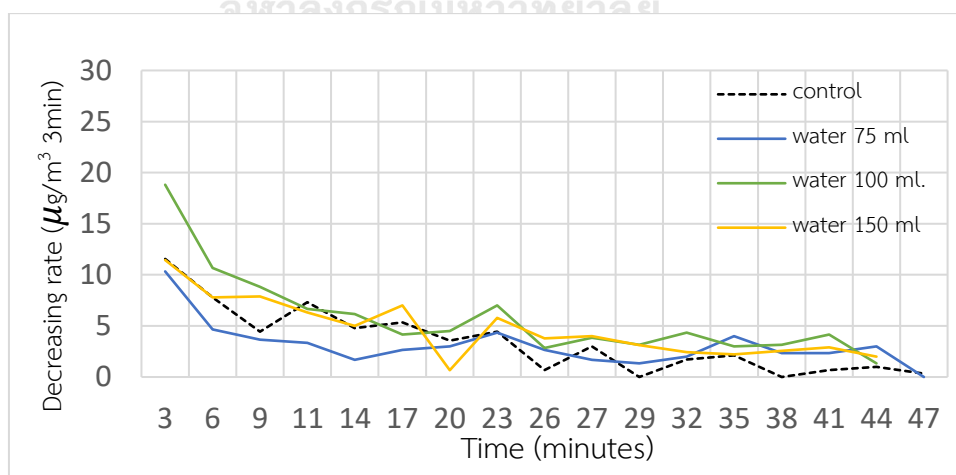
4.2.2 อัตราการลดลงของปริมาณของ $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่ฉีดพ่นน้ำเปล่า

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ผ่านการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร แสดงการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที จากผลการทดสอบการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า เมื่อนำค่าการตรวจวัดทุกๆ นาทีมาปรับให้อยู่ในภาพค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) และทำการคำนวณปริมาณการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ เมื่อผ่านไปทุกๆ 3 นาที (Decreasing Rate) และอัตราการลดลงต่อ 1 นาที ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ เมื่อผ่านไปทุกๆ 3 นาที แสดงดังรูปที่ 25 พบว่าอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตร มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 10-15 นาทีแรกของการทดสอบ จากนั้นปริมาณลดลงในทุกๆ 3 นาทีค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบ

จากการทดสอบการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการฉีดพ่น ปรากฏดังรูปที่ 26 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 นาทีแรก พบว่าที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตรมีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ลดลงในช่วง 4.2-10.2, 6.2-18.8 และ 6.3-11.4 $\mu g/m^3 \cdot 3min$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.31, 11.25 และ 8.36 $\mu g/m^3 \cdot 3min$ ตามลำดับ พบว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีอัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงกว่าชุดควบคุม (ปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 7.78 $\mu g/m^3 \cdot 3min$) และชุดฉีดพ่นที่ปริมาตร 75 และ 150 มิลลิลิตร ซึ่งมีอัตราการลดลงที่ต่ำกว่าและใกล้เคียงกับชุดควบคุม

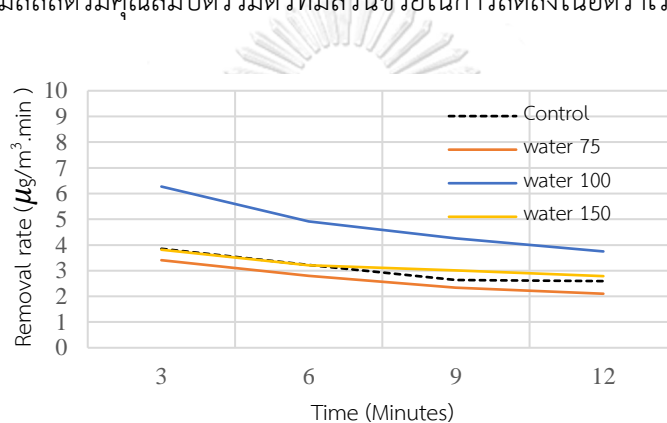


รูปที่ 25 อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร



รูปที่ 26 ปริมาณการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) หลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

เมื่อพิจารณาเวลาที่มีแนวโน้มการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วง 12 นาทีแรก ที่สามารถนำมาคิดอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อนาทีที่แสดงในรูปที่ 27 พบว่าอัตราการลดลงสูงที่สุดเท่ากับ $4.16 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ เมื่อฉีดพ่นน้ำที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสูงกว่าชุดควบคุม สำหรับการฉีดพ่นที่ปริมาตร 75 และ 150 มิลลิลิตร มีอัตราการลดลงเท่ากับ 2.66 และ $3.21 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($3.07 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ที่ไม่มีการฉีดพ่นสารใดๆ บ่งชี้ว่าการฉีดพ่นละอองด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงเวลา 12 นาที ได้ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร สอดคล้องกับการศึกษาหัวข้อ 4.1 ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตรให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ได้ดีกว่าปริมาณอื่น ๆ และดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตรมีคุณสมบัติรวมตัวที่มีส่วนช่วยในการลดลงในอัตราเร็วที่สูงกว่าปริมาณอื่นๆ



รูปที่ 27 อัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

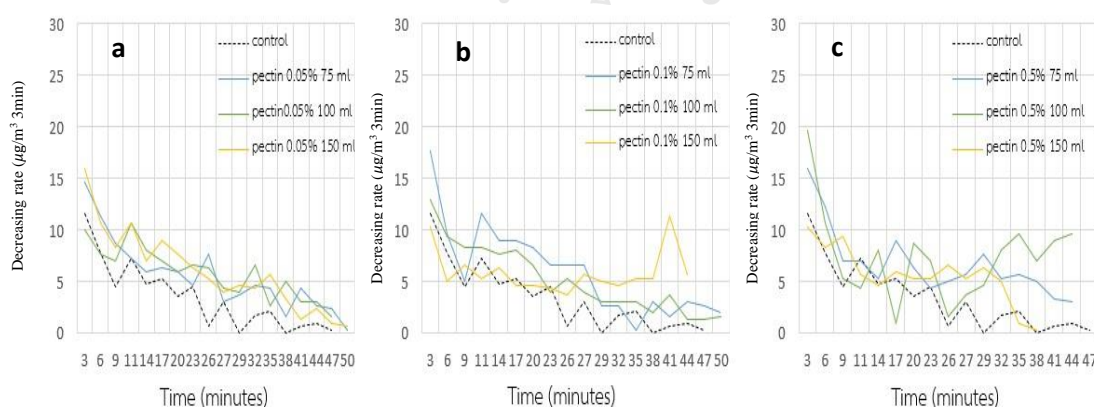
4.2.3 อัตราการลดลงของปริมาณของ $PM_{2.5}$ ในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารไปโอพอลิเมอร์

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5 % W/V ด้วยปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร เมื่อนำค่าการตรวจวัดทุกๆ นาทีมาปรับให้อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) และทำการคำนวณปริมาณการเปลี่ยนแปลงของ $PM_{2.5}$ เมื่อผ่านไปทุกๆ 3 นาที (Decreasing Rate) หลังจากฉีดพ่นด้วยเพคติน

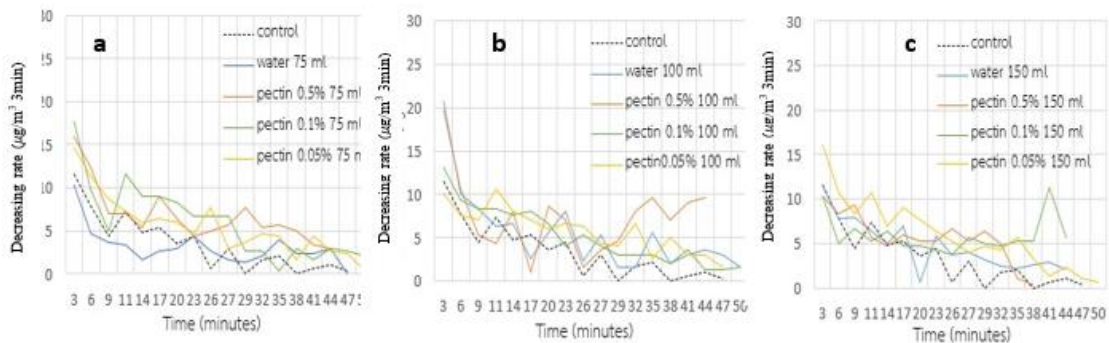
แนวโน้มปริมาณการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินในทุกความเข้มข้น พบว่ามีปริมาณการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 12 นาทีแรก จากนั้นแนวโน้มการลดลงค่อนข้างช้าและคล้ายคลึงกับชุดควบคุม โดยปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาที ของความเข้มข้น 0.05% W/V ที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 7.3-14.7, 7.0-10.6 และ 8.3-16.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.5, 8.83 และ 11.42

$\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ (รูป a) ที่ความเข้มข้น 0.1% W/V ที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร (รูป b) ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ $\text{PM}_{2.5}$ อยู่ในช่วง 5.0-17.7, 8.3-13.0 และ 5.0-10.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11, 9.8 และ 6.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นที่ 0.5% W/V ที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร (รูป c) ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ อยู่ในช่วง 7.0-16.0, 7.0-19.7 และ 5.7-10.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.6, 11.7 และ 8.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ

ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาที ของแต่ละความเข้มข้นและเปรียบเทียบที่ปริมาตรเดียวกันแสดงดังรูปที่ 28 พบว่าความเข้มข้นที่ 0.5% W/V รองลงมาคือ 0.05 และ 0.1% W/V ตามลำดับ และผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาที ของแต่ละความเข้มข้นและเปรียบเทียบที่ปริมาตรเดียวกันแสดงดังรูปที่ 29 พบว่าปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีแนวโน้มการลดลงของ $\text{PM}_{2.5}$ สูงที่สุด รองลงมาคือ ปริมาตรที่ 75 และ 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาที ของแต่ละความเข้มข้นจึงสรุปได้ว่าการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ให้อัตราการลดลงสูงที่สุด รองลงมาคือ ความเข้มข้น 0.05% W/V ปริมาตร 150 มิลลิลิตร และตามด้วยความเข้มข้น 0.1% W/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ยอยู่ที่ 11.7, 11.42 และ 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ) ซึ่งสารละลายเพคตินแนวโน้มการลดลงที่ดีกว่าน้ำและชุดควบคุมในปริมาตรเดียวกันทุกชุดทดสอบ

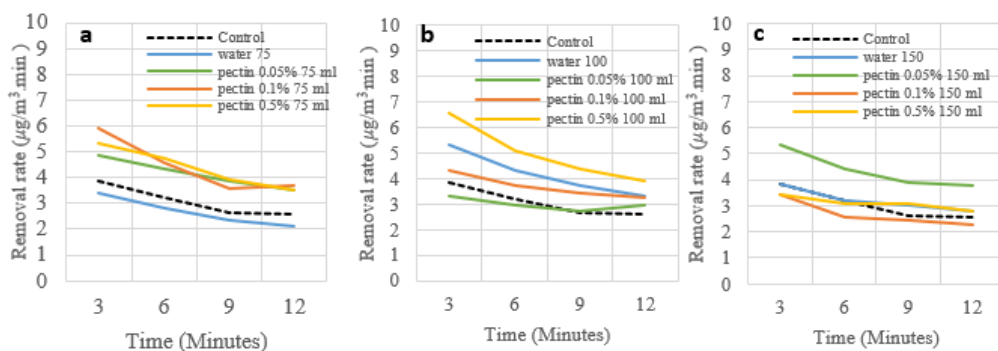


รูปที่ 28 ปริมาณที่ลดลงของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้นเดียวกัน (a) 0.05% W/V (b) 0.1% W/V (c) 0.5% W/V



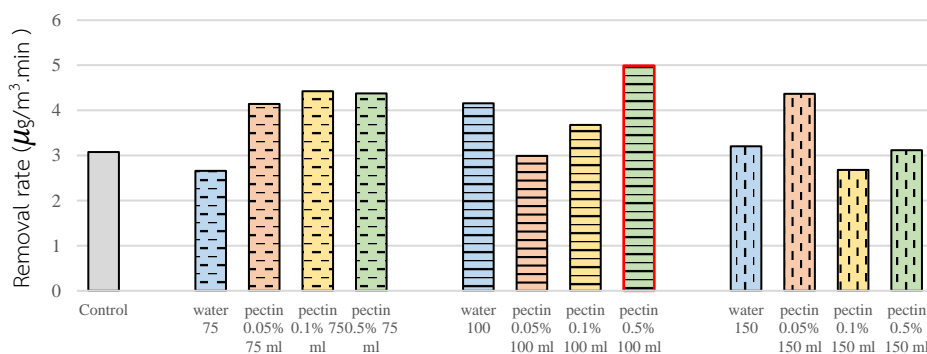
รูปที่ 29 ปริมาณที่ลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสาร เพคตินที่ปริมาตรเดียวกัน (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร

เมื่อนำค่าปริมาณการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ เมื่อผ่านไปทุกๆ 3 นาที (Decreasing Rate) แล้ว คำนวณอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ต่อเวลา 1 นาที ในสถานะที่ฉีดพ่นด้วย สารละลายเพคติน แสดงดังรูปที่ 30 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ลดลงมากที่สุดในช่วง 12 นาทีแรกซึ่งเป็นช่วงเวลาการทดสอบที่สามารถนำไปเทียบกับชุดควบคุมได้ เมื่อคิดอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ผ่านการฉีดพ่นสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5% W/V ต่อ 1 นาที ที่ ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (รูป a) เท่ากับ 4.14, 4.43 และ 4.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลดีกว่า ชุดทดสอบด้วยน้ำเปล่าและชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสารใดๆ เมื่อใช้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (รูป b) อัตราการลดลงเท่ากับ 3, 3.68 และ 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ มีเพียงที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ที่ ให้ผลดีกว่าการใช้ น้ำเปล่าและชุดควบคุม ส่วนที่ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (รูป c) อัตราการลดลงเท่ากับ 4.37 2.68 และ 3.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ ซึ่งมีเพียงที่ 0.05% W/V ที่ให้ผลดีกว่าการใช้น้ำเปล่าและชุดควบคุม



รูปที่ 30 อัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสาร เพคตินเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร

จากผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (Removal Rate) เมื่อผ่านไปทุกๆ 1 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า แสดงดังรูปที่ 31 พบว่า อัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} ที่สูงที่สุด คือ การทดสอบด้วยความเข้มข้นที่ 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ให้ผลลัพธ์ที่ดีว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า (4.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) รองลงมา คือ 0.1% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร, 0.5% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร, 0.05% W/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร และ 0.05% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ดีกว่าการฉีดพ่นน้ำเปล่าที่ปริมาตรเดียวกัน และดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร (3 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพคตินที่มีคุณสมบัติเป็น สารรวมตัวที่มีส่วนช่วยในการลดลงในอัตราเร็วที่สูงกว่าน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การทดสอบเพคตินที่ ความเข้มข้น 0.5% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สอดคล้องกับการศึกษาหัวข้อ 4.1 ที่ทำการฉีดพ่น ด้วยสารละลายเพคตินความเข้มข้นดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงที่สุด บ่งชี้ว่าสารละลาย เพคตินที่มีคุณสมบัติเป็นสารรวมตัวที่มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} และมีความสามารถในการรวมตัว ได้ไวกว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า



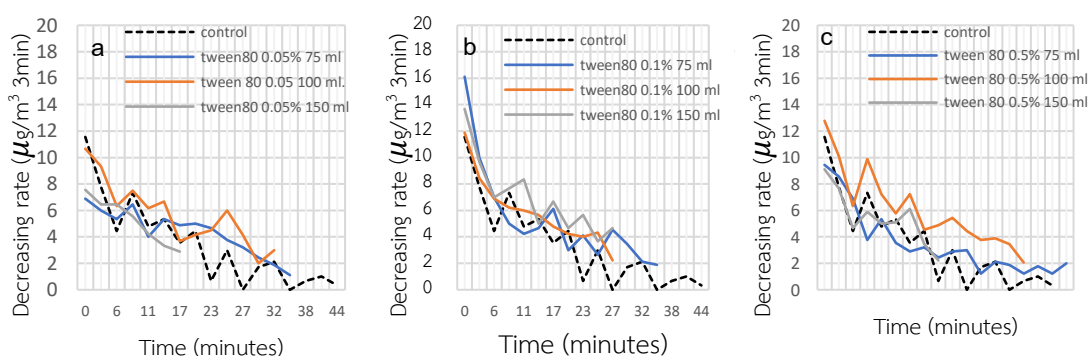
รูปที่ 31 เปรียบเทียบอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารเพคติน

4.2.4 อัตราการลดลงของปริมาณของ PM_{2.5} ในสถานะที่ผ่านการฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิว

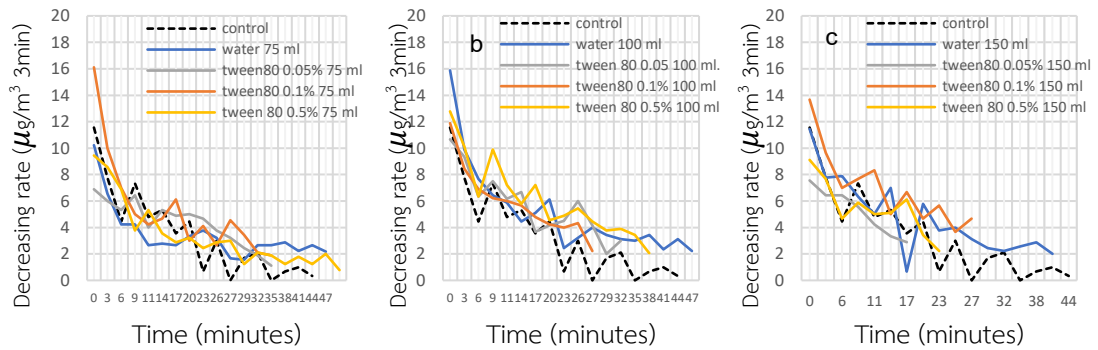
จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของ PM_{2.5} ด้วยสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5% V/V ด้วยปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร เมื่อนำค่าการตรวจวัดทุกๆ นาทีมา ปรับให้อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) และทำการคำนวณปริมาณการเปลี่ยนแปลง ของ PM_{2.5} เมื่อผ่านไปทุกๆ 3 นาที (Decreasing Rate) หลังจากฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 พบว่าปริมาณการลดลงของ PM_{2.5} หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ในทุกความเข้มข้นมี ปริมาณการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 12 นาทีแรก จากนั้นแนวโน้มการลดลงค่อนข้างช้าและ

คล้ายคลึงกับชุดควบคุม โดยปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาที (Decreasing Rate) ของความเข้มข้นที่ 0.05% V/V ที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร (รูป a) ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ PM_{2.5} อยู่ในช่วง 5.3-6.9, 6.3-10.7 และ 6.4-7.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.17, 8.46 และ 7.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร (รูป b) ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ PM_{2.5} อยู่ในช่วง 5-16.1, 6.2-11.9 และ 7.0-13.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ และมีเฉลี่ยอยู่ที่ 9.5, 8.4 และ 9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้น 0.5% V/V ที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร (รูป c) ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ PM_{2.5} อยู่ในช่วง 3.7-9.4, 6.3-12.8 และ 6.7-11.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.17, 9.27 และ 9.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$ ตามลำดับ

ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาที ของแต่ละความเข้มข้นและเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกันผลการคำนวณแสดงได้ดังรูปที่ 32 พบว่าปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตรมีแนวโน้มการลดลงสูงที่สุด โดยสูงที่สุดที่ความเข้มข้น 0.1% V/V พบว่ามีแนวโน้มการลดลงที่ดีกว่าน้ำในปริมาตรเดียวกัน ในขณะที่รองลงมาคือ 0.5 และ 0.05% V/V ตามลำดับแต่มีแนวโน้มการลดลงต่ำกว่าน้ำในปริมาตรเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาที ของแต่ละความเข้มข้นและเปรียบเทียบที่ปริมาตรเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 33 พบว่าความเข้มข้นที่ 0.1% V/V มีแนวโน้มการลดลงสูงที่สุด รองลงมาคือ 0.5 และ 0.05 %V/V ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้น 0.1% ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (9.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$) ให้อัตราการลดลงสูงที่สุด รองลงมาคือ ความเข้มข้น 0.5% v/v ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (9.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$) และตามด้วยความเข้มข้น 0.05% v/v ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (8.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 3\text{min}$) ตามลำดับ

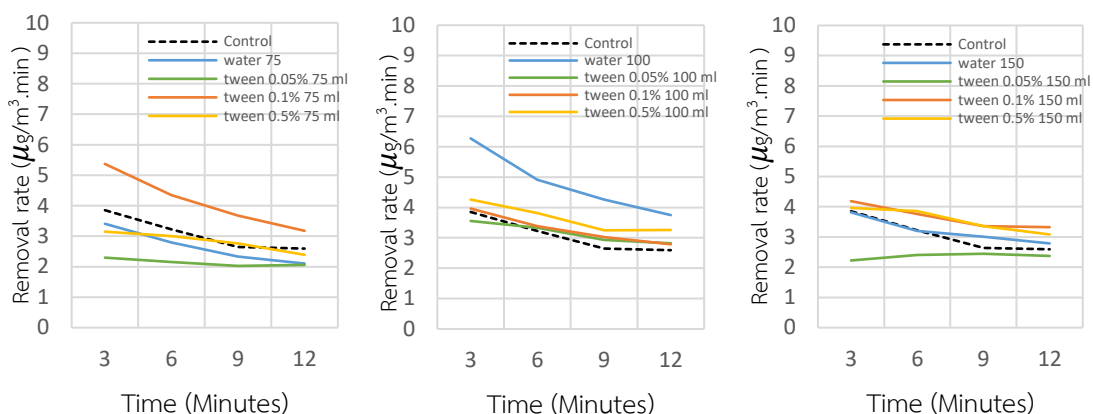


รูปที่ 32 อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของ PM_{2.5} (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ที่ปริมาตรแตกต่างกัน (a) 0.05 %v/v (b) 0.1 %v/v (c) 0.5 %v/v



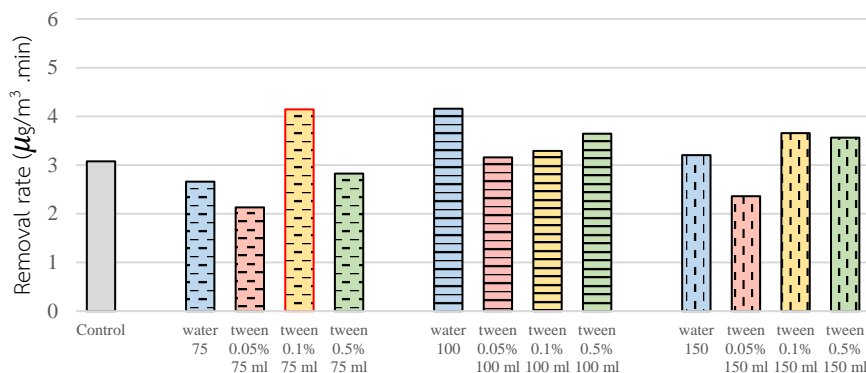
รูปที่ 33 อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของ $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) ต่อเวลา 3 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร

เมื่อนำค่าปริมาณการลดลงของ $PM_{2.5}$ เมื่อผ่านไปทุกๆ 3 นาที (Decreasing Rate) แล้วคำนวณอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ต่อเวลา 1 นาที ในสถานะที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 แสดงดังรูปที่ 34 ปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ลดลงมากที่สุดในช่วง 12 นาทีแรกซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ทดสอบที่สามารถนำไปเทียบกับชุดควบคุมได้ เมื่อคิดอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ผ่านการฉีดพ่นสารละลายทวิน-80 ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (รูป a) ที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5% V/V มีค่าเท่ากับ 2.13, 4.14 และ 2.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ มีเพียงที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ที่มีอัตราการลดลงสูงกว่าชุดทดสอบด้วยน้ำและชุดควบคุม ส่วนปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร (รูป b) มีค่าเท่ากับ 3.16, 3.29 และ 3.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ ซึ่งทุกชุดทดสอบมีอัตราการลดลงต่ำกว่าการใช้น้ำ ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (รูป c) มีค่าเท่ากับ 2.36 3.66 และ 3.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ ชุดทดสอบที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5% V/V มีอัตราการลดลงสูงกว่าการใช้น้ำเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 34 อัตราการลดลงของ PM_{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร

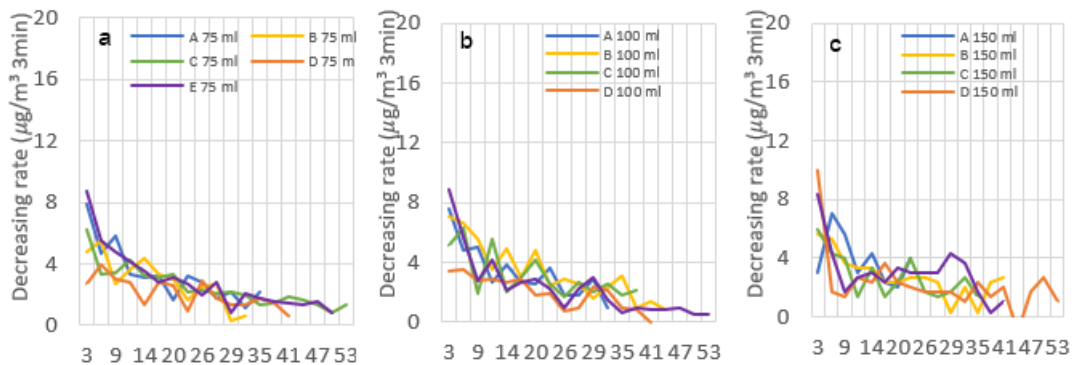
จากผลการทดสอบอัตราการลดลงของ PM_{2.5} (Removal Rate) ต่อเวลา 1 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารละลายทวิน-80 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า แสดงดังรูปที่ 35 พบว่าอัตราการลดลงของ PM_{2.5} ที่สูงที่สุด คือ ความเข้มข้นที่ 0.1% ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ($4.14 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ให้ผลลัพธ์ที่ดีว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า ($2.66 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) รองลงมาคือ ความเข้มข้น 0.1% ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ($3.66 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) และความเข้มข้น 0.5% ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ($3.56 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการลดลงไวกว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตรเดียวกัน และดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร ($3 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) สอดคล้องกับการศึกษาหัวข้อ 4.1 ที่ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตรมีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงที่สุด บ่งชี้ว่าสารละลายทวิน-80 ที่มีคุณสมบัติการรวมตัวให้ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ได้ดีและมีอัตราการลดที่ไวกว่าการฉีดด้วยน้ำเปล่า



รูปที่ 35 เปรียบเทียบอัตราการลดลงของ PM_{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยด้วยสารละลายทวิน-80 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า

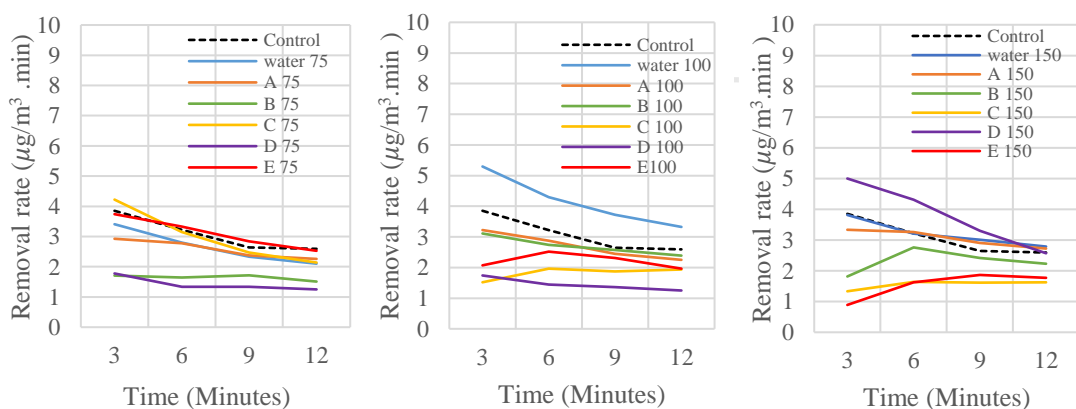
4.3.5 อัตราการลดลงของปริมาณของ PM_{2.5} ในสภาวะที่ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ

การใช้สารเคมีเพื่อส่งเสริมการเกาะรวมของ PM_{2.5} อยู่ในขั้นตอนการพัฒนาสูตรตำรับ ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยองค์ประกอบของชนิดสารที่ใช้ได้ จึงใช้รหัสตัวอย่างของสารทดสอบในการรายงานผลการศึกษา สารตำรับที่พัฒนาในช่วงการศึกษานี้มี 5 สูตร ได้แก่ สาร A B C D และ E ผลการทดสอบการลด PM_{2.5} ด้วยสารละลาย A B C D และ E ที่ฉีดพ่นด้วยปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ 36 พบว่าเมื่อทดสอบที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ PM_{2.5} อยู่ในช่วง 4.6-8.8, 2.7-5.6, 3.3-12.7, 2.7-5.3 และ 4.8-11.2 µg/m³ .3min ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.78, 4.53, 6.42, 3.75 และ 7.58 µg/m³ .3min ตามลำดับ โดยเรียงลำดับสารที่สามารถลดปริมาณจากมากไปน้อยคือ E A B C และ D ตามลำดับ และสาร E, C และ A มีแนวโน้มการลดได้ดีกว่าน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน เมื่อทดสอบที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ PM_{2.5} อยู่ในช่วง 4.8-9.7, 5.6-9.3, 4.6-7.2, 2.8-5.2 และ 2.8-8.9 µg/m³ .3min ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.75, 7.17, 5.81, 3.75 และ 5.89 µg/m³ .3min ตามลำดับ โดยเรียงลำดับสารที่สามารถลดปริมาณจากมากไปน้อยคือ B A E C และ D ตามลำดับ ซึ่งสารทั้งหมดมีแนวโน้มการลดที่ต่ำกว่าน้ำ และเมื่อทดสอบที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ปริมาณความเข้มข้นที่ลดลงของ PM_{2.5} อยู่ในช่วง 6.6-10.0, 5.0-11.1, 4.7-5.9, 0.9-13.1 และ 2.7-7.1 µg/m³ .3min ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.17, 6.69, 4.88, 6.5 และ 5.31 µg/m³ .3min ตามลำดับ โดยเรียงลำดับสารที่สามารถลดปริมาณจากมากไปน้อยคือ A B D E และ C ตามลำดับ ซึ่งสารทั้งหมดมีแนวโน้มการลดที่ต่ำกว่าน้ำ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการลดลงทุกๆ 3 นาทีจากชุดทดสอบทั้งหมดของฉีดพ่นด้วยสาร A B C D และ E พบว่า การใช้สาร A ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร สามารถช่วยลด PM_{2.5} ได้สูงสุด



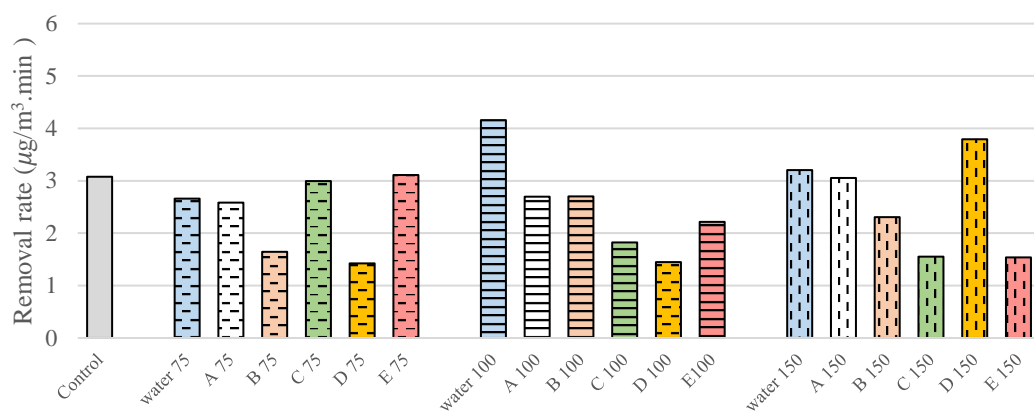
รูปที่ 36 การเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของ $PM_{2.5}$ (Decreasing Rate) จากการฉีดพ่นสารละลาย A-E
(a) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (b) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (c) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

เมื่อนำค่าปริมาณการลดลงของ $PM_{2.5}$ เมื่อผ่านไปทุกๆ 3 นาที (Decreasing Rate) มาคำนวณอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ต่อเวลา 1 นาที ในสถานะที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายสูตรตำรับ แสดงดังรูปที่ 37 ปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ลดลงมากที่สุดในช่วง 12 นาทีแรกซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ทดสอบที่สามารถนำไปเทียบกับชุดควบคุมได้ เมื่อคิดอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ พบว่าการฉีดพ่นสารละลายสูตรตำรับ A B C D และ E ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (รูป a) เท่ากับ 2.58, 1.64, 2.99, 1.42 และ 3.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (รูป b) เท่ากับ 2.70, 2.70, 1.82, 1.45 และ 2.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ และที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (รูป c) เท่ากับ 3.10, 2.31, 1.55, 3.79 และ 1.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ตามลำดับ



รูปที่ 37 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า (a) 75 มิลลิลิตร (b) 100 มิลลิลิตร (c) 150 มิลลิลิตร

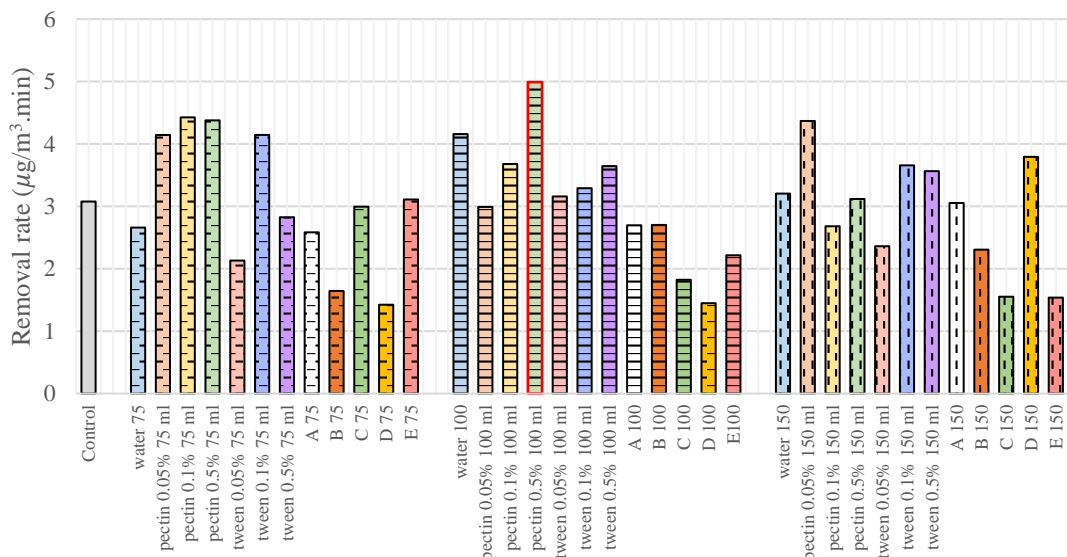
จากผลการทดสอบอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) เมื่อผ่านไปทุกๆ 1 นาที หลังการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ A B C D และ E เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า แสดงดังรูปที่ 38 พบว่าอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ที่สูงที่สุด คือ สาร D 150 มิลลิลิตร ($3.26 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า ($3.21 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ที่ปริมาตรเดียวกัน และดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสารเพียงเล็กน้อย ($3 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) รองลงมาคือ สาร E ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ($3.11 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) และสาร A ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ($3.05 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการใช้สาร D กับชุดทดสอบที่ปริมาตรอื่น พบว่าอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ให้ผลลัพธ์ต่ำกว่าน้ำและชุดควบคุม ซึ่งสาร D และ E เป็นสารกลุ่มพอลิเมอร์ และสาร A เป็นสารลดแรงตึงผิว จึงสอดคล้องกับการศึกษาหัวข้อ 4.1 ที่สารละลายเพคตินซึ่งเป็นสารไบโอพอลิเมอร์ มีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงกว่าสารละลายทวิน-80 ที่เป็นสารลดแรงตึงผิว จึงบ่งชี้ว่าสารพอลิเมอร์เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นได้ไวกว่าน้ำและมีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ได้ดีกว่าน้ำและสารอื่นๆ



รูปที่ 38 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและน้ำเปล่า

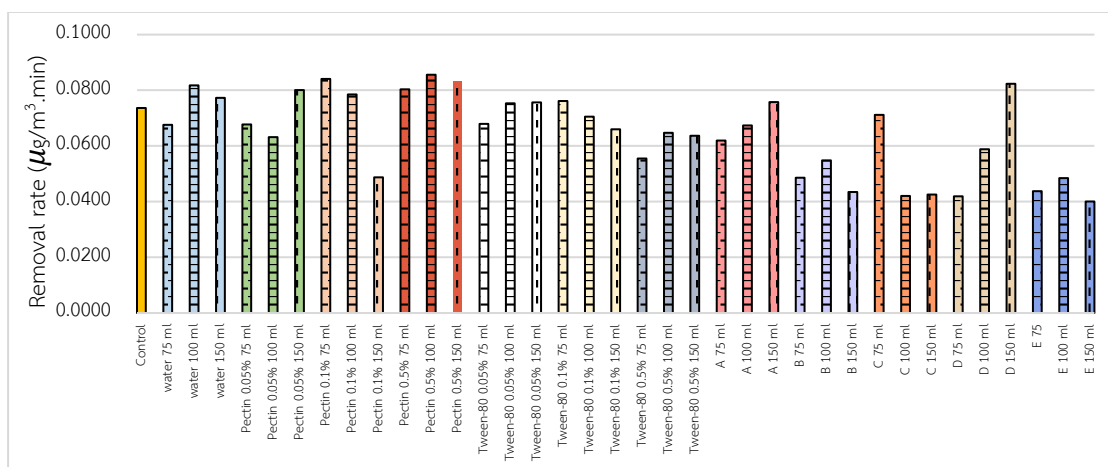
จากผลการศึกษาการลดลงของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องทดสอบระบบปิดระหว่างชุดทดสอบต่างๆ ที่ฉีดพ่นผ่านหัวฉีดพ่นละออง เมื่อพิจารณาอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ระหว่างทุกชุดทดสอบ แสดงดังรูปที่ 39 สารเคมีที่มีอัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ มากที่สุดคือ สารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ซึ่งดีกว่าการใช้น้ำ ($4.16 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ที่ปริมาตรเดียวกันคิดเป็นร้อยละ 0.84 หรือประมาณ 1.2 เท่า ชุด

ทดสอบที่ให้ประสิทธิภาพลำดับรองลงมาได้แก่ การใช้เพคตินที่ความเข้มข้น 0.1% W/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร สามารถลด $PM_{2.5}$ ในอัตราการลดลง $4.43 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ ดีกว่าการใช้น้ำ ($2.66 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ที่ปริมาตรเดียวกันประมาณ 1.7 เท่า ส่วนสารสูตรตำรับ ถ้าเปรียบเทียบกับการใช้น้ำที่ปริมาตรเดียวกัน พบว่า สารสูตร D ที่ฉีดด้วยปริมาตร 150 ml สามารถลด $PM_{2.5}$ ในอัตราการลดลง $3.79 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำ ($3.20 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ จากผลการศึกษาหัวข้อ 4.1 พบว่าสอดคล้องกับผลอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ที่สารละลายเพคตินความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตรสูงที่สุด ในขณะที่สารละลายทวิน-80 ให้อัตราการลดลงต่ำกว่าสารละลายเพคติน เนื่องจากชนิดของสารมีผลต่อการเกาะรวมระหว่างอนุภาคของ $PM_{2.5}$ บ่งชี้ว่าสารละลายเพคตินเป็นสารที่มีคุณสมบัติการรวมตัวได้ไวที่สุด และเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าความชื้นที่ตรวจวัดได้ รวบรวมในภาคผนวก ค พบว่าระหว่างการฉีดพ่นละอองมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 40.9-46.8 มีการเพิ่มขึ้นอยู่ที่ร้อยละ 7 หลังจากนั้นค่อยๆ ลดลงจนสิ้นสุดการทดสอบ ต่างจากการเพิ่มขึ้นในเวลาเดียวกันของค่าความชื้นที่ไม่ฉีดพ่นสารอยู่ที่ร้อยละ 4 ค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่ออัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ดังนั้น การศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีเกาะรวมในเชิงปริมาณอาจให้ผลในเบื้องต้น หากจะให้เห็นประสิทธิภาพอย่างชัดเจนจำเป็นต้องวิเคราะห์ลักษณะด้านกายภาพของฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากเกิดกลไกการเกาะรวมประกอบด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.4 ต่อไป



รูปที่ 39 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกหลังการฉีดพ่นของสารละลายทุกชุดทดสอบ

ในกรณีที่พิจารณาอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (removal rate) ของสารแต่ละชุดทดสอบ ตลอดการทดสอบระยะเวลา 60 นาที แสดงดังรูปที่ 40 พบว่า ผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (removal rate) ที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารทดสอบตลอดระยะเวลา 60 นาที มีค่าความชัน (k) ของกราฟความสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.0736 min^{-1} ซึ่งค่าความชันดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการฉีดพ่นสารเคมีต่อไป



รูปที่ 40 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ตลอดการทดสอบ 60 นาทีหลังการฉีดพ่นของสารละลายทุกชุดทดสอบ

ผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (removal rate) ที่ผ่านการฉีดพ่นด้วยน้ำตลอดการทดสอบ 60 นาที พบว่าปริมาตรที่ 75 และ 150 มิลลิลิตร มีค่าความชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.06759 , 0.0817 และ 0.0772 min^{-1} ตามลำดับ ซึ่งปริมาตร 100 มิลลิลิตรมีอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ สูงที่สุด รองลงมาคือ ปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตรและ 75 มิลลิลิตร ตามลำดับ และมีผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากการคำนวณอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ เมื่อพิจารณาในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบ

ผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (removal rate) ที่ผ่านการฉีดพ่นด้วยสารเพคตินที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร ตลอดการทดสอบ 60 นาที พบว่าความเข้มข้นที่ 0.05% W/V มีค่าอัตราการลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.0677 , 0.0631 และ 0.0801 min^{-1} ตามลำดับ และความเข้มข้นที่ 0.1% W/V มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0841 , 0.0785 และ 0.0487 min^{-1} ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นที่ 0.5% W/V มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0803 , 0.0855 และ 0.0830 min^{-1} ตามลำดับ จากผลการทดสอบจึงพบว่า ความเข้มข้นที่ 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตรมีอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ (removal rate) ที่สูงที่สุด รองลงมาคือ 0.1% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร 0.5% W/V ที่

ปริมาตร 150 มิลลิลิตร 0.5% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร 0.05% W/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร 0.1% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร 0.05% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร 0.05% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และ 0.1% W/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (removal rate) ตลอดระยะเวลา 60 นาที สอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากการคำนวณอัตราการลดลงของ PM_{2.5} เมื่อพิจารณาในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบ คือ สารละลายเพคตินความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีอัตราการลดลงที่สูงที่สุด (0.0855 min⁻¹) ซึ่งมีอัตราการลดลงไวกว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตรเดียวกัน (0.0817 min⁻¹) และดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร (0.0736 min⁻¹)

ผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (removal rate) ที่ผ่านการฉีดพ่นด้วยสารทวิน-80 ที่ปริมาตร 75 100 และ 150 มิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.05% V/V มีค่าอัตราการลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.0679, 0.0753 และ 0.0756 min⁻¹ ตามลำดับ และความเข้มข้นที่ 0.1% V/V มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0761, 0.0705 และ 0.0660 min⁻¹ ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นที่ 0.5% V/V มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0554, 0.064 และ 0.0636 min⁻¹ ตามลำดับ จากผลการทดสอบจึงพบว่า ความเข้มข้นที่ 0.1% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตรมีอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (removal rate) ที่สูงที่สุด รองลงมาคือ 0.05% V/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร 0.5% W/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร 0.5% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร 0.05% W/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร 0.05% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร 0.1% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร 0.05% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร 0.1% W/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร 0.5% W/V ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร 0.5% W/V ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร และ 0.5% W/V ที่ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากการคำนวณอัตราการลดลงของ PM_{2.5} ในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบ คือ สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร มีอัตราการลดลงที่สูงที่สุด (0.0761 min⁻¹) ซึ่งมีอัตราการลดลงไวกว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่ปริมาตรเดียวกัน (0.0675 min⁻¹) และดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร (0.0736 min⁻¹)

ผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (removal rate) ที่ผ่านการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ A-E ที่ปริมาตร 75, 100 และ 150 มิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที พบว่า สาร A มีค่าอัตราการลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.0620, 0.0674 และ 0.0758 min⁻¹ ตามลำดับ สาร B มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0486, 0.0548 และ 0.0435 min⁻¹ ตามลำดับ สาร C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0712, 0.0421 และ 0.0426 min⁻¹ ตามลำดับ สาร D มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0419, 0.0588 และ 0.0823 min⁻¹ ตามลำดับ และสาร E มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0438, 0.0485 และ 0.0401 min⁻¹ จากผลการทดสอบจึงพบว่า สาร D ปริมาตร 150 มิลลิลิตร มีอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} สูงที่สุด รองลงมาคือ สาร A ปริมาตร 150 มิลลิลิตร สาร C ปริมาตร 75 มิลลิลิตร สาร A ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สาร A ปริมาตร 75 มิลลิลิตร

สาร B ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สาร B ปริมาตร 75 มิลลิลิตร สาร E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สาร E ปริมาตร 74 มิลลิลิตร สาร B ปริมาตร 150 มิลลิลิตร สาร C ปริมาตร 150 มิลลิลิตร สาร C ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สาร D ปริมาตร 75 มิลลิลิตร และสาร E ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากการคำนวณอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ต่อนาทีเมื่อพิจารณาในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบ คือ สาร D ปริมาตร 150 มิลลิลิตรมีอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ สูงที่สุด

ผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ตลอดการทดสอบ 60 นาทีของแต่ละชุดทดสอบ จึงสรุปได้ว่ามีความสอดคล้องกับผลการทดสอบอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ เมื่อพิจารณาในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบ คือ สารเพคตินความเข้มข้น 0.5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีอัตราการลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ สูงที่สุด (0.0855 min^{-1}) รองลงมาคือ สาร D ปริมาตร 150 มิลลิลิตร (0.0823 min^{-1}) น้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร (0.0817 min^{-1}) สารทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1%V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร (0.0761 min^{-1}) และชุดควบคุมที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร (0.0736 min^{-1}) ตามลำดับ

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาในการลด $PM_{2.5}$ ด้วยสถิติความแปรปรวนสองตัวแปร

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ และปัจจัยที่ศึกษา โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนสองตัวแปร (two-way ANOVA) รูปแบบปัจจัย 3^k factorial design เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ปัจจัยที่สนใจศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย (ความเข้มข้นที่ 0.05, 0.1 และ 0.5%) ปริมาตรของสาร (75, 100 และ 150 มิลลิลิตร) และชนิดของสารละลาย (สารละลายเพคตินและสารละลายทวิน-80) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 9 และค่าสัมประสิทธิ์การแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกหรือเชิงลบแสดงในตารางที่ 10

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้มข้น ปริมาตร และชนิดของสารทดสอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ พบว่า ชนิดของสาร ได้แก่ สารละลายเพคตินและสารละลายทวิน-80 มีผลต่อประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99.95 ($p < 0.05$) บ่งชี้ว่าค่าประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ขึ้นอยู่กับชนิดของแต่ละสารที่ศึกษาในครั้งนี้ อีกทั้ง ปริมาตรสารที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแสดงความสัมพันธ์พบว่า การเพิ่มปริมาตรไม่ได้ส่งเสริมในการเพิ่มประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ (ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เท่ากับ -2.91) อ้างอิงจากการศึกษาครั้งนี้ในหัวข้อ 4.1 พบว่าช่วงปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายเพคตินและสารละลายทวิน-80 มีแนวโน้มในช่วงปริมาตรระดับกลางค่อนข้างต่ำ (75-100 มิลลิลิตร) ควบคู่กับความเข้มข้นของสาร โดยที่ช่วงความเข้มข้นของสารละลายเพคตินมีแนวโน้มที่ให้ประสิทธิภาพได้ดีในช่วง

ระดับกลางค่อนข้างสูง (0.1-0.5% W/V) และช่วงความเข้มข้นของสารละลายทวิน-80 มีแนวโน้มที่ ให้ประสิทธิภาพได้ดีในช่วงกึ่งกลางของความเข้มข้นที่ทดสอบ (0.1% V/V) นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารยกกำลังสอง (A²) แสดงถึงลักษณะ ความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง (Non-linear Relationship) โดยความสัมพันธ์แบบผกผันกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ (ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เท่ากับ -3.70) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้น ไม่ได้ส่งเสริมประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} อย่างชัดเจน สอดคล้องกับการศึกษาของ Gue et al. (2017) ที่ระบุว่า การเพิ่มความหนืดของสารพอลิเมอร์ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ เมื่อความหนืด เพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจาก 0.01% เป็น 2% แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นถึง 3% กลับ พบว่าความหนืดไม่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพตามความเข้มข้นอีกต่อไป

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตร ชนิดของสารทดสอบที่มีผล ต่อประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5}

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
A-Concentration	11.12	1	11.12	0.3193	0.5747
B-Volume	305.85	1	305.85	8.78	0.0048
C-Solution	791.81	1	791.81	22.73	< 0.0001
AB	110.86	1	110.86	3.18	0.0809
BC	72.62	1	72.62	2.08	0.1554
A ²	164.13	1	164.13	4.71	0.0350

ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตร ชนิดของสาร ทดสอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5}

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	52.51	1	1.39	49.71	55.31	
A-Concentration	0.5559	1	0.9837	-1.42	2.53	1.0000
B-Volume	-2.91	1	0.9837	-4.89	-0.9358	1.0000
C-Solution	-3.83	1	0.8032	-5.45	-2.21	1.0000
AB	-2.15	1	1.20	-4.57	0.2745	1.0000
BC	-1.42	1	0.9837	-3.40	0.5587	1.0000
A ²	-3.70	1	1.70	-7.13	-0.2707	1.0000

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นพบว่า ความเข้มข้นและ ปริมาตรที่เหมาะสมของสารแต่ละชนิดมีผลต่อประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} แตกต่างกัน โดย ภาพรวมการเพิ่มปริมาตรและความเข้มข้นสูงกว่าจุดที่เหมาะสมไม่ได้ส่งเสริมประสิทธิภาพของสารใน การลด PM_{2.5} โดยประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมีเกาะรวมในครั้งนี้ (อ้างอิงจาก หัวข้อ 4.1) คือ สารละลายเพคตินความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารละลาย ทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} อยู่ที่ร้อยละ 66.2±0.2 และ 55.3±1.2 ตามลำดับ

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับอัตราการลดของ PM_{2.5}

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับอัตราการลดลงของ PM_{2.5} (removal rate) โดยการวิเคราะห์ด้วยรูปแบบ 3^k factorial design ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของ สารละลาย (ความเข้มข้นที่ 0.05, 0.1 และ 0.5 %) ปริมาตรของสาร (75, 100 และ 150 มิลลิลิตร) และชนิดของสารละลาย (สารละลายเพคตินและสารละลายทวิน-80) ผลการวิเคราะห์แสดงในตาราง ที่ 11 และพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับคำนวณหาค่าอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (removal rate) ตลอดการทดสอบ 60 นาที แสดงดังตารางที่ 12 (ข้อมูลรายละเอียดปรากฏดัง ภาคผนวก ซ)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้มข้น ปริมาตร และชนิดของสารทดสอบที่มีผลต่ออัตราการลด $PM_{2.5}$ ด้วยการคำนวณอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (removal rate) ในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบและอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ตลอดการทดสอบ 60 นาที ยังไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของสาร ปริมาตร และชนิดของสารเคมีกับอัตราการลด $PM_{2.5}$ อาจเนื่องมาจากผลของอัตราการลด $PM_{2.5}$ เป็นการเทียบอัตราการลดต่อนาที ในขณะที่เมื่อระยะเวลาผ่านไปประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามเวลา จึงทำให้สามารถบอกได้เพียงสารใดมีอัตราการลดที่ไวที่สุดในช่วงแรกของการทดสอบ และเนื่องจากจำนวนข้อมูลของการนำมาวิเคราะห์สถิติมีการเฉลี่ยค่าข้อมูลจริงจาก 3 ซ้ำลดลงเหลือเพียงซ้ำเดียว ดังนั้น การพิจารณาเฉพาะอัตราการลด $PM_{2.5}$ ต่อนาทีของแต่ละสารจึงไม่พบความต่างที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราการลด $PM_{2.5}$ ได้สะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพการเกาะรวมของสารกับ $PM_{2.5}$ ในช่วงเวลาที่เหมาะสมหลังการฉีดพ่น ซึ่งการเกาะรวมของสารเกิดขึ้นได้ดีในช่วง 10-12 นาทีแรก โดยการฉีดพ่นสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ให้ผลการเกาะรวมของสารและ $PM_{2.5}$ สูงที่สุด (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) รองลงมาคือ สารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.1% W/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร (4.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำ 1.2 - 1.7 เท่า สอดคล้องกับผลของประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ หลังฉีดพ่นสารละลายเพคตินให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดจากการสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงประมาณ 60 นาที สำหรับอัตราการลด $PM_{2.5}$ เมื่อฉีดพ่นสารละลายทวิน-80 ให้อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ต่ำกว่าสารละลายเพคตินและน้ำในบางชุดทดสอบ แต่สารละลายทวิน-80 ให้ประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ ได้ดีกว่าน้ำ ดังนั้น หากต้องการเลือกพัฒนาสารตัวรับที่ให้ผลการเกาะรวมที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วควรเลือกใช้สารละลายเพคติน เนื่องจากโครงสร้างของสารเพคตินเป็นโมเลกุลมีขนาดใหญ เส้นใยของโมเลกุลมีแนวโน้มจะพันกันเพื่อสร้างโครงสร้างคล้ายตาข่าย ส่งผลให้มีโอกาสเพิ่มขึ้นในการรวมตัวระหว่างสารและอนุภาคได้ง่ายขึ้นและรวมตัวจนมีขนาดใหญ่ได้ไวกว่าสารทดสอบชนิดอื่นๆ (Gue et al., 2017)

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ในช่วง 12 นาทีแรกของการทดสอบ ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตรและชนิดของสารทดสอบ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	4.77	8	0.5958	0.9580	0.5187
A-Concentration	0.9520	1	0.9520	1.53	0.2473
B-Volume	0.4408	1	0.4408	0.7088	0.4216
C-Solution	2.00	1	2.00	3.22	0.1065
AB	0.1225	1	0.1225	0.1970	0.6676
AC	0.1633	1	0.1633	0.2626	0.6207
BC	0.8856	1	0.8856	1.42	0.2633
A ²	0.1202	1	0.1202	0.1932	0.6706
B ²	0.0822	1	0.0822	0.1321	0.7246

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (removal rate) ตลอดระยะเวลา 60 นาที ระหว่างความเข้มข้นสาร ปริมาตรและชนิดของสารทดสอบ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0.0420	8	0.0053	0.5294	0.8280
A-Concentration	6.477E-06	1	6.477E-06	0.0007	0.9797
B-Volume	0.0016	1	0.0016	0.1639	0.6875
C-Solution	0.0127	1	0.0127	1.28	0.2643
AB	0.0002	1	0.0002	0.0195	0.8895
AC	0.0000	1	0.0000	0.0015	0.9692
BC	0.0014	1	0.0014	0.1403	0.7098
A ²	0.0082	1	0.0082	0.8214	0.3696
B ²	0.0180	1	0.0180	1.81	0.1852

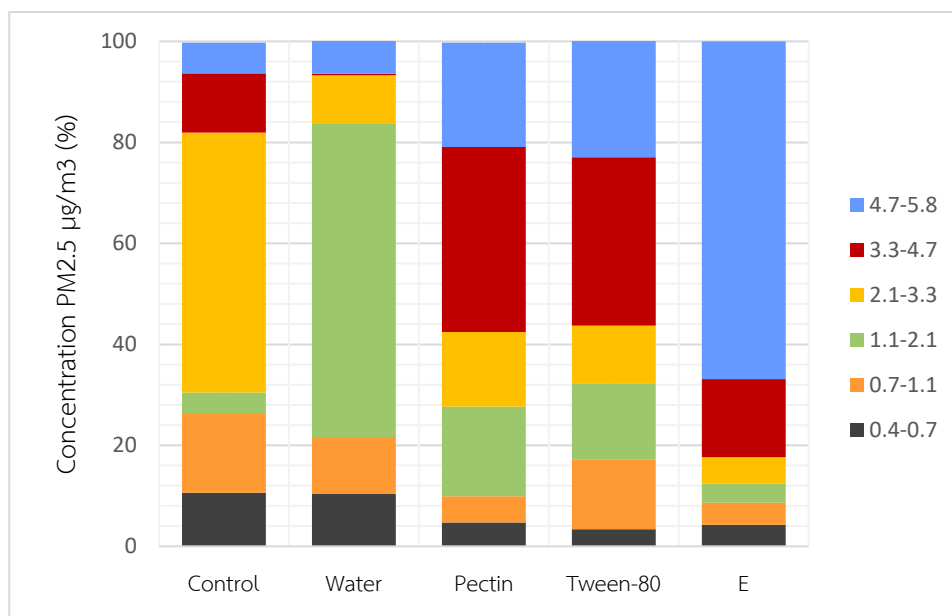
4.4 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการฉีดพ่นสารเคมี

หลังจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารทดสอบที่ช่วยในการลด $PM_{2.5}$ จากนั้นจึงทำการคัดเลือกสารทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ สูงที่สุดของแต่ละชนิดสาร ได้แก่ สารละลายเพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร น้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารตัวรับสูตร E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคฝุ่นตามการกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละออง ซึ่งทำการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นด้วยข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงกายภาพของฝุ่นละออง โดยผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้ (ข้อมูลโดยละเอียดรวบรวมในภาคผนวก ฅ) และได้ทำการควบคุมคุณภาพของเครื่องชั่งน้ำหนักในการชั่งกระตาชกรอง โดยการชั่งลูกตุ้มมาตรฐานขนาด 100 และ 200 มิลลิกรัม ก่อนและหลังการชั่งกระตาชกรองทุกครั้ง จากนั้นนำค่าน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานทั้งหมดทดสอบความแม่นยำของเครื่องชั่ง โดยได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ฎ

4.4.1 ข้อมูลเชิงปริมาณฝุ่นละอองทุกชุดการทดสอบ

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นตามการกระจายตัวตามขนาด ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงของฝุ่นละออง โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยอุปกรณ์คัดแยกขนาดอนุภาค 8 ชั้น (Non-Viable Andersen Cascade impactor) รายละเอียดการคัดแยกขนาดของอุปกรณ์แต่ละชั้นประกอบด้วย ชั้นที่ 1 คัดแยกอนุภาคขนาด 4.7-5.8 ไมครอน ชั้นที่ 2 คัดแยกอนุภาคขนาด 3.3-4.7 ไมครอน ชั้นที่ 3 คัดแยกอนุภาคขนาด 2.1-3.3 ไมครอน ชั้นที่ 4 คัดแยกอนุภาคขนาด 1.1-2.1 ไมครอน ชั้นที่ 5 คัดแยกอนุภาคขนาด 0.7-1.1 ไมครอน ชั้นที่ 6 คัดแยกอนุภาคขนาด 0.4-0.7 ไมครอน และชั้นที่ 7 (back-up) คัดแยกอนุภาคขนาด 0.0-0.4 ไมครอน เก็บตัวอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 60 นาที โดยผลการทดสอบการคำนวณการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ปรากฏดังรูปที่ 41 (ผลการคำนวณการชั่งน้ำหนักข้อมูลโดยละเอียดปรากฏในภาคผนวก ฅ) ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างและคัดแยกขนาดผ่านอุปกรณ์คัดแยกขนาดอนุภาค รวมถึงการคำนวณปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบชั่งน้ำหนักในแต่ละระดับชั้น (Gravimetric analysis) พบว่า แนวโน้มการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคของฝุ่นผ่านการฉีดพ่นสารละลายเพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารสูตรตัวรับ E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองส่วนมากในช่วงระดับชั้นที่ 3.3-4.7, 3.3-4.7 และ 4.7-5.8 ตามลำดับ (ร้อยละของปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ทั้งหมดจากทุกระดับชั้น 31.8, 28.5 และ 49 ตามลำดับ) ซึ่งสารดังกล่าวเห็นแนวโน้มที่อนุภาคเกาะรวมกันจนมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับอนุภาคของฝุ่นที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารที่มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองส่วนมากอยู่ในชั้น 2.1-

3.3 คิดเป็นร้อยละ 46.9 และดีกว่าน้ำเปล่าที่มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองพบมากในระดับชั้น 1.1-2.1 คิดเป็นร้อยละ 68.9



รูปที่ 41 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นด้วยข้อมูลเชิงปริมาณความเข้มข้นของสารทุกชุดทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นในการฉีดพ่นสารทดสอบที่ผ่านการคำนวณแบบ Normalization ของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง แสดงดังรูปที่ 42 ข้อมูลโดยละเอียดรวบรวมในภาคผนวก ฅ ผลการทดสอบการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นเชิงปริมาณด้วยการคำนวณการซังน้ำหนักตัวอย่าง พบว่าการทดสอบผ่านการเผาไหม้รูปเปล่าโดยไม่มีสารฉีดพ่นสารมีค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ซังกรองตัวอย่างอนุภาคขนาด 0.4-0.7, 0.7-1.1, 1.1-2.1, 2.1-3.3, 3.3-4.7 และ 4.7-5.8 ไมครอน อยู่ที่ 29.6, 50.6, 17, 124.9, 36.6 และ 4.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แนวโน้มความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่สูงสุดอยู่ที่ซัง 2.1-3.3 คิดเป็นร้อยละ 46.9 ของปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ทั้งหมดจากทุกระดับซัง และมีค่า Normalization อยู่ที่ 121.8, 257.9, 60.6, 636.4, 238.3 และ 45.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มีแนวโน้มการกระจายตัวอยู่ที่ซัง 0.4-1.1 ไมครอนเพียงเล็กน้อย และพบแนวโน้มเป็นส่วนมากอยู่ที่ซัง 2.1-3.3 ไมครอน

การทดสอบการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคผ่านการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ซังกรองตัวอย่างอนุภาคขนาด 0.4-0.7, 0.7-1.1,

1.1-2.1, 2.1-3.3, 3.3-4.7 และ 4.7-5.8 ไมครอน อยู่ที่ 43, 38, 298.5, 32.3, 0.8 และ 8.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แนวโน้มความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่สูงสุดอยู่ที่ชั้น 1.1-2.1 ไมครอน คิดเป็นร้อยละ 68.9 ของปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ทั้งหมดจากทุกระดับชั้น และมีค่า Normalization อยู่ที่ 177.4, 194, 1062.9, 164.9, 5.1 และ 89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พบแนวโน้มการกระจายตัวเป็นส่วนมากที่ชั้น 1.1-2.1 ไมครอน สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าลักษณะการรวมตัวหรือชนกันของอนุภาคฝุ่นสามารถเกิดการชนกันเป็นอนุภาครูปแบบใหม่ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นและมีโอกาสที่จะเกิดขนาดที่เล็กลงเช่นกัน (Blum, 2006)

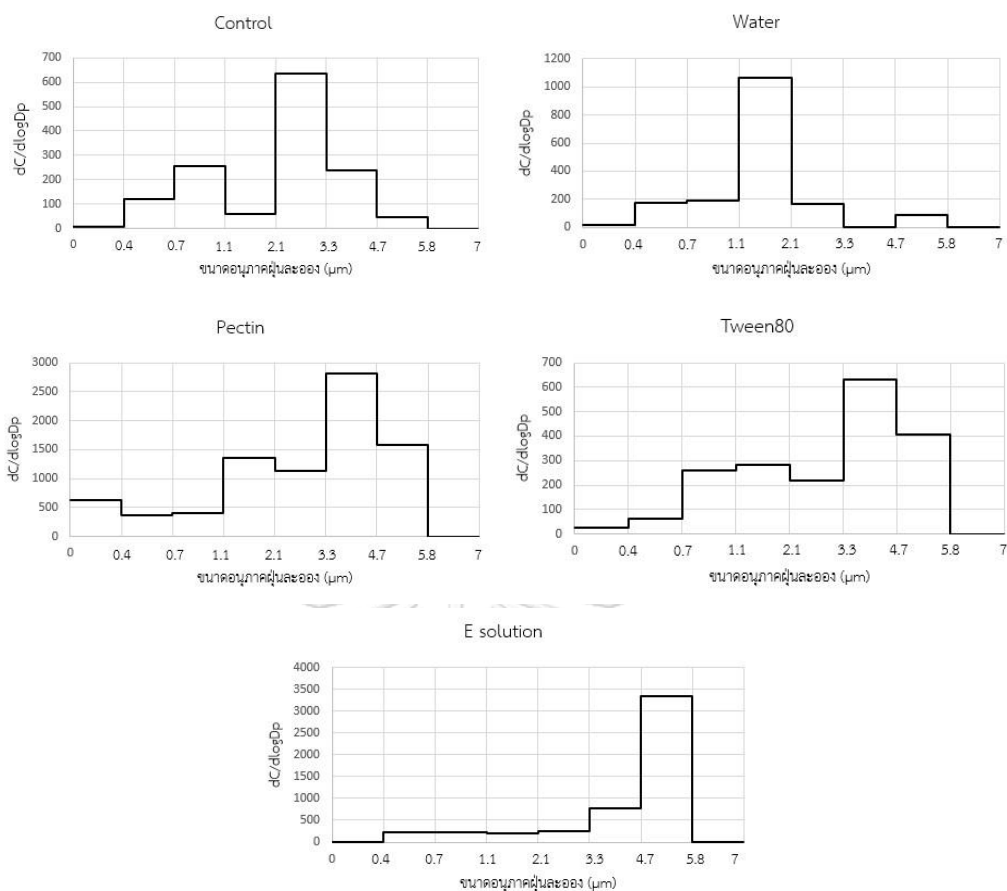
การทดสอบการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคผ่านการฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ชั้นกรองตัวอย่างอนุภาคขนาด 0.4-0.7, 0.7-1.1, 1.1-2.1, 2.1-3.3, 3.3-4.7 และ 4.7-5.8 ไมครอน อยู่ที่ 87.4, 78.8, 382.2, 221.6, 431.7 และ 144.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่สูงสุดอยู่ที่ชั้น 3.3-4.7 คิดเป็นร้อยละ 31.8 ของปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ทั้งหมดจากทุกระดับชั้น และมีค่า Normalization อยู่ที่ 359.7, 401.3, 1360.9, 1129.1, 2810.7 และ 1582.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พบแนวโน้มการกระจายตัวเป็นส่วนมากที่ชั้น 1.1-5.8 ไมครอน

การทดสอบการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคผ่านการฉีดพ่นด้วยสารละลายทรีน-80 ความเข้มข้น 0.1% W/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร พบว่าค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ชั้นกรองตัวอย่างอนุภาคขนาด 0.4-0.7, 0.7-1.1, 1.1-2.1, 2.1-3.3, 3.3-4.7 และ 4.7-5.8 ไมครอน อยู่ที่ 15.6, 51, 80, 43, 96.8 และ 37.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่สูงสุดอยู่ที่ชั้น 3.3-4.7 คิดเป็นร้อยละ 28.5 ของปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ทั้งหมดจากทุกระดับชั้น และมีค่า Normalization อยู่ที่ 64.1, 259.8, 284.8, 218.7, 630.1 และ 408 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พบแนวโน้มการกระจายตัวเป็นส่วนมากที่ชั้น 3.3-5.8 ไมครอน

การทดสอบการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคผ่านการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าค่าปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ชั้นกรองตัวอย่างอนุภาคขนาด 0.4-0.7, 0.7-1.1, 1.1-2.1, 2.1-3.3, 3.3-4.7 และ 4.7-5.8 ไมครอน อยู่ที่ 52.1, 42.6, 53.3, 50.8, 118.2 และ 304.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่สูงสุดอยู่ที่ชั้น 4.7-5.8 คิดเป็นร้อยละ 49 ของปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ทั้งหมดจากทุกระดับชั้น และมีค่า

Normalization อยู่ที่ 214.3, 217.1, 189.9, 259, 769.9 และ 3334.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พบแนวโน้มการกระจายตัวเป็นส่วนมากที่ชั้น 3.3-5.8 ไมครอน

การศึกษาแนวโน้มการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคของฝุ่นจึงสรุปได้ว่า การฉีดพ่น สารละลายเพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารสูตรตำรับ E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารดังกล่าวทั้งสาม นี้มีแนวโน้มการเกาะรวมตัวของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับน้ำเปล่าและอนุภาคของฝุ่นที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร ในขณะที่ลักษณะการรวมตัวกันของน้ำเป็นรูปแบบการรวมตัวและชนกันของอนุภาคฝุ่นจนเป็นฝุ่นใหม่ที่มีขนาดเล็กลงไม่ได้ช่วยให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยแนวโน้มความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ตามระดับชั้นการกระจายตัวตามขนาดอนุภาคฝุ่นละอองในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่า ประสิทธิภาพของสารละลายเพคติน สารละลายทวิน-80 และสารสูตรตำรับ E มีประสิทธิภาพในการช่วยลด $PM_{2.5}$ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สารละลายเพคตินและสารสูตรตำรับ E มีความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคของฝุ่นละอองให้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากสารทั้งสองเป็นกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการเกาะรวมอนุภาคของฝุ่นละออง นอกจากนี้ สารละลายทวิน-80 ที่เป็นสารลดแรงตึงผิวก็มีความสามารถในการเกาะรวมฝุ่นละอองให้ใหญ่ขึ้น อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าการใช้สารเคมีในการเพิ่มประสิทธิภาพให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคดีขึ้น (Lewandowski and Kawatra, 2009a)



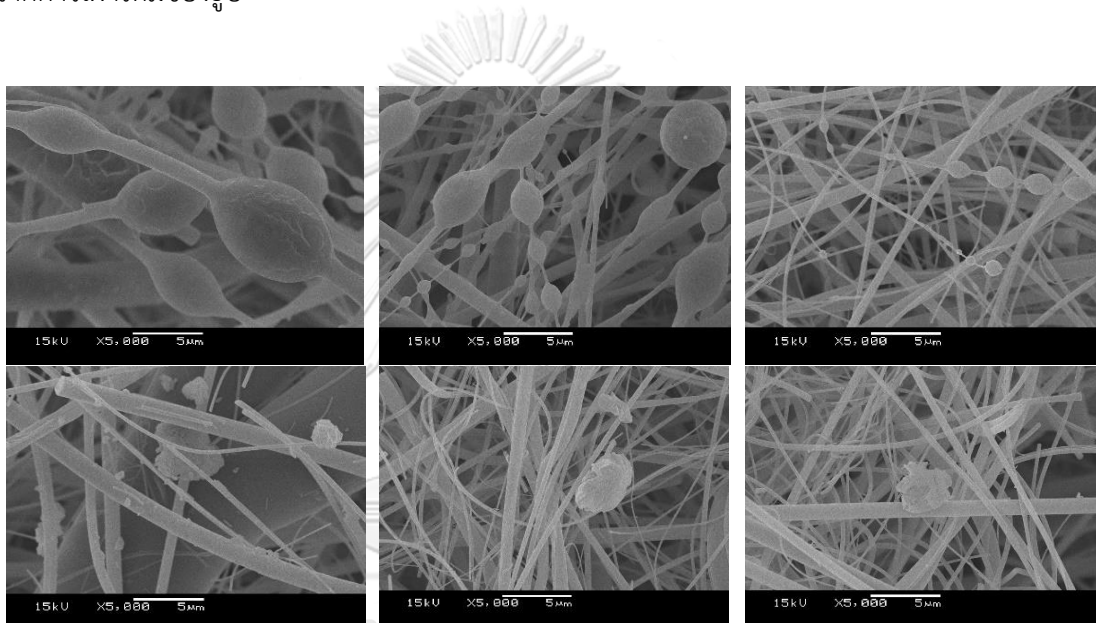
รูปที่ 42 ค่า Normalization ของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองของทุกชุดสารทดสอบ

4.4.2 ข้อมูลเชิงกายภาพของฝุ่นละอองทุกชุดการทดสอบ

ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองจากการทดสอบผ่านการฉีดพ่นละอองน้ำของสารทดสอบที่คัดเลือกไว้ ได้แก่ สารละลายเพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร น้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารตัวรับ E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ และความเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละออง และลักษณะการจับตัวกันระหว่างอนุภาคฝุ่นละอองและสารทดสอบด้วยการเก็บตัวอย่างเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยอุปกรณ์คัดแยกขนาดอนุภาค 8 ชั้น (Non-Viable Andersen Cascade impactor) ภายในห้องทดสอบแบบปิด โดยผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้ (ข้อมูลโดยละเอียดรวบรวมในภาคผนวก ญ)

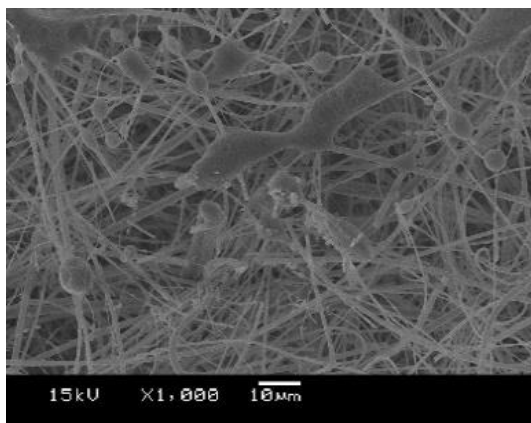
ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการเผาไหม้รูปเปล่าโดยไม่มีการฉีดพ่นสาร ปรากฏดังรูปที่ 43 พบว่า ฝุ่นรูปเปล่ามีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอน โดยระดับชั้นที่

2.1-5.8 ไมครอนมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม (Spherical particle) และรูปทรงรี (Ellipsoidal particle) และระดับชั้นที่ 0.4-2.1 ไมครอน มีรูปทรงเป็นผลึกหรือเหลี่ยม (blocky particle) หรือรูปทรงแบบคริสตัล ซึ่งมีพื้นผิวด้านบนเรียบและหยาบ เมื่อพิจารณาระหว่างเส้นใยของแผ่นกระดาษกรองและอนุภาคของฝุ่นละอองในแต่ละระดับชั้นจะสังเกตได้ว่าเส้นใยมีลักษณะที่ถูกเคลือบด้วยสารเปียกบางชนิด ซึ่งจะพบสารเปียกเหล่านี้ของฝุ่นเปล่าที่ระดับชั้น 4.7-5.8 ไมครอน ปรากฏดังรูปที่ 44 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xia (2020) ที่พบว่าลักษณะอนุภาคของการเผาไหม้รูปมีการถูกเคลือบด้วยอนุภาคของสารแขวนลอยหรืออนุภาคที่มีลักษณะแบบ liquid aerosol ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มาจากการเผาไหม้ของรูป



รูปที่ 43 ลักษณะสัณฐานวิทยาตามการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นจากการเผาไหม้รูปเปล่าไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี (ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า)

- 1) ขนาด 4.7-5.8 ไมครอน 2) ขนาด 3.3-4.7 ไมครอน 3) ขนาด 2.1-3.3 ไมครอน
- 4) ขนาด 1.1-2.1 ไมครอน 5) ขนาด 0.7-1.1 ไมครอน 6) ขนาด 0.4-0.7 ไมครอน



รูปที่ 44 ลักษณะสารเปียกที่พบของอนุภาคฝุ่นจากการเผาไหม้รูปเปล่าไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี อนุภาคขนาด 4.7-5.8 ไมครอน (ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า)

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการฉีดพ่นด้วยสารทดสอบ แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการฉีดพ่นด้วย น้ำเปล่า มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนเช่นเดียวกับลักษณะของฝุ่นรูปเปล่า โดยที่ระดับชั้น 4.7-5.8 ไมครอน มีรูปร่างทรงกลม พื้นผิวด้านบนของอนุภาคฝุ่นมีลักษณะหยาบและพบสารเปียกเคลือบบริเวณเส้นใย แผ่นกระดาษกรอง ในขณะที่ระดับชั้นที่ 0.4-0.7 ไมครอน มีลักษณะเป็นผลึก ซึ่งอนุภาคที่มีรูปร่าง ผลึกนี้เมื่อสังเกตจะมีลักษณะคล้ายกับการจับตัวด้วยองค์ประกอบของแร่ธาตุชนิดอื่น โดยลักษณะทาง สัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ของ Romanovski (2020) ที่พบว่าองค์ประกอบของน้ำประปามักพบแร่ธาตุ อาทิ เหล็ก แคลเซียม ซัลเฟต คลอรีน เป็นต้น

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการฉีดพ่นด้วยสารละลาย เพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่ามีลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาค ฝุ่นละอองที่ไม่แน่นอน โดยระดับชั้นที่ 4.7-5.8 ไมครอน มีรูปร่างทรงกลมและทรงรี อนุภาคฝุ่นมี ลักษณะเรียบและพบสารเปียกเคลือบบริเวณเส้นใยแผ่นกระดาษกรอง รวมทั้งมีลักษณะการจับตัวกัน เป็นผลึกและแผ่นที่ระดับชั้น 0.4-0.7 ไมครอน และเมื่อพิจารณาระดับชั้นระหว่างช่วง 1.1-4.7 ไมครอน ลักษณะของอนุภาคฝุ่นสามารถสังเกตได้ชัดเจนว่ามีการเกาะรวมกันระหว่างอนุภาคของฝุ่น ละอองและมีลักษณะการจับตัวเป็นแบบซับซ้อนขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่สารละลายเพคตินมี ประสิทธิภาพในการช่วยลด $PM_{2.5}$ จากคุณสมบัติที่มีความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคของฝุ่น ละอองให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจนมีน้ำหนักและตกลงสู่พื้นได้

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการฉีดยาด้วยสารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่ามีลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองที่ไม่แน่นอนคล้ายคลึงกับลักษณะฝุ่นละอองของการเผาไหม้รูปเปล่า ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปร่างทรงกลมและรี อีกทั้งอนุภาคฝุ่นมีลักษณะหยาบที่ระดับชั้น 0.4-5.8 ไมครอน และพบลักษณะของสารเคลือบที่บริเวณเส้นใยแผ่นกรองที่ระดับชั้น 2.1-5.8 ไมครอน ทั้งนี้ ไม่พบลักษณะการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคของฝุ่นละอองในขณะที่ผลประสิทธิภาพในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสารละลายทวิน-80 มีประสิทธิภาพในการช่วยลด $PM_{2.5}$ โดยสารละลายทวิน-80 เป็นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มไม่มีประจุ ทำให้ความสามารถในการเกาะรวมต่ำเมื่อเทียบกับสารละลายกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นโมเลกุลที่มีขั้วหลากหลาย

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองผ่านการฉีดยาด้วยสารสูตรตำรับ E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองที่ไม่แน่นอนคล้ายคลึงกับลักษณะฝุ่นละอองของการเผาไหม้รูปเปล่า โดยส่วนใหญ่จะพบว่ามีลักษณะทรงกลมและรีที่ระดับชั้น 0.4-5.8 ไมครอน นอกจากนี้ ระดับชั้น 4.7-5.8 ไมครอน พบลักษณะของสารเคลือบที่บริเวณเส้นใยแผ่นกรองเพียงเล็กน้อย และระดับชั้นระหว่าง 1.1-5.7 ไมครอน พบว่ามีลักษณะการเกาะรวมของอนุภาคฝุ่นละอองและมีการจับตัวที่ซับซ้อนมากขึ้นให้เห็นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 13 ลักษณะสัณฐานวิทยาตามการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นผ่านการฉีดยา

สารทดสอบ ขนาดอนุภาค	Water	Pectin	Tween-80	E Solution
4.7-5.8 (μm)				
3.3-4.7 (μm)				
2.1-3.3 (μm)				
1.1-2.1 (μm)				
0.7-1.1 (μm)				
0.4-0.7 (μm)				

การวิเคราะห์การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองจากการฉีดพ่นสารทดสอบและไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ และความเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละออง พบว่าสารละลายเพคติน ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 75 มิลลิลิตร และสารสูตรตำรับ E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเกาะรวมตัวกันระหว่างอนุภาคของฝุ่นละอองและสารดังกล่าวที่ระดับชั้น 0.7-4.7 ไมครอนอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองที่เผาไหม้รูปเปล่าโดยไม่มีการฉีดพ่นสาร ทั้งนี้ลักษณะทางกายภาพดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคด้วยข้อมูลเชิงปริมาณที่พบว่า แนวโน้มการเกาะรวมตัวของอนุภาคด้วยการฉีดพ่นสารละลายเพคตินและสารละลายทวิน-80 ส่วนใหญ่พบที่ระดับชั้น 3.3-4.7 ไมครอน และสารสูตรตำรับ E ส่วนใหญ่พบที่ระดับชั้น 4.7-5.8 ไมครอน แสดงให้เห็นว่าสารดังกล่าวมีความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Blum. (2006) ที่กล่าวถึงการรวมตัวของอนุภาคทำให้เกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและเล็กลงขึ้นอยู่กับสารที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาคและแรงที่กระทำระหว่างอนุภาค อีกทั้งสารละลายเพคตินและสารสูตรตำรับ E เป็นกลุ่มสารพอลิเมอร์ สารละลายทวิน-80 ที่เป็นสารลดแรงตึงผิว บ่งชี้ว่าสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการเพิ่มการเกาะรวมระหว่างอนุภาคได้ดีกว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้หัวข้อ 4.1 ที่ประสิทธิภาพของสารดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลด PM_{2.5} นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของสารทวิน-80 และสารสูตรตำรับมีความใกล้เคียงกับน้ำ แต่เมื่อพิจารณาการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นด้วยข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงกายภาพ บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ของสารดังกล่าวดีกว่าน้ำ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเกาะรวมอนุภาคทำให้อนุภาครวมตัวใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจนและไม่เกิดการฟุ้งกลับของฝุ่นละออง (Resuspension) ในขณะที่การฉีดพ่นละอองด้วยน้ำเปล่ามีความสามารถในการเกาะรวมฝุ่นละอองเช่นเดียวกันกับสารละลายทวิน-80 แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าน้ำมีการระเหยทำให้อนุภาคสามารถฟุ้งกระจายกลับขึ้นไปบนอากาศดังเดิม

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} ของการฉีดพ่นละอองสารเคมี สรุปได้ว่าสารละลายเพคติน สารละลายทวิน-80 และสารสูตรตำรับ เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารรวมตัวระหว่างอนุภาคของสารและฝุ่นละออง โดยสารที่มีประสิทธิภาพในการลด PM_{2.5} สูงสุด คือ สารละลายเพคตินความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (66.2±0.2%) รองลงมาคือ

สารละลายทวิน-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ($53.6 \pm 1.8\%$) และสารสูตรตำหรับ E ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ของสารดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับการวิเคราะห์การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคทั้งในเชิงปริมาณและเชิงกายภาพ ในหัวข้อที่ 4.4 ซึ่งพบว่าสารดังกล่าวมีความสามารถในการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นให้เกิดการเกาะรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับตัวอย่างอนุภาคที่รวบรวมจากการทดสอบด้วยฝุ่นเปล่า (สังเกตได้จากช่วงชั้นขนาด 1.1-5.8 ไมครอน) สารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ และการรวมตัวกันของอนุภาคได้ดีกว่าน้ำ และหัวข้อที่ 4.4 ยังสามารถกล่าวถึงการรวมตัวของน้ำกับอนุภาค ถึงแม้ว่าน้ำมีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ได้ แต่เมื่อพิจารณาลักษณะกายภาพของการรวมตัวกับอนุภาค อาจเป็นไปได้ที่น้ำสามารถรวมตัวกับอนุภาคจนมีน้ำหนักใหญ่ขึ้นได้ในระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อเวลาผ่านไป โมเลกุลน้ำสามารถระเหยกลับได้ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติการเกาะรวมช่วยลด $PM_{2.5}$ ดีกว่าการใช้น้ำและลดโอกาสการฟุ้งกระจายกลับขึ้นสู่บรรยากาศได้ดีอีกด้วย จากผลการศึกษาในหัวข้อ 4.2 อัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินสามารถลด $PM_{2.5}$ ในอัตราที่เร็วกว่าสารละลายทวิน-80 แสดงให้เห็นว่าสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการรวมตัวในระยะเวลาที่แตกต่างกัน หากต้องการเลือกสารที่ลด $PM_{2.5}$ ได้เร็วสารละลายเพคตินจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม นอกจากนี้ สารสูตรตำรับ E ที่พัฒนาสามารถให้ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ได้ดีกว่าน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน และสารสูตรตำรับ D สามารถลด $PM_{2.5}$ ได้เร็วกว่าน้ำเช่นกัน สารสูตรตำรับดังกล่าวนี้เป็นสารกลุ่มพอลิเมอร์เช่นเดียวกับสารเพคติน จึงแสดงให้เห็นว่าสารกลุ่มพอลิเมอร์เป็นสารที่มีคุณสมบัติส่งเสริมการเกาะรวมของอนุภาคได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิว เมื่อพิจารณาค่าความชื้นและอุณหภูมิระหว่างการทดสอบที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จึงไม่กระทบต่อสภาพแวดล้อมหากนำไปใช้งานในพื้นที่จริง อย่างไรก็ตาม การพัฒนาสารตำรับให้มีประสิทธิภาพดีและเหมาะสมกับการใช้งานจริง อาจต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นเพิ่มเติม อาทิ ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสม ขนาดและจำนวนของหัวฉีดพ่น และผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ สารทดสอบในรูปของสารผสม นอกจากนี้ การพัฒนาสารตำรับไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริงซึ่งเป็นพื้นที่ปิดภายในอาคาร ควรคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและสารไบโอพอลิเมอร์ในการลด $PM_{2.5}$ ด้วยการทดสอบการฟุ้งละอองในห้องทดสอบจำลองแบบปิด โดยทำการศึกษาคัดเลือกสารที่มีลักษณะสมบัติในการรวมตัวกับอนุภาคฝุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารดังกล่าวควรมีความปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งออกแบบการทดสอบและวิธีการฉีดพ่นที่เหมาะสมเพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีและปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาในการฉีดพ่นละออง ได้แก่ ชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารและปริมาตรของสาร โดยชนิดของสาร 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายเพคตินเป็นตัวแทนของสารสารไบโอพอลิเมอร์ สารละลายทวิน-80 เป็นตัวแทนของสารลดแรงตึงผิว และสารสูตรตำรับ A-E (A เป็นสารลดแรงตึงผิวและ B-E เป็นสารกลุ่มพอลิเมอร์) ความเข้มข้นของสาร 3 ระดับ คือ ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5% (W/V, V/V) ส่วนปริมาตร 3 ระดับ คือ 75 100 และ 150 มิลลิลิตร ทำการทดสอบโดยมีการเผาไหม้รูปเป็นตัวแทนของแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ทดสอบเป็นระยะเวลา 60 นาที อีกทั้ง ศึกษาอัตราการลดลงของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ หลังจากฉีดพ่นละอองและศึกษาการกระจายตัวตามขนาดและลักษณะสัณฐานวิทยาของการรวมตัวทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ของการทดสอบการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมี ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ด้วยการฉีดพ่นละออง ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด

สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ มากที่สุดตลอดระยะเวลา 60 นาที คือ สารละลายเพคติน ที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($66.2 \pm 0.2\%$) รองลงมาคือ สารละลาย Tween-80 ที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ($55.3 \pm 1.2\%$) สารสูตรตำรับ (E) ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($53.6 \pm 1.8\%$) และน้ำปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($53.2 \pm 1.8\%$) ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ของสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพมากกว่าน้ำคิดเป็นร้อยละ 13 หรือ 1.24 เท่า และสารละลาย Tween-80 ที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพมากกว่าน้ำคิดเป็นร้อยละ 5.7 หรือ 1.1 เท่า ส่วนสารสูตรตำรับ (E) ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกับน้ำ และเมื่อ

นำค่าประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า สารละลายเพคตินมีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ แตกต่างจากสารเคมีต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) บ่งชี้ว่าการฉีดพ่นละอองด้วยสารละลายเพคตินเป็นสารไบโอพอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และมีความสามารถในการลดปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ได้ดีกว่าการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมีอื่น ๆ ในปริมาตรเดียวกัน และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยรูปแบบ 3^k factorial design พบว่าสารละลายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง (Non-linear Relationship) กล่าวคือ ชนิดของสารเคมีและการเลือกใช้ปริมาตรมีผลต่อประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) ซึ่งสารละลายเพคตินจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเลือกความเข้มข้นและปริมาตรที่อยู่ในช่วงกลางค่อนข้างสูง และปริมาตรในช่วงกลางค่อนข้างต่ำ ซึ่งการเพิ่มปริมาตรและความเข้มข้นไม่ได้มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$)

5.1.2 อัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ หลังจากการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมี สารเคมีที่มีอัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ มากที่สุดในช่วง 12 นาทีแรก คือ สารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{min}$) รองลงมาคือ สารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.1% W/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร ($4.43 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{min}$) น้ำปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ($4.16 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{min}$) และสารสูตรตำรับ D ปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตร ($3.26 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{min}$) ตามลำดับ อัตราการลดลง $PM_{2.5}$ ของสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพมากกว่าน้ำคิดเป็นร้อยละ 0.84 หรือ 1.2 เท่า และสารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพมากกว่าน้ำคิดเป็นร้อยละ 1.77 หรือ 1.7 เท่า ส่วนสารสูตรตำรับ D ปริมาตรที่ 150 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกับน้ำเมื่อเทียบกับที่ปริมาตรเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าสารละลายเพคตินมีคุณสมบัติในการเกาะรวมกับอนุภาคได้เร็วกว่าสารเคมีชนิดอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่าอัตราการลดลงของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายเพคตินไม่แตกต่างกับสารชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$)

5.1.3 การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการฉีดพ่นสารเคมี ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด

สารเคมีที่ส่งผลให้มีการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองที่ใหญ่กว่า PM_{2.5} มากที่สุดตลอดระยะเวลา 60 นาที ได้แก่ สารละลายเพคตินที่ความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร สารละลาย Tween-80 ที่ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร และสารสูตรตำรับ E ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร โดยมีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมตัวกันที่ระดับชั้นอนุภาคขนาด 3.3-5.8 ไมครอน คิดเป็นร้อยละ 42.5, 39.5 และ 68 ตามลำดับ แสดงถึงสารละลายเพคตินและสารสูตรตำรับที่เป็นสารพอลิเมอร์ รวมทั้งสารละลาย Tween-80 ที่เป็นสารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติเป็นสารเกาะรวมกับอนุภาคฝุ่นละอองส่งผลทำให้มีขนาดและน้ำหนักอนุภาคมากขึ้น

5.14 ลักษณะการรวมตัวทางกายภาพของอนุภาคฝุ่น หลังการฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมี ในห้องทดสอบจำลองแบบปิด

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการฉีดพ่นละอองด้วยสารละลายเพคตินความเข้มข้น 0.5% W/V ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร สารละลาย Tween-80 ความเข้มข้น 0.1% V/V ปริมาตรที่ 75 มิลลิลิตร และสารสูตรตำรับ E ปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร มีผลทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นและใหญ่กว่าขนาด PM_{2.5} โดยพบที่ระดับชั้นอนุภาคขนาด 4.7-5.8 ไมครอนอย่างชัดเจน บ่งชี้ว่าสารละลายเพคติน สารละลาย Tween-80 และสารสูตรตำรับ E เป็นสารที่มีความสามารถในการรวมตัวระหว่างอนุภาคที่ทำให้มีขนาดและน้ำหนักที่ใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การทดสอบครั้งนี้ออกแบบการทดสอบโดยอ้างอิงรูปแบบการใช้งานภายในอาคารเป็นหลัก แต่การนำไปใช้งานจริงควรพิจารณาพื้นที่ที่มีการรองรับน้ำที่เกิดจากการฉีดพ่นละอองของสารดังกล่าว อีกทั้ง ถึงแม้ว่าสารดังกล่าวมีความเป็นมิตรต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากกระบวนการฉีดพ่นสารอาจก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายตัวของผู้ใช้งานภายในอาคาร และการฉีดพ่นสารอาจทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานเกิดความเสียหายและอันตรายได้ จึงควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าในระหว่างการฉีดพ่นและหลีกเลี่ยงการสัมผัสระหว่างทำการฉีดพ่นสารเคมี

2) ควรมีการทำความสะอาดบริเวณพื้นที่การใช้งานหลังจากทำการฉีดพ่น เนื่องจากสารละลายเพคตินมีลักษณะเหนียว ส่วนสารละลาย Tween-80 มีลักษณะที่ลื่น เมื่อทำการฉีดพ่นสารดังกล่าว อาจทำให้เกิดความไม่สะอาดของบริเวณพื้นที่ฉีดพ่นและอาจเกิดอุบัติเหตุได้ จึงควรระมัดระวังในการใช้พื้นที่ดังกล่าวหลังการฉีดพ่นและทำความสะอาดพื้นที่หลังการใช้งาน

3) การใช้สารเคมีในการฉีดพ่นละอองมีประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ดีกว่าการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปน้ำสามารถระเหยและทำให้ฝุ่นเกิดการกลับขึ้นไปในบรรยากาศได้ ดังนั้น การใช้งานฉีดพ่นละอองด้วยสารเคมีจึงมีต้นทุนสูงกว่าการใช้น้ำ จึงควรพิจารณาความคุ้มค่าต่อการนำไปใช้งาน อาทิ หากต้องการลด $PM_{2.5}$ ได้ในระยะเวลาอันสั้น การเลือกใช้สารเพคตินจึงเหมาะสมมากกว่าใช้สาร Tween-80 หรือการใช้น้ำเปล่า เนื่องจากสารเพคตินมีอัตราการลด $PM_{2.5}$ ได้ไวที่สุด

4) การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบสารละลายแบบเดี่ยว จึงสามารถนำสารดังกล่าวนำไปต่อยอดหรือประยุกต์การใช้งานได้ โดยการนำคุณสมบัติของสารมาผสมกันหรือผสมกับสารประเภทอื่น เพื่อต่อยอดความสามารถในการเกาะรวมอนุภาคและประสิทธิภาพในการลด $PM_{2.5}$ ให้มากยิ่งขึ้น และนำสารดังกล่าวประยุกต์ใช้กับพื้นที่ในลักษณะอื่นได้ อาทิ พื้นที่กึ่งเปิดกึ่งปิด พื้นที่โล่ง หรือพื้นที่อุตสาหกรรมต่าง ๆ



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- Al-Gebory, L., & Mengüç, M. P. (2018). The effect of pH on particle agglomeration and optical properties of nanoparticle suspensions. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 219, 46-60.
- Blum, J. (2006). Dust agglomeration. *Advances in Physics*, 55(7-8), 881-947.
- Balakin, B. V., Shamsutdinova, G., & Kosinski, P. (2015). Agglomeration of solid particles by liquid bridge flocculants: pragmatic modelling. *Chemical Engineering Science*, 122, 173-181.
- Bin, H., Yang, Y., Lei, Z., Ao, S., Cai, L., Linjun, Y., & Roszak, S. (2018). Experimental and DFT studies of PM_{2.5} removal by chemical agglomeration. *Fuel*, 212, 27-33.
- Chao, C. Y., & Cheng, E. C. (2002). Source apportionment of indoor PM_{2.5} and PM₁₀ in homes. *Indoor and Built Environment*, 11(1), 27-37.
- Campo, V. L., Kawano, D. F., da Silva Jr, D. B., & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis—A review. *Carbohydrate polymers*, 77(2), 167-180.
- Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*, 45(2), 275-288.
- Canha, N., Martinho, M., Almeida-Silva, M., Freitas, M. d. C., Almeida, S. M., Pegas, P., . . . Sousa, R. (2012). Indoor air quality in primary schools. *International Journal of Environment and Pollution*, 50(1-4), 396-410.
- Chairattanawan, K., & Patthirasinsiri, N. (2020). แหล่งกำเนิด ผลกระทบ และ แนวทาง จัดการ ฝุ่น ละออง PM 2.5 บริเวณ ภาคเหนือ ของ ประเทศไทย. *Journal of the Association of Researchers*, 25(1), 432-446.
- Chang, P., Zhao, Z., Xu, G., Ghosh, A., Huang, J., & Yang, T. (2020). Evaluation of the coal dust suppression efficiency of different surfactants: A factorial experiment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 124686.
- Dockery, D. W., & Pope, C. A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual review of public health*, 15(1), 107-132.

- Ebelt, S. T., Wilson, W. E., & Brauer, M. (2005). Exposure to ambient and nonambient components of particulate matter: a comparison of health effects. *Epidemiology*, 396-405.
- Forouzanfar, M. H., Afshin, A., Alexander, L. T., Anderson, H. R., Bhutta, Z. A., Biryukov, S., . . . Charlson, F. J. (2016). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The lancet*, 388(10053), 1659-1724.
- Geary, D. F. (2001). American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Guideline 12-2000: Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems. *Legionella*, 376-384.
- Goyal, R., & Kumar, P. (2013). Indoor–outdoor concentrations of particulate matter in nine microenvironments of a mix-use commercial building in megacity Delhi. *Air quality, atmosphere & health*, 6(4), 747-757.
- Guo, Y., Zhang, J., Zhao, Y., Wang, S., Jiang, C., & Zheng, C. (2017). Chemical agglomeration of fine particles in coal combustion flue gas: Experimental evaluation. *Fuel*, 203, 557-569.
- He, Y., Gu, Z., Lu, W., Zhang, L., Okuda, T., Fujioka, K., . . . Yu, C. W. (2019). Atmospheric humidity and particle charging state on agglomeration of aerosol particles. *Atmospheric Environment*, 197, 141-149.
- Jinsart, W., Tamura, K., Loetkamonwit, S., Thepanondh, S., Karita, K., & Yano, E. (2002). Roadside Particulate Air Pollution in Bangkok. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 52(9), 1102-1110. doi:10.1080/10473289.2002.10470845
- Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R. T., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., . . . Calle, E. E. (2009). *Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality*: Health Effects Institute Boston, MA.

- Kim, I., Lee, K., Lee, S., & Kim, S. D. (2019). Characteristics and health effects of PM_{2.5} emissions from various sources in Gwangju, South Korea. *Science of the Total Environment*, 696, 133890.
- Kim, J. J., Hann, T., & Lee, S. J. (2019). Effect of flow and humidity on indoor deposition of particulate matter. *Environmental Pollution*, 255, 113263.
- Kim, J. H., & Yeo, M. S. (2020). Effect of flow rate and filter efficiency on indoor PM_{2.5} in ventilation and filtration control. *Atmosphere*, 11(10), 1061.
- Khawgrib, S. (2020). ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในอาคารหอจดหมายเหตุ กรณีศึกษาอาคารหอจดหมายเหตุแห่งชาติ จันทบุรี. *Industrial Technology Journal Surin Rajabhat University*, 5(1), 35-45.
- Kim, J., Kim, J. J., & Lee, S. J. (2020). Efficient removal of indoor particulate matter using water microdroplets generated by a MHz-frequency ultrasonic atomizer. *Building and Environment*, 106797.
- Long, C. M., Suh, H. H., Catalano, P. J., & Koutrakis, P. (2001). Using time-and size-resolved particulate data to quantify indoor penetration and deposition behavior. *Environmental Science & Technology*, 35(10), 2089-2099.
- Lewandowski, K., & Kawatra, S. K. (2009a). Binders for heap leaching agglomeration. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 26(1), 1-24.
- Lewandowski, K., & Kawatra, S. K. (2009b). Polyacrylamide as an agglomeration additive for copper heap leaching. *International Journal of Mineral Processing*, 91(3-4), 88-93.
- Lomboy, M. F. T. C., Quirit, L. L., Molina, V. B., Dalmacion, G. V., Schwartz, J. D., Suh, H. H., & Baja, E. S. (2015). Characterization of particulate matter 2.5 in an urban tertiary care hospital in the Philippines. *Building and Environment*, 92, 432-439.
- Liu, Y., Hu, B., Zhou, L., Jiang, Y., & Yang, L. (2016). Improving the removal of fine particles with an electrostatic precipitator by chemical agglomeration. *Energy & Fuels*, 30(10), 8441-8447.
- Luo, Z., Chen, H., Wang, T., Zhou, D., Lu, M., He, M., . . . Cen, K. (2017). Agglomeration and capture of fine particles in the coupling effect of pulsed corona discharge and acoustic wave enhanced by spray droplets. *Powder technology*, 312, 21-28.

- Li, R., Li, C., Zhuang, J., Zhu, H., Fang, L., & Sun, D. (2020). Mechanistic influence of chemical agglomeration agents on removal of inhalable particles from coal combustion. *ACS*
- Morris, E. R., Rees, D. A., & Robinson, G. (1980). Cation-specific aggregation of carrageenan helices: domain model of polymer gel structure. *Journal of molecular biology*, *138*(2), 349-362.
- omega*, *5*(40), 25906-25912.
- Mukerjee, R., & Wu, C. J. (2007). *A modern theory of factorial design*: Springer Science & Business Media.
- Ma, Y., Jiang, Y., & Li, L. (2015). Numerical simulation of PM_{2.5} distribution in indoor air. *Procedia engineering*, *121*, 1939-1947.
- Maroni, M., Seifert, B., & Lindvall, T. (1995). *Indoor air quality: a comprehensive reference book*: Elsevier.
- Organization, W. H. (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment*. Retrieved from
- Organization, W. H. (2015). Burden of disease from ambient and household air pollution. *World Health Organization, Geneva, Switzerland*.
- Prevention, U. S. E. P. A. O. o. P., & Incorporated, I. (1995). *An introduction to environmental accounting as a business management tool: key concepts and terms*: US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics.
- Pope Iii, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*, *287*(9), 1132-1141.
- Peng, H., Cheng, W., Guo, Y., Xu, C., Guo, C., Ma, Q., . . . Yang, S. (2020). Study on the spray field distribution of the roadway full-section water curtain device and its effect on the settlement of PM_{2.5}. *Process Safety and Environmental Protection*.
- Romanovski, V., Claesson, P., and Hedberg, Y. (2020). Comparison of different surface

- disinfection treatments of drinking water facilities from a corrosion and environmental perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 12704–12716.
- Smith, K. R. (1993). Fuel combustion, air pollution exposure, and health: the situation in developing countries. *Annual Review of Energy and the Environment*, 18(1), 529-566
- Senlin, L., Zhenkun, Y., Xiaohui, C., Minghong, W., Guoying, S., Jiamo, F., & Paul, D. (2008). The relationship between physicochemical characterization and the potential toxicity of fine particulates (PM_{2.5}) in Shanghai atmosphere. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7205-7214.
- Shi, Y., Ji, Y., Sun, H., Hui, F., Hu, J., Wu, Y., . . . Duan, H. (2015). Nanoscale characterization of PM_{2.5} airborne pollutants reveals high adhesiveness and aggregation capability of soot particles. *Scientific reports*, 5, 11232.
- Thornburg, J., Ensor, D., Rodes, C., Lawless, P., Sparks, L., & Mosley, R. (2001). Penetration of particles into buildings and associated physical factors. Part I: model development and computer simulations. *Aerosol Science & Technology*, 34(3), 284-296.
- Tasić, M., Đurić-Stanojević, B., Rajšić, S., Mijić, Z., & Novaković, V. (2006). Physico-Chemical Characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} in the Belgrade Urban Area. *Acta Chimica Slovenica*, 53(3).
- Tang, H., Zhao, L., Sun, W., Hu, Y., and Han, H. (2016). Surface characteristics and wettability enhancement of respirable sintering dust by nonionic surfactant. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 509, 323-333.
- Tessum, M. W., and Raynor, P. C. (2017). Effects of Spray Surfactant and Particle Charge on Respirable Coal Dust Capture. *Safety and Health at Work*, 8(3), 296-305.
- Tran, V. V., Park, D., & Lee, Y.-C. (2020). Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality.

- International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2927.
- Tucker, W. G. (2000). An overview of PM_{2.5} sources and control strategies. *Fuel Processing Technology*, 65, 379-392.
- Weschler, C. J., & Shields, H. C. (1997). Potential reactions among indoor pollutants. *Atmospheric Environment*, 31(21), 3487-3495.
- Wang, C., Chin, Y. F., & Tong, G. (2011). The effect of cationic surfactants on xerographic toner agglomeration under alkaline pulping condition. *BioResources*, 6(4), 3638-3655.
- Wang, S., Zhou, C., Wang, Z., Feng, K., & Hubacek, K. (2017). The characteristics and drivers of fine particulate matter (PM_{2.5}) distribution in China. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1800-1809.
- Wang, P., Tan, X., Zhang, L., Li, Y., & Liu, R. (2019). Influence of particle diameter on the wettability of coal dust and the dust suppression efficiency via spraying. *Process Safety and Environmental Protection*, 132, 189-199.
- Wang, P., Han, H., Tian, C., Liu, R., & Jiang, Y. (2020). Experimental study on dust reduction via spraying using surfactant solution. *Atmospheric Pollution Research*.
- Xu, G., Chen, Y., Eksteen, J., & Xu, J. (2018). Surfactant-aided coal dust suppression: a review of evaluation methods and influencing factors. *Science of the Total Environment*, 639, 1060-1076.
- Xia, T., and Chen, C. (2020). Toward understanding the evolution of incense particles on nanofiber filter media: Its influence on PM_{2.5} removal efficiency and pressure drop. *Building and Environment*, 172.
- Yan, J., Chen, L., & Li, Z. (2016). Removal of fine particles from coal combustion in the combined effect of acoustic agglomeration and seed droplets with wetting agent. *Fuel*, 165, 316-323.
- Zerpa, L. E., Salager, J.-L., Koh, C. A., Sloan, E. D., & Sum, A. K. (2011). Surface chemistry and gas hydrates in flow assurance. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(1), 188-197.



ภาคผนวก ก

การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันทีโดยไม่ฉีดพ่นสารเคมี (ไมโครกรัมต่อ
ลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 14 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันทีโดยไม่ผ่านการฉีดพ่นสารเคมี

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	14	17	15	36	133	138	140
2	14	19	15	37	133	139	140
3	21	96	45	38	134	137	140
4	121	141	118	39	131	135	142
5	166	215	180	40	130	132	142
6	213	221	233	41	132	130	141
7	199	209	225	42	131	131	140
8	192	200	213	43	130	132	144
9	186	190	204	44	130	133	142
10	179	185	197	45	131	131	144
11	175	180	191	46	130	134	145
12	170	179	185	47	132	135	142
13	168	180	179	48	131	132	143
14	168	176	178	49	129	133	140
15	165	174	175	50	128	131	142
16	161	169	170	51	129	134	141
17	160	168	171	52	127	132	145
18	159	166	172	53	127	134	143
19	155	166	169	54	129	132	144
20	156	164	166	55	126	131	142
21	152	161	163	56	129	133	140
22	150	158	160	57	128	135	141
23	148	157	158	58	129	136	144
24	147	154	160	59	128	132	143
25	145	154	157	60	127	134	144
26	142	152	153	61	129	135	142
27	141	151	150	62	128	131	143
28	140	151	151	63	126	132	143
29	139	146	147	64	127	134	142
30	138	146	145	65	126	133	141
31	140	143	146	66	129	131	140
32	135	144	147	67	128	134	141
33	134	142	142	68	126	132	140
34	134	140	140	69	128	134	142
35	133	107	113	70	128	133	141

ภาคผนวก ข

การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยน้ำ (ไมโครกรัมต่อ
ลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 15 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นน้ำเปล่า ปริมาตร 75 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	12	17	23	36	146	161	176
2	11	17	22	37	145	162	178
3	92	117	134	38	142	158	174
4	156	151	240	39	140	154	175
5	242	251	293	40	139	154	168
6	227	244	289	41	137	152	170
7	218	230	276	42	133	149	169
8	208	222	262	43	131	146	163
9	200	214	254	44	131	147	164
10	193	209	251	45	128	146	161
11	187	200	250	46	126	142	161
12	182	192	237	47	124	141	161
13	206	210	236	48	122	140	157
14	222	229	256	49	117	139	157
15	223	227	247	50	120	138	154
16	211	224	244	51	119	136	152
17	211	220	239	52	117	131	151
18	200	213	234	53	115	133	151
19	196	211	230	54	113	134	148
20	191	203	228	55	112	131	145
21	186	201	223	56	110	129	142
22	185	198	217	57	108	129	144
23	180	192	215	58	108	125	143
24	176	189	212	59	105	125	140
25	172	188	206	60	106	125	143
26	170	184	210	61	105	125	136
27	173	181	203	62	106	127	135
28	165	180	197	63	102	123	134
29	163	179	200	64	101	118	133
30	158	173	189	65	100	115	130
31	158	172	192	66	103	114	132
32	154	171	188	67	100	112	130
33	152	170	185	68	100	111	127
34	151	167	185	69	101	110	125
35	146	162	183	70	100	112	125

ตารางที่ 16 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นน้ำเปล่า ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	16	17	27	36	97	105	111
2	14	17	30	37	94	104	107
3	21	41	57	38	92	101	105
4	39	65	72	39	90	99	103
5	63	86	98	40	89	97	100
6	140	146	148	41	86	96	98
7	146	145	149	42	83	94	96
8	139	141	145	43	81	93	94
9	131	140	144	44	82	91	93
10	128	131	141	45	79	89	92
11	123	124	132	46	77	86	90
12	120	123	130	47	76	85	86
13	121	172	168	48	78	84	84
14	164	170	169	49	75	85	82
15	162	158	167	50	74	84	81
16	151	149	158	51	72	83	79
17	144	144	154	52	72	82	76
18	142	140	151	53	68	80	75
19	140	139	148	54	73	79	73
20	138	137	145	55	70	78	72
21	134	135	144	56	67	75	71
22	131	133	140	57	68	74	70
23	129	131	137	58	66	73	69
24	124	129	135	59	65	71	67
25	121	127	131	60	65	70	65
26	119	125	129	61	66	69	64
27	116	124	126	62	66	67	63
28	113	122	124	63	64	65	64
29	111	120	122	64	64	64	66
30	110	117	120	65	63	64	65
31	108	115	118	66	65	64	64
32	104	112	117	67	64	64	62
33	101	111	115	68	66	64	63
34	100	109	114	69	64	65	65
35	98	107	113	70	65	64	63

ตารางที่ 17 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นน้ำเปล่า ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	22	9	25	36	156	150	149
2	22	75	123	37	153	149	145
3	78	148	173	38	150	146	142
4	125	156	167	39	150	145	141
5	150	159	162	40	141	143	139
6	201	198	160	41	143	141	135
7	191	197	150	42	143	142	132
8	187	182	148	43	136	139	131
9	179	174	145	44	134	137	130
10	178	171	144	45	132	135	128
11	173	170	136	46	134	136	126
12	172	168	141	47	131	132	123
13	178	179	192	48	127	132	120
14	231	226	246	49	127	129	119
15	246	249	245	50	126	128	116
16	241	247	241	51	124	124	113
17	239	245	240	52	123	122	111
18	235	243	237	53	119	117	107
19	233	234	232	54	118	117	104
20	231	232	230	55	115	118	103
21	229	229	226	56	116	115	102
22	225	221	221	57	113	112	101
23	215	211	218	58	116	111	96
24	212	208	215	59	110	110	95
25	200	195	211	60	108	108	96
26	192	191	194	61	110	104	99
27	187	188	191	62	110	106	100
28	182	183	181	63	106	105	96
29	183	180	179	64	104	102	92
30	174	178	176	65	103	103	93
31	170	172	172	66	100	101	89
32	166	169	170	67	101	99	89
33	159	156	162	68	101	97	88
34	161	157	158	69	99	95	84
35	160	154	154	70	100	97	85

ภาคผนวก ค

การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยสารเพคติน (ไมโครกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 18 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.05% W/V 75
มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5	10	11	36	99	117	94
2	65	74	61	37	98	114	93
3	123	134	121	38	92	111	91
4	153	157	149	39	92	108	87
5	163	167	156	40	91	106	85
6	155	161	149	41	92	105	84
7	149	158	143	42	89	106	82
8	145	155	141	43	89	103	81
9	140	150	138	44	88	101	80
10	136	144	133	45	87	99	81
11	132	142	131	46	85	97	80
12	128	136	126	47	84	96	78
13	141	154	139	48	82	94	77
14	166	173	161	49	82	92	74
15	163	171	158	50	80	90	75
16	152	166	150	51	80	86	73
17	148	163	145	52	76	87	72
18	144	160	140	53	76	86	71
19	135	159	131	54	75	84	70
20	135	157	130	55	76	85	69
21	135	155	128	56	73	84	67
22	129	151	124	57	75	83	66
23	126	149	121	58	73	81	63
24	123	146	120	59	73	79	64
25	124	142	119	60	72	76	62
26	120	138	116	61	71	75	63
27	118	137	114	62	70	73	62
28	115	136	111	63	69	71	63
29	112	134	110	64	68	70	64
30	112	131	109	65	69	71	63
31	107	130	107	66	67	72	64
32	107	128	102	67	67	71	63
33	104	126	101	68	66	70	63

34	103	124	100	69	65	71	64
35	100	121	98	70	99	117	94

ตารางที่ 19 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.05% W/V 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	10	15	8	36	136	133	133
2	11	17	11	37	135	131	131
3	12	62	14	38	131	130	129
4	119	91	97	39	131	125	128
5	179	167	163	40	132	121	125
6	208	191	189	41	128	119	123
7	198	187	183	42	126	115	122
8	194	184	180	43	122	112	120
9	192	189	178	44	122	110	119
10	181	182	169	45	118	109	118
11	175	171	167	46	118	107	116
12	169	167	164	47	118	105	115
13	166	162	163	48	113	103	112
14	201	197	185	49	112	102	111
15	197	194	184	50	113	103	110
16	194	189	183	51	108	101	107
17	192	186	181	52	109	99	106
18	190	182	178	53	106	97	103
19	185	179	176	54	108	96	102
20	180	175	174	55	107	94	102
21	178	172	173	56	103	95	100
22	172	168	172	57	101	93	98
23	170	166	170	58	99	91	97
24	165	163	169	59	99	90	94
25	165	161	167	60	97	88	93
26	163	160	162	61	96	87	94
27	155	159	158	62	94	88	92
28	154	157	153	63	92	87	90
29	150	153	150	64	92	86	89
30	147	150	149	65	93	85	87
31	146	147	146	66	93	86	84
32	145	142	142	67	88	85	85
33	139	140	141	68	90	86	84
34	140	137	138	69	87	87	86
35	137	134	137	70	85	85	87

ตารางที่ 20 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.05% W/V 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	4	6	8	36	107	121	102
2	11	13	55	37	103	120	103
3	75	82	95	38	101	118	102
4	104	123	131	39	95	117	99
5	172	173	179	40	97	116	97
6	169	169	171	41	92	113	94
7	161	167	166	42	93	109	93
8	155	159	156	43	92	107	91
9	149	156	145	44	89	106	89
10	143	149	141	45	89	105	89
11	137	144	138	46	84	102	89
12	132	141	134	47	85	100	89
13	127	139	141	48	82	101	86
14	151	159	149	49	81	99	84
15	180	191	167	50	77	97	83
16	169	174	162	51	78	95	83
17	166	172	159	52	76	94	79
18	165	171	154	53	75	92	80
19	163	170	150	54	73	89	77
20	153	168	148	55	72	87	76
21	149	164	145	56	71	86	77
22	148	161	141	57	71	84	74
23	146	159	137	58	69	85	74
24	143	157	133	59	67	84	73
25	136	151	131	60	68	83	74
26	132	149	126	61	67	82	72
27	130	147	124	62	68	83	71
28	128	144	123	63	67	82	69
29	126	141	117	64	67	81	69
30	124	138	118	65	69	80	69
31	117	135	114	66	68	79	68
32	117	131	112	67	69	78	67
33	114	129	110	68	67	77	68
34	110	127	106	69	68	78	67
35	108	124	104	70	67	76	68

ตารางที่ 21 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.1% W/V 75

มิลลิกรัม

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	6	4	36	112	136	126
2	34	73	26	37	108	137	123
3	143	159	148	38	103	135	118
4	157	184	176	39	104	134	114
5	208	242	231	40	104	132	112
6	201	232	226	41	102	129	111
7	193	228	219	42	101	129	108
8	181	216	200	43	100	125	103
9	180	206	197	44	101	125	101
10	172	198	194	45	100	123	98
11	168	191	189	46	100	121	99
12	163	186	183	47	99	118	98
13	199	203	197	48	98	117	97
14	187	214	189	49	98	116	98
15	174	205	185	50	97	115	96
16	169	195	182	51	98	112	97
17	162	189	181	52	99	113	99
18	158	183	180	53	98	110	97
19	156	182	179	54	100	109	96
20	154	179	177	55	97	107	98
21	148	180	176	56	96	105	98
22	147	181	174	57	95	105	97
23	143	176	172	58	94	105	98
24	143	173	170	59	92	103	96
25	139	167	161	60	90	105	99
26	134	163	159	61	89	101	98
27	133	161	157	62	87	100	98
28	131	156	153	63	85	100	96
29	130	155	151	64	84	99	97
30	124	151	146	65	83	98	96
31	123	148	142	66	82	97	95
32	122	147	138	67	82	97	95
33	119	143	135	68	81	95	94
34	115	142	131	69	81	94	92
35	115	140	128	70	82	94	93

ตารางที่ 22 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.1% W/V 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	5	4	36	81	80	87
2	8	8	16	37	78	79	86
3	84	10	32	38	79	77	84
4	125	121	128	39	76	75	81
5	135	128	138	40	75	76	80
6	128	127	134	41	72	73	79
7	121	123	129	42	72	71	77
8	119	117	120	43	70	70	77
9	112	111	117	44	69	68	75
10	107	108	115	45	70	69	74
11	103	102	112	46	68	67	73
12	99	97	106	47	67	65	71
13	119	112	122	48	66	63	70
14	148	135	153	49	66	64	69
15	138	131	146	50	64	62	68
16	137	129	139	51	63	61	66
17	133	126	138	52	63	62	65
18	130	124	134	53	61	60	64
19	125	121	131	54	61	58	62
20	122	118	129	55	60	57	63
21	118	116	125	56	60	58	61
22	115	112	123	57	58	56	60
23	113	110	121	58	57	54	60
24	109	106	119	59	56	53	59
25	107	105	117	60	55	52	58
26	103	101	115	61	55	50	59
27	101	99	114	62	54	52	58
28	96	97	111	63	53	51	56
29	96	93	107	64	53	50	55
30	94	91	103	65	53	51	56
31	91	89	97	66	51	50	57
32	90	86	96	67	51	48	55
33	88	84	93	68	51	47	57
34	87	83	91	69	51	48	56
35	82	81	89	70	50	47	55

ตารางที่ 23 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.1% W/V 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5	11	7	36	151	146	151
2	78	88	70	37	150	142	149
3	128	132	119	38	149	141	147
4	173	181	188	39	148	139	145
5	165	173	161	40	147	137	143
6	158	164	158	41	146	136	141
7	151	160	156	42	143	134	140
8	146	154	147	43	142	133	139
9	187	187	188	44	141	132	137
10	168	172	162	45	140	130	135
11	159	164	157	46	141	129	133
12	151	161	146	47	137	128	132
13	219	220	216	48	135	126	131
14	216	217	210	49	133	124	129
15	213	211	206	50	131	123	127
16	209	207	199	51	130	122	125
17	197	205	195	52	127	122	122
18	192	201	188	53	124	121	120
19	187	187	182	54	122	120	118
20	182	182	180	55	121	119	117
21	176	180	178	56	120	117	115
22	174	177	174	57	118	116	115
23	173	175	172	58	115	113	113
24	171	173	171	59	111	111	112
25	170	170	170	60	111	110	111
26	169	168	168	61	108	109	108
27	167	164	167	62	108	107	103
28	164	162	164	63	103	100	100
29	162	160	162	64	98	97	96
30	160	158	161	65	97	95	94
31	159	156	159	66	94	93	93
32	157	153	158	67	91	92	91
33	156	151	154	68	89	93	87
34	153	148	154	69	86	92	84
35	152	147	153	70	86	92	83

ตารางที่ 24 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.5% W/V 75

มิลลิกรัม

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	7	11	16	36	114	133	111
2	41	32	24	37	113	127	107
3	58	55	53	38	112	125	108
4	87	86	65	39	110	122	105
5	111	113	91	40	111	117	104
6	162	159	123	41	110	119	101
7	159	157	156	42	104	117	98
8	153	151	148	43	107	115	96
9	150	148	141	44	106	113	96
10	146	142	138	45	103	109	93
11	144	133	134	46	103	109	92
12	136	132	128	47	103	107	88
13	139	149	127	48	99	104	89
14	182	176	179	49	95	100	85
15	171	208	211	50	93	97	83
16	165	205	201	51	92	95	82
17	160	192	180	52	91	93	81
18	157	178	172	53	90	91	78
19	155	176	162	54	89	89	76
20	151	171	162	55	86	84	74
21	149	166	157	56	85	82	75
22	146	164	156	57	84	80	73
23	142	158	147	58	82	79	71
24	141	155	145	59	76	78	70
25	134	153	139	60	77	76	73
26	135	151	140	61	76	73	72
27	131	150	135	62	74	71	74
28	129	148	130	63	72	70	72
29	129	146	130	64	71	69	71
30	124	144	126	65	70	68	70
31	120	143	122	66	72	69	69
32	122	142	125	67	71	67	73
33	118	140	117	68	72	69	70
34	118	136	114	69	70	71	69
35	117	130	113	70	70	70	68

ตารางที่ 25 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.5% W/V 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	22	27	19	36	136	131	132
2	44	29	32	37	131	129	130
3	147	153	122	38	128	126	129
4	217	189	157	39	129	124	128
5	207	201	196	40	121	122	126
6	203	199	196	41	127	121	124
7	201	197	194	42	124	119	124
8	198	195	192	43	123	118	123
9	197	192	190	44	122	115	122
10	188	184	185	45	118	116	123
11	175	173	181	46	120	114	119
12	201	172	170	47	122	113	117
13	197	184	183	48	121	111	119
14	188	199	196	49	115	108	116
15	184	195	237	50	115	109	112
16	180	191	192	51	112	105	103
17	178	184	182	52	111	104	100
18	174	173	173	53	106	101	98
19	169	168	167	54	100	100	95
20	161	165	159	55	95	97	94
21	160	159	158	56	93	94	91
22	159	157	156	57	89	92	90
23	159	156	157	58	87	90	88
24	161	151	154	59	82	89	85
25	153	150	153	60	79	86	80
26	151	149	149	61	77	83	78
27	151	147	150	62	74	80	74
28	148	146	149	63	71	78	72
29	148	144	143	64	69	75	65
30	142	143	141	65	68	74	64
31	139	140	140	66	67	72	63
32	143	141	143	67	68	70	65
33	142	138	141	68	69	68	66
34	140	137	139	69	67	65	64
35	135	134	137	70	68	67	65

ตารางที่ 26 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารเพคติน 0.5% W/V 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	23	15	29	36	129	144	137
2	46	16	31	37	128	143	137
3	66	67	32	38	130	138	133
4	120	132	130	39	126	136	131
5	160	167	154	40	125	135	130
6	159	169	170	41	123	135	130
7	153	164	165	42	121	133	125
8	146	158	160	43	120	131	124
9	151	156	155	44	118	129	122
10	142	154	153	45	116	127	118
11	138	151	149	46	115	126	120
12	138	146	144	47	111	124	116
13	134	142	141	48	110	123	112
14	161	164	161	49	108	121	112
15	173	189	187	50	106	119	111
16	208	221	230	51	103	117	109
17	186	218	225	52	102	115	107
18	175	193	214	53	98	114	105
19	175	191	213	54	97	112	100
20	174	187	201	55	98	110	99
21	174	185	198	56	94	108	96
22	172	181	189	57	93	106	94
23	173	179	180	58	91	102	90
24	171	177	173	59	90	101	89
25	165	176	172	60	89	97	88
26	167	173	168	61	86	95	87
27	163	167	164	62	85	93	88
28	157	164	157	63	84	90	85
29	156	159	155	64	83	86	86
30	154	156	153	65	85	84	84
31	147	155	150	66	86	85	85
32	149	153	149	67	84	86	84
33	142	150	146	68	85	85	86
34	136	147	143	69	84	86	85
35	130	146	138	70	86	87	86

ภาคผนวก ง

การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยสารทวิน-80

(ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 27 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.05% W/V 75 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5	2	5	36	88	105	110
2	9	11	36	37	88	103	108
3	28	32	54	38	90	101	106
4	43	41	59	39	88	100	104
5	54	56	64	40	87	99	102
6	100	120	126	41	82	98	100
7	134	146	152	42	80	96	99
8	126	132	141	43	82	94	98
9	119	124	131	44	79	92	96
10	117	122	129	45	78	90	94
11	111	116	121	46	76	88	92
12	108	113	118	47	76	86	90
13	104	109	114	48	73	84	89
14	109	114	119	49	73	82	87
15	151	162	166	50	71	80	85
16	141	152	156	51	73	78	83
17	137	148	152	52	71	76	81
18	133	144	148	53	70	74	80
19	132	143	147	54	72	72	78
20	131	142	146	55	70	72	76
21	129	140	144	56	67	72	74
22	124	135	139	57	69	72	73
23	121	132	136	58	66	71	71
24	117	128	132	59	66	71	70
25	113	126	130	60	65	71	68
26	113	125	129	61	65	70	67
27	107	121	125	62	64	70	66
28	107	121	125	63	65	70	65
29	104	118	122	64	62	69	65
30	102	116	120	65	65	68	65
31	102	115	120	66	63	67	65
32	99	113	118	67	63	66	64
33	98	111	116	68	60	65	64

34	93	109	114	69	60	64	63
35	92	107	112	70	60	63	63

ตารางที่ 28 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.05% W/V 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	1	4	3	36	144	145	130
2	11	6	16	37	141	148	127
3	35	21	22	38	142	138	124
4	56	39	29	39	134	143	122
5	76	58	33	40	133	139	122
6	160	129	40	41	134	133	118
7	165	144	69	42	131	132	113
8	160	137	125	43	128	126	117
9	153	129	116	44	126	130	111
10	147	126	111	45	124	120	110
11	146	122	109	46	121	117	109
12	140	117	105	47	118	117	104
13	131	114	104	48	121	117	103
14	159	115	116	49	118	115	103
15	264	207	241	50	118	112	101
16	242	306	270	51	115	111	101
17	223	284	237	52	116	112	98
18	211	254	243	53	113	111	96
19	209	249	221	54	111	107	94
20	197	234	207	55	113	105	92
21	195	227	198	56	111	104	91
22	187	215	181	57	106	100	89
23	182	207	183	58	105	102	88
24	182	200	169	59	105	96	83
25	179	194	171	60	102	96	85
26	173	186	166	61	101	98	83
27	169	179	163	62	98	95	82
28	164	175	155	63	101	92	81
29	161	171	154	64	98	93	80
30	160	168	150	65	99	95	80
31	155	166	142	66	95	93	78
32	154	160	141	67	97	91	77
33	149	156	139	68	95	88	79
34	150	149	134	69	92	91	75
35	143	150	131	70	60	63	63

ตารางที่ 29 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.05% W/V 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	4	7	8	36	141	129	116
2	10	10	15	37	139	127	117
3	17	24	27	38	137	126	112
4	63	52	71	39	133	124	111
5	72	68	79	40	134	122	110
6	126	123	131	41	133	118	107
7	167	167	175	42	127	115	104
8	142	141	152	43	125	110	100
9	130	129	132	44	120	110	101
10	127	124	126	45	121	108	95
11	139	141	140	46	117	105	94
12	142	146	148	47	112	103	94
13	154	152	157	48	114	101	91
14	165	161	163	49	110	99	89
15	250	224	214	50	109	97	88
16	281	238	283	51	107	92	83
17	242	286	263	52	106	92	81
18	235	255	222	53	104	92	79
19	221	224	203	54	102	86	76
20	212	212	200	55	102	84	80
21	219	203	190	56	96	88	77
22	203	194	183	57	99	82	75
23	202	190	177	58	95	81	74
24	187	181	167	59	95	79	74
25	185	179	162	60	92	80	73
26	184	169	158	61	91	79	74
27	175	166	153	62	92	77	70
28	171	164	149	63	89	77	71
29	170	156	143	64	87	77	71
30	165	152	142	65	86	76	69
31	162	149	137	66	85	72	68
32	156	144	132	67	80	73	67
33	149	139	128	68	80	70	65
34	150	138	127	69	80	71	64
35	144	134	122	70	80	71	63

ตารางที่ 30 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.1% W/V 75

มิลลิกรัม

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	6	3	2	36	98	97	97
2	19	6	18	37	95	95	96
3	41	8	49	38	94	95	94
4	68	18	94	39	93	95	93
5	110	48	123	40	92	94	92
6	165	71	138	41	90	91	91
7	158	165	156	42	87	89	90
8	155	164	154	43	87	88	89
9	150	158	151	44	87	86	88
10	142	149	149	45	85	86	87
11	138	144	141	46	86	85	86
12	136	140	136	47	86	85	85
13	131	137	132	48	84	83	85
14	131	134	131	49	84	83	84
15	125	131	130	50	82	83	84
16	127	127	128	51	80	82	83
17	125	125	126	52	80	80	82
18	121	124	123	53	81	79	81
19	121	122	122	54	79	79	80
20	119	122	121	55	77	81	79
21	119	117	119	56	76	79	78
22	116	117	118	57	77	76	77
23	113	118	115	58	76	74	76
24	112	114	114	59	74	75	75
25	111	113	113	60	74	75	75
26	110	112	112	61	74	73	74
27	106	110	111	62	72	73	73
28	105	107	109	63	72	74	72
29	107	104	107	64	72	72	72
30	103	104	106	65	73	74	71
31	102	101	104	66	72	72	70
32	102	103	102	67	72	70	69
33	99	100	101	68	71	70	68
34	98	100	99	69	69	69	67
35	99	98	98	70	68	69	67

ตารางที่ 31 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.1% W/V 100

มิลลิกรัม

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	6	3	5	36	117	128	100
2	13	4	22	37	118	125	99
3	30	5	40	38	116	123	95
4	50	37	54	39	115	120	95
5	70	61	76	40	113	117	94
6	164	83	92	41	109	116	91
7	155	110	134	42	109	115	90
8	148	184	128	43	105	115	90
9	143	181	123	44	103	114	86
10	136	169	120	45	104	110	84
11	134	165	111	46	107	110	84
12	126	159	144	47	102	106	82
13	125	155	187	48	101	107	82
14	131	150	168	49	98	108	78
15	159	160	162	50	96	106	77
16	190	212	153	51	93	103	78
17	181	198	153	52	94	101	77
18	172	187	148	53	92	100	76
19	170	181	145	54	94	100	75
20	169	177	139	55	91	100	74
21	163	170	139	56	87	99	74
22	159	166	134	57	88	97	73
23	151	163	131	58	86	96	72
24	146	156	128	59	86	95	70
25	146	154	122	60	86	93	71
26	145	151	121	61	82	93	69
27	141	149	118	62	82	93	71
28	138	145	113	63	81	90	69
29	134	144	111	64	82	92	68
30	131	142	110	65	81	89	66
31	132	137	110	66	79	88	66
32	126	136	107	67	78	88	65
33	123	135	107	68	78	86	67
34	125	131	103	69	79	88	65
35	121	129	101	70	75	84	63

ตารางที่ 32 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.1% W/V 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5	5	5	36	131	131	134
2	8	41	35	37	130	129	133
3	16	61	56	38	129	128	131
4	62	76	68	39	127	124	130
5	86	94	89	40	126	125	129
6	111	113	111	41	124	119	127
7	186	191	187	42	123	120	126
8	184	189	185	43	121	118	124
9	178	176	179	44	119	117	121
10	175	171	176	45	116	113	119
11	172	168	173	46	114	112	117
12	168	165	169	47	113	112	116
13	226	230	225	48	111	113	114
14	218	212	220	49	109	109	112
15	209	204	211	50	108	110	111
16	206	201	209	51	107	106	110
17	201	187	204	52	104	103	107
18	195	185	198	53	102	104	105
19	183	179	186	54	101	101	104
20	178	175	181	55	100	100	103
21	177	168	179	56	99	101	102
22	171	164	173	57	97	102	102
23	165	163	168	58	95	97	99
24	162	162	165	59	93	97	97
25	159	159	162	60	92	96	96
26	156	156	159	61	90	96	96
27	150	149	153	62	90	91	94
28	149	148	152	63	90	91	93
29	147	148	150	64	89	91	92
30	146	145	149	65	89	90	90
31	139	139	142	66	87	90	90
32	137	138	140	67	87	90	90
33	136	137	139	68	87	90	90
34	135	136	138	69	87	90	90
35	134	132	137	70	87	89	89

ตารางที่ 33 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.5% W/V 75

มิลลิกรัม

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	6	6	9	36	61	75	90
2	7	30	23	37	61	74	88
3	47	63	63	38	58	74	86
4	68	136	103	39	58	73	85
5	114	138	145	40	58	73	84
6	110	132	138	41	57	72	83
7	104	125	129	42	56	71	81
8	99	121	126	43	55	70	82
9	94	117	121	44	55	69	80
10	91	113	118	45	54	67	77
11	86	109	116	46	54	67	74
12	93	116	111	47	52	67	75
13	96	119	132	48	52	66	75
14	89	113	152	49	53	65	75
15	91	112	140	50	51	64	73
16	86	108	137	51	53	65	72
17	86	105	132	52	51	64	71
18	84	101	126	53	52	63	70
19	80	101	120	54	50	62	69
20	78	99	118	55	49	62	67
21	78	96	118	56	49	62	68
22	73	93	115	57	49	62	67
23	75	90	111	58	48	60	68
24	72	90	107	59	47	60	66
25	70	89	109	60	48	61	66
26	70	88	107	61	47	58	64
27	69	86	104	62	48	58	65
28	67	84	101	63	47	57	64
29	65	84	98	64	46	57	64
30	65	82	98	65	46	58	62
31	64	80	96	66	45	56	63
32	63	79	95	67	45	56	60
33	62	79	94	68	44	56	60
34	62	77	93	69	44	55	59
35	62	76	90	70	44	55	59

ตารางที่ 34 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.5% W/V 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	4	7	6	36	153	162	113
2	30	10	7	37	149	162	113
3	55	28	35	38	146	164	109
4	79	65	65	39	145	159	106
5	151	100	115	40	146	151	105
6	168	136	137	41	139	150	105
7	162	241	127	42	140	151	105
8	156	232	125	43	137	145	97
9	149	218	117	44	135	146	98
10	146	206	113	45	132	144	94
11	142	200	107	46	132	138	93
12	138	192	106	47	127	139	90
13	144	191	121	48	128	137	89
14	235	206	198	49	127	136	88
15	287	287	245	50	123	132	88
16	261	316	202	51	124	132	87
17	241	280	203	52	121	128	83
18	237	265	197	53	121	125	83
19	229	261	181	54	116	125	78
20	221	254	176	55	113	126	82
21	219	239	172	56	113	123	79
22	208	225	169	57	111	121	78
23	195	220	164	58	109	119	75
24	187	205	156	59	109	117	76
25	192	203	147	60	106	116	74
26	183	206	144	61	110	115	72
27	177	196	143	62	107	110	71
28	173	187	140	63	105	108	70
29	169	186	137	64	104	110	71
30	168	181	131	65	101	108	69
31	169	175	130	66	100	107	68
32	160	179	124	67	99	105	69
33	164	178	122	68	95	104	68
34	157	174	123	69	95	104	67
35	156	168	118	70	95	102	68

ตารางที่ 35 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารทวิน-80 0.5% W/V 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	5	2	36	162	163	161
2	12	31	17	37	156	160	158
3	31	57	32	38	155	159	157
4	57	86	56	39	151	155	153
5	141	145	139	40	148	151	150
6	159	177	167	41	147	153	147
7	168	176	172	42	144	145	143
8	154	161	160	43	140	142	141
9	146	163	159	44	140	140	138
10	141	159	151	45	134	140	134
11	136	154	149	46	130	133	131
12	132	148	162	47	127	130	130
13	141	160	171	48	124	130	128
14	213	260	256	49	126	130	126
15	246	333	311	50	122	129	124
16	271	295	285	51	119	127	123
17	331	273	273	52	119	125	121
18	338	256	262	53	112	122	120
19	304	243	257	54	114	120	119
20	293	237	246	55	111	121	117
21	278	227	234	56	111	119	115
22	274	221	231	57	105	117	113
23	255	222	228	58	104	115	112
24	242	213	223	59	102	113	109
25	231	208	211	60	102	112	108
26	227	200	207	61	101	113	105
27	212	191	202	62	96	109	101
28	200	189	198	63	96	109	98
29	200	184	186	64	93	111	97
30	191	183	184	65	95	107	96
31	185	178	180	66	94	102	96
32	176	176	175	67	90	104	95
33	171	168	168	68	93	102	94
34	171	166	164	69	91	101	94
35	166	165	162	70	90	100	94

ภาคผนวก จ

การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} แบบอ่านค่าทันทีผ่านการฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ
(ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 36 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ A 75 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	1	3	2	36	76	77	135
2	4	4	2	37	73	74	132
3	11	14	24	38	71	72	129
4	21	29	46	39	71	72	128
5	38	46	60	40	68	69	127
6	74	103	75	41	68	69	124
7	112	105	149	42	68	68	123
8	110	102	147	43	66	67	121
9	105	97	139	44	66	67	118
10	101	91	132	45	64	65	119
11	96	88	130	46	62	63	116
12	93	87	127	47	62	64	118
13	91	83	121	48	62	64	114
14	87	82	146	49	62	63	113
15	83	79	213	50	61	62	113
16	80	75	217	51	61	61	112
17	98	99	214	52	59	60	108
18	134	135	207	53	58	59	110
19	128	129	196	54	56	57	105
20	121	122	190	55	56	57	105
21	118	119	191	56	56	57	107
22	116	117	180	57	55	55	105
23	110	111	178	58	54	56	104
24	108	109	171	59	54	54	104
25	102	103	167	60	54	55	100
26	97	98	161	61	54	55	100
27	96	97	161	62	53	52	99
28	95	96	159	63	53	54	97
29	89	90	155	64	52	53	98
30	85	86	151	65	52	52	95
31	84	86	146	66	51	52	96
32	82	83	148	67	51	52	96
33	82	83	143	68	51	50	93
34	78	79	141	69	50	49	90

35	79	80	142	70	50	48	89
----	----	----	-----	----	----	----	----

ตารางที่ 37 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ A 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	5	3	36	111	112	154
2	2	5	4	37	109	110	148
3	2	5	9	38	111	112	141
4	5	8	18	39	107	108	140
5	10	19	29	40	104	105	134
6	40	40	41	41	97	98	133
7	57	57	57	42	91	92	132
8	101	99	109	43	90	91	129
9	99	94	102	44	87	88	124
10	95	90	99	45	89	90	125
11	96	83	94	46	86	87	118
12	92	82	88	47	85	86	115
13	87	79	85	48	82	83	114
14	85	76	83	49	81	82	112
15	106	107	81	50	81	82	109
16	209	210	77	51	79	80	105
17	252	253	76	52	77	78	106
18	207	208	75	53	79	80	102
19	195	196	73	54	78	79	102
20	185	186	87	55	74	75	96
21	175	176	142	56	73	74	97
22	169	170	234	57	73	73	95
23	164	165	301	58	72	73	92
24	155	156	302	59	71	72	89
25	148	149	265	60	70	71	85
26	146	147	235	61	68	69	86
27	143	144	231	62	67	68	87
28	136	137	219	63	67	68	83
29	132	133	201	64	63	64	82
30	130	131	190	65	64	65	76
31	130	131	186	66	64	65	77
32	123	124	174	67	64	63	77
33	118	119	170	68	63	63	74
34	116	117	167	69	63	63	74
35	115	116	162	70	63	63	76

ตารางที่ 38 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ A 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	5	4	36	134	124	128
2	2	5	7	37	135	120	123
3	4	5	8	38	129	119	121
4	22	14	31	39	123	115	120
5	37	29	42	40	104	105	134
6	49	45	58	41	113	109	113
7	61	71	119	42	111	106	104
8	76	120	115	43	108	103	109
9	130	111	110	44	105	97	106
10	127	106	105	45	103	99	105
11	121	103	101	46	100	97	105
12	115	97	96	47	98	96	100
13	114	95	97	48	94	90	98
14	109	93	94	49	97	91	96
15	131	123	125	50	91	88	95
16	211	164	253	51	92	86	92
17	290	270	330	52	88	84	94
18	308	319	341	53	86	84	86
19	261	305	290	54	86	82	89
20	243	248	248	55	84	80	87
21	223	248	237	56	81	80	87
22	218	218	225	57	82	76	85
23	206	219	208	58	80	75	83
24	195	206	192	59	80	74	82
25	186	207	180	60	76	75	82
26	183	194	173	61	74	74	81
27	178	185	160	62	76	73	80
28	168	177	162	63	73	69	79
29	167	168	155	64	71	71	80
30	159	153	149	65	71	71	78
31	159	146	143	66	70	65	76
32	156	142	140	67	70	69	76
33	146	134	136	68	69	66	73
34	150	132	128	69	67	67	74
35	137	126	129	70	66	64	72

ตารางที่ 39 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ B 75 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	4	4	36	141	118	91
2	2	4	5	37	139	115	90
3	17	4	5	38	138	111	89
4	38	9	5	39	134	112	86
5	60	23	17	40	104	105	134
6	136	85	33	41	130	103	87
7	148	105	46	42	129	106	83
8	139	99	66	43	126	102	82
9	137	93	99	44	122	101	81
10	129	88	137	45	122	103	80
11	128	88	130	46	118	103	76
12	123	84	126	47	116	99	76
13	122	81	118	48	119	98	78
14	123	78	116	49	116	97	75
15	202	112	112	50	114	94	76
16	267	217	111	51	113	95	75
17	250	194	127	52	111	94	74
18	231	169	128	53	108	93	72
19	226	168	123	54	109	93	72
20	206	162	121	55	105	90	72
21	206	157	120	56	103	91	70
22	194	152	115	57	102	88	71
23	191	157	113	58	101	86	70
24	181	145	112	59	100	84	68
25	178	144	106	60	99	82	67
26	167	140	105	61	97	83	65
27	164	137	106	62	99	83	66
28	163	135	104	63	97	81	67
29	158	132	103	64	95	82	66
30	160	132	101	65	93	81	65
31	154	130	96	66	96	78	66
32	148	127	96	67	95	77	66
33	149	121	94	68	94	78	65
34	146	122	93	69	89	76	64
35	144	118	91	70	87	76	63

ตารางที่ 40 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ B 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	4	3	3	36	84	82	104
2	4	4	3	37	84	82	103
3	5	17	3	38	82	81	101
4	27	26	3	39	81	80	98
5	51	45	16	40	81	79	92
6	85	52	35	41	81	79	93
7	126	73	54	42	76	78	90
8	121	92	73	43	76	76	93
9	115	113	136	44	75	73	93
10	112	110	148	45	76	74	91
11	105	103	140	46	75	73	89
12	103	101	138	47	74	72	89
13	100	98	133	48	72	70	87
14	96	94	129	49	72	70	87
15	103	101	126	50	71	69	85
16	121	119	139	51	71	69	84
17	127	125	146	52	71	69	85
18	119	117	140	53	70	69	83
19	115	113	136	54	68	67	82
20	112	110	137	55	69	67	82
21	107	105	134	56	68	66	80
22	106	104	130	57	67	65	79
23	105	103	130	58	66	64	78
24	102	100	125	59	64	63	78
25	101	99	119	60	64	62	76
26	99	97	120	61	65	62	78
27	97	95	118	62	66	62	75
28	95	93	116	63	63	61	74
29	95	93	113	64	63	61	74
30	91	89	110	65	63	61	74
31	92	89	109	66	63	61	74
32	91	87	108	67	63	61	74
33	91	89	107	68	62	61	73
34	87	85	105	69	61	60	71
35	85	83	104	70	62	60	70

ตารางที่ 41 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ B 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	4	4	36	67	92	82
2	9	4	4	37	67	92	79
3	27	6	4	38	65	91	79
4	41	22	17	39	64	91	78
5	61	37	36	40	64	86	77
6	107	55	59	41	63	86	76
7	101	136	129	42	62	84	75
8	95	126	125	43	63	85	76
9	90	119	119	44	62	84	75
10	86	125	114	45	60	85	74
11	84	123	110	46	61	81	71
12	80	118	106	47	58	81	72
13	78	115	102	48	58	78	72
14	92	111	101	49	56	75	68
15	99	108	99	50	58	76	69
16	109	116	114	51	55	77	68
17	105	119	120	52	56	75	67
18	99	124	123	53	55	75	66
19	94	124	125	54	55	78	65
20	91	125	124	55	55	76	66
21	90	119	115	56	55	74	65
22	88	119	113	57	55	75	66
23	85	112	101	58	52	74	65
24	82	113	99	59	53	73	64
25	85	109	98	60	52	73	64
26	81	109	95	61	52	71	62
27	78	106	93	62	51	72	63
28	76	106	93	63	51	69	62
29	76	105	89	64	50	67	64
30	75	99	88	65	49	68	62
31	73	99	88	66	49	67	61
32	72	100	85	67	49	67	59
33	70	93	84	68	48	66	58
34	68	95	85	69	48	66	59
35	68	96	83	70	47	66	57

ตารางที่ 42 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ C 75 มิลลิเมตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5	2	2	36	62	74	94
2	6	3	5	37	61	76	97
3	17	23	6	38	60	75	96
4	30	44	8	39	60	72	92
5	70	127	30	40	57	72	93
6	105	124	56	41	58	74	90
7	99	118	86	42	57	73	89
8	94	113	164	43	56	72	89
9	89	110	160	44	57	71	86
10	86	106	152	45	55	69	87
11	81	103	145	46	54	70	89
12	80	102	140	47	53	70	86
13	77	99	133	48	54	68	86
14	76	101	130	49	52	67	84
15	74	101	127	50	53	66	86
16	72	98	125	51	53	68	85
17	74	98	122	52	53	65	79
18	70	94	121	53	53	66	84
19	74	95	126	54	53	63	80
20	72	92	118	55	51	66	79
21	71	90	118	56	52	64	80
22	73	90	119	57	51	62	79
23	70	88	115	58	50	64	76
24	69	88	111	59	49	62	77
25	69	85	110	60	49	63	79
26	68	86	108	61	49	60	75
27	68	84	107	62	49	61	75
28	66	82	107	63	47	60	74
29	65	84	104	64	48	62	75
30	64	82	102	65	47	61	75
31	65	81	101	66	47	60	73
32	62	78	98	67	48	60	73
33	63	77	101	68	46	60	73
34	63	78	98	69	45	60	72
35	61	77	96	70	45	59	71

ตารางที่ 43 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ C 100 มิลลิเมตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	1	2	36	106	101	94
2	5	4	6	37	104	101	91
3	6	8	25	38	104	101	91
4	10	9	47	39	103	99	89
5	19	25	83	40	102	98	89
6	39	44	131	41	101	97	88
7	63	64	123	42	101	95	87
8	165	123	119	43	100	97	87
9	156	148	113	44	94	95	84
10	150	140	108	45	96	93	84
11	147	136	106	46	94	91	82
12	139	130	103	47	97	88	79
13	135	125	99	48	94	90	80
14	130	122	113	49	93	89	79
15	128	115	129	50	91	91	79
16	133	128	125	51	91	88	76
17	138	140	121	52	90	86	78
18	142	138	119	53	90	84	76
19	133	138	118	54	87	85	78
20	130	131	116	55	89	84	76
21	130	133	115	56	89	83	76
22	130	127	111	57	87	83	75
23	127	125	113	58	87	83	75
24	122	121	111	59	86	81	71
25	124	124	104	60	85	78	71
26	121	118	107	61	84	79	70
27	119	117	105	62	84	78	70
28	114	113	102	63	84	77	70
29	112	111	100	64	83	76	70
30	113	111	101	65	79	76	68
31	110	113	98	66	81	73	68
32	112	109	95	67	80	74	69
33	113	107	96	68	77	72	69
34	109	103	93	69	80	73	69
35	104	103	92	70	76	74	68

ตารางที่ 44 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ C 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	1	1	36	99	113	85
2	3	2	3	37	97	109	84
3	5	4	4	38	96	110	80
4	8	5	6	39	97	108	79
5	22	6	12	40	92	109	79
6	40	28	26	41	93	107	80
7	70	51	43	42	92	108	80
8	145	69	100	43	89	102	78
9	137	131	96	44	88	101	77
10	129	173	90	45	90	102	74
11	126	167	84	46	88	100	77
12	122	160	82	47	85	102	75
13	117	153	78	48	86	96	73
14	112	148	78	49	82	96	73
15	112	144	75	50	85	97	72
16	112	143	89	51	82	94	73
17	119	144	111	52	83	96	71
18	128	140	124	53	83	95	67
19	130	142	117	54	80	92	68
20	129	142	112	55	79	93	68
21	127	138	115	56	80	93	67
22	123	135	108	57	79	93	66
23	123	136	112	58	79	87	67
24	115	135	105	59	78	90	65
25	117	129	103	60	76	89	65
26	115	128	102	61	75	86	64
27	111	124	101	62	74	83	64
28	111	125	97	63	76	86	64
29	107	123	96	64	74	87	63
30	103	122	93	65	73	86	61
31	103	122	89	66	73	84	60
32	103	117	89	67	71	82	61
33	102	119	90	68	70	83	60
34	100	117	85	69	68	82	59
35	98	115	85	70	69	81	59

ตารางที่ 45 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ D 75 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	1	2	2	36	62	75	90
2	1	2	2	37	63	76	92
3	2	2	12	38	61	73	91
4	2	2	31	39	61	73	91
5	4	5	68	40	60	74	87
6	20	24	136	41	60	72	87
7	39	56	130	42	60	70	86
8	93	128	125	43	59	68	86
9	96	123	121	44	59	67	83
10	91	115	116	45	59	67	85
11	86	111	113	46	58	68	86
12	82	107	108	47	57	68	83
13	80	102	105	48	57	67	81
14	75	99	117	49	55	66	78
15	72	96	117	50	55	65	78
16	71	97	118	51	56	66	80
17	86	98	119	52	53	65	77
18	82	98	117	53	53	64	78
19	81	96	112	54	53	64	76
20	80	93	112	55	53	63	75
21	79	92	108	56	52	62	76
22	78	88	108	57	52	63	75
23	76	87	104	58	51	62	74
24	74	86	104	59	51	63	75
25	73	86	105	60	51	61	71
26	74	84	104	61	51	60	73
27	71	81	103	62	49	62	71
28	70	81	100	63	49	59	69
29	69	81	99	64	48	59	71
30	68	80	97	65	47	61	70
31	67	77	96	66	47	58	69
32	67	77	96	67	48	57	71
33	66	78	94	68	46	58	69
34	64	77	93	69	47	59	69
35	64	77	91	70	47	56	69

ตารางที่ 46 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ D 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	3	4	2	36	86	61	71
2	5	3	2	37	86	60	68
3	5	3	2	38	85	59	67
4	5	10	1	39	84	60	68
5	10	31	3	40	80	58	66
6	33	45	12	41	80	58	65
7	53	101	25	42	80	57	64
8	130	105	47	43	77	57	63
9	135	97	80	44	78	56	63
10	131	92	126	45	76	55	61
11	124	89	116	46	77	55	63
12	119	85	113	47	76	55	62
13	115	82	105	48	78	54	60
14	111	80	103	49	75	54	60
15	108	78	95	50	76	54	60
16	111	80	95	51	77	54	60
17	110	77	98	52	74	54	60
18	108	82	94	53	74	52	59
19	112	77	93	54	73	53	57
20	110	75	93	55	72	51	57
21	106	74	87	56	70	51	58
22	106	73	85	57	69	50	57
23	100	71	86	58	70	49	57
24	101	70	82	59	69	50	54
25	102	69	81	60	68	48	56
26	100	68	80	61	69	49	54
27	97	69	77	62	69	47	54
28	96	66	78	63	68	48	53
29	95	67	75	64	67	48	53
30	93	65	75	65	65	47	52
31	90	65	71	66	65	48	52
32	91	63	74	67	68	48	54
33	89	63	73	68	67	47	53
34	89	62	73	69	67	46	52
35	89	61	69	70	65	47	52

ตารางที่ 47 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ D 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	3	3	36	101	101	64
2	3	3	4	37	100	100	64
3	5	3	5	38	100	100	63
4	18	11	9	39	97	97	64
5	35	21	20	40	95	95	62
6	47	33	41	41	96	96	62
7	59	57	58	42	97	97	61
8	157	158	112	43	93	93	61
9	151	155	102	44	92	92	61
10	141	148	100	45	91	91	59
11	139	140	94	46	89	89	59
12	138	138	91	47	89	89	59
13	135	135	87	48	87	87	59
14	133	133	81	49	86	86	58
15	124	124	81	50	87	87	57
16	121	121	80	51	85	85	57
17	121	121	80	52	89	89	55
18	120	120	79	53	86	86	56
19	119	119	78	54	85	85	55
20	121	121	78	55	86	86	54
21	119	119	78	56	83	83	54
22	117	117	77	57	85	85	53
23	118	118	77	58	84	84	52
24	115	115	75	59	82	82	55
25	112	112	73	60	81	81	54
26	113	113	73	61	81	81	53
27	111	111	73	62	80	80	53
28	109	109	72	63	80	80	52
29	106	106	70	64	78	78	52
30	106	106	69	65	77	77	50
31	105	105	68	66	77	77	50
32	105	105	68	67	78	78	49
33	103	103	66	68	76	76	49
34	101	101	66	69	75	75	48
35	101	101	66	70	73	73	49

ตารางที่ 48 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ E 75 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	1	2	3	36	75	74	85
2	4	2	3	37	73	75	83
3	20	3	3	38	72	75	83
4	46	10	21	39	71	75	81
5	78	21	35	40	71	73	81
6	136	37	51	41	70	73	78
7	128	123	67	42	69	72	78
8	122	124	136	43	68	71	78
9	115	118	141	44	69	71	77
10	114	114	135	45	69	69	79
11	110	111	129	46	69	70	77
12	105	107	126	47	66	69	76
13	105	103	122	48	66	69	76
14	103	102	116	49	66	68	75
15	101	98	113	50	66	67	74
16	97	97	112	51	65	66	73
17	94	95	109	52	63	68	73
18	93	95	110	53	63	65	72
19	93	93	107	54	64	65	73
20	90	89	103	55	62	66	71
21	89	92	105	56	60	67	71
22	90	89	99	57	61	64	70
23	87	87	100	58	61	65	69
24	86	85	98	59	60	64	69
25	84	86	96	60	60	65	67
26	83	85	95	61	61	63	67
27	81	85	94	62	60	62	66
28	80	81	93	63	59	61	68
29	81	82	92	64	58	61	67
30	77	80	90	65	60	62	66
31	81	79	90	66	58	61	64
32	78	79	88	67	58	61	65
33	76	79	88	68	57	61	65
34	74	76	86	69	57	60	65
35	73	77	85	70	57	59	65

ตารางที่ 49 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ E 100 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	3	3	2	36	75	64	62
2	3	3	3	37	74	63	61
3	3	3	3	38	73	63	61
4	6	6	5	39	72	63	61
5	15	14	13	40	70	62	60
6	27	18	17	41	70	61	59
7	44	37	36	42	69	60	58
8	69	88	87	43	68	61	58
9	122	109	109	44	68	57	56
10	118	104	103	45	68	58	55
11	113	98	97	46	67	58	55
12	108	94	93	47	66	58	54
13	103	91	90	48	66	57	53
14	103	88	86	49	65	57	53
15	99	85	84	50	65	57	53
16	97	84	83	51	65	57	53
17	95	80	79	52	64	56	52
18	92	80	79	53	64	55	52
19	93	78	79	54	64	55	52
20	90	78	77	55	63	55	52
21	89	77	76	56	64	54	51
22	88	76	75	57	64	55	51
23	88	75	73	58	63	54	51
24	87	73	72	59	60	52	51
25	83	72	70	60	61	53	51
26	84	71	71	61	59	52	50
27	82	70	70	62	59	50	50
28	80	70	69	63	59	52	50
29	81	70	69	64	59	50	50
30	79	67	66	65	58	52	49
31	78	68	66	66	58	51	49
32	76	66	65	67	58	50	49
33	76	66	64	68	58	50	49
34	75	65	63	69	59	50	49
35	75	64	62	70	57	50	48

ตารางที่ 50 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ผ่านการฉีดพ่นสารสูตรตำรับ E 150 มิลลิลิตร

เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}			เวลาการทดสอบรายนาที่	ปริมาณความเข้มข้นของ PM _{2.5}		
	การทดสอบ				การทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2	2	3	36	82	85	95
2	3	4	4	37	79	84	93
3	4	4	4	38	79	83	92
4	16	22	25	39	78	82	92
5	36	43	46	40	77	82	91
6	61	81	87	41	76	82	90
7	129	139	143	42	75	81	89
8	125	136	140	43	76	80	89
9	119	129	135	44	75	79	87
10	114	125	131	45	74	79	86
11	110	121	129	46	71	78	85
12	106	115	126	47	72	76	84
13	102	111	122	48	72	75	83
14	100	107	119	49	68	74	82
15	96	103	115	50	69	74	81
16	96	99	111	51	68	72	80
17	105	108	120	52	67	71	79
18	110	113	125	53	66	70	78
19	109	112	124	54	65	69	77
20	108	111	123	55	66	68	76
21	104	109	119	56	65	68	74
22	104	107	117	57	66	67	73
23	101	105	115	58	65	67	71
24	99	101	111	59	64	67	69
25	98	99	109	60	64	67	69
26	95	96	106	61	62	67	69
27	93	94	103	62	63	66	68
28	93	94	101	63	62	66	67
29	89	92	100	64	64	66	67
30	88	91	99	65	62	65	67
31	88	90	98	66	61	65	67
32	85	89	98	67	59	65	67
33	84	89	97	68	58	65	66
34	85	87	97	69	59	64	66
35	83	85	96	70	58	64	66

ตารางที่ 51 ผลการคำนวณค่าปริมาณฝุ่นเริ่มต้นที่แตกต่างกันของสารทุกชุดทดสอบ

สารทุกชุดทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Average	SD	%SD
Control	213	221	233	222.33	10.06	4.52
water 75 ml	153	139	139	143.66	8.08	5.62
water 100 ml	269	158	229	218.66	56.21	25.70
water 150 ml	201	166	158	175.00	22.86	13.06
Pectin 0.05% 75 ml	163	167	156	162.00	5.56	3.43
Pectin 0.05% 100 ml	208	191	189	196.00	10.44	5.32
Pectin 0.05% 150 ml	172	173	179	174.67	3.78	2.16
Pectin 0.1% 75 ml	208	242	231	227.00	17.34	7.64
Pectin 0.1% 100 ml	135	128	138	133.67	5.13	3.83
Pectin 0.1% 150 ml	173	181	188	180.67	7.50	4.15
Pectin 0.5% 75 ml	162	159	156	159.00	3.00	1.88
Pectin 0.5% 100 ml	217	201	196	204.67	10.96	5.35
Pectin 0.5% 150 ml	160	169	170	166.33	5.50	3.31
Tween80 0.05% 75 ml	134	146	152	144.00	9.16	6.36
Tween80 0.05% 100 ml	165	144	125	144.67	20.00	13.83
Tween80 0.05% 150 ml	167	167	175	169.67	4.61	2.72
Tween80 0.1% 75 ml	165	165	156	162.00	5.19	3.20
Tween80 0.1% 100 ml	164	184	134	160.67	25.16	15.66
Tween80 0.1% 150 ml	186	191	187	188.00	2.64	1.40
Tween80 0.05% 75 ml	114	138	145	132.33	16.25	12.28
Tween80 0.05% 100 ml	168	241	127	178.67	57.74	32.31
Tween80 0.05% 150 ml	137	177	172	162.00	21.79	13.45
A 75 ml	110	105	149	121.33	24.09	19.85
A 100 ml	101	99	109	103.00	5.29	5.13
A 150 ml	130	120	119	123.00	6.08	4.94
B 75 ml	148	105	137	130.00	22.33	17.18
B 100 ml	126	113	154	131.00	20.95	15.99
B 150 ml	107	139	129	125.00	16.37	13.09
C 75 ml	105	127	164	132.00	29.81	22.58
C 100 ml	165	148	131	148.00	17.00	11.48
C 150 ml	145	173	100	139.33	36.82	26.43
D 75 ml	96	128	136	120.00	21.16	17.63
D 100 ml	135	105	126	122.00	15.39	12.61
D 150 ml	94	158	112	121.33	33.00	27.20
E 75 ml	136	124	136	132.00	6.92	5.24
E 100 ml	122	109	109	113.33	7.50	6.62
E 150 ml	129	139	143	137.00	7.21	5.26

ภาคผนวก ฉ

การตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของทุกชุดทดสอบ ภายในห้องทดสอบระบบปิด (ไมโครกรั่มต่อลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 52 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นระหว่างสถานะทดสอบของไมเค็ดพ่นสารและฉีดพ่นละอองด้วยน้ำเปล่า

เวลา (นาที)	Control		Water 75 ml		Water 100 ml		Water 150 ml	
	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)
1	28.5	42.9	28.4	42.7	28.8	43.7	28.9	43.3
2	28.5	42.8	28.4	42.8	28.8	43.5	29.0	43.2
3	28.5	42.7	28.3	42.9	28.8	43.2	29.0	43.1
4	28.5	42.7	28.3	42.9	28.8	42.8	29.0	43.0
5	28.5	42.6	28.2	43.0	28.9	42.6	29.0	42.9
6	28.5	42.5	28.2	43.1	28.9	42.3	29.0	42.8
7	28.5	42.5	28.2	43.1	28.9	42.0	29.0	42.7
8	28.5	42.5	28.2	43.3	28.9	41.9	29.0	42.6
9	28.5	42.6	28.2	43.6	28.9	42.3	29.0	42.5
10	28.6	42.6	28.1	43.9	29.0	42.7	29.1	42.4
11	28.6	42.6	28.1	44.2	29.0	43.3	29.1	42.3
12	28.6	42.8	28.1	44.5	29.0	44.3	29.1	42.4
13	28.6	42.9	28.1	44.9	29.0	45.1	29.1	42.6
14	28.6	43.2	28.1	45.3	29.0	45.1	29.1	42.8
15	28.6	43.2	28.1	45.6	29.1	45.1	29.0	43.0
16	28.6	43.2	28.1	46.0	29.1	44.8	29.0	43.2
17	28.6	43.4	28.1	46.4	29.1	44.4	29.0	43.4
18	28.6	43.9	28.1	46.7	29.0	44.0	29.0	43.6
19	28.6	44.1	28.1	46.9	29.1	43.6	29.1	43.8
20	28.7	44.2	28.2	46.8	29.1	43.6	29.1	44.0

21	28.7	45.1	28.2	47.0	29.1	43.8	29.1	44.2
22	28.7	45.2	28.2	47.2	29.1	44.2	29.1	44.4
23	28.7	44.6	28.2	47.3	29.1	44.9	29.1	44.6
24	28.7	43.9	28.2	47.5	29.2	45.6	29.1	44.6
25	28.7	43.2	28.3	47.7	29.2	45.9	29.1	44.7
26	28.7	42.7	28.3	47.8	29.2	45.8	29.1	44.9
27	28.7	42.4	28.4	47.9	29.1	45.5	29.1	45.0
28	28.7	42.2	28.4	48.0	29.1	45.1	29.1	45.1
29	28.7	42.3	28.5	48.1	29.2	44.7	29.1	45.0
30	28.7	42.8	28.5	48.1	29.1	44.3	29.1	44.9
31	28.7	43.9	28.5	48.2	29.1	44.0	29.2	44.7
32	28.6	45.0	28.5	48.2	29.2	43.9	29.2	44.7
33	28.7	46.0	28.5	48.2	29.2	43.6	29.2	44.7
34	28.7	47.2	28.6	48.2	29.2	43.7	29.2	44.6
35	28.7	48.2	28.6	48.2	29.2	43.9	29.2	44.6
36	28.7	49.3	28.5	48.2	29.2	43.7	29.2	44.6
37	28.6	49.5	28.5	48.2	29.2	43.4	29.2	44.6
38	28.6	48.8	28.6	48.2	29.2	43.3	29.2	44.6
39	28.6	47.7	28.6	48.2	29.2	43.1	29.2	44.7
40	28.6	46.5	28.6	48.2	29.2	42.9	29.2	44.8
41	28.6	45.5	28.6	48.2	29.3	42.7	29.2	44.9
42	28.6	44.4	28.6	47.8	29.3	42.5	29.3	45.1
43	28.6	43.3	28.6	47.7	29.3	42.4	29.3	45.2
44	28.5	42.7	28.6	47.6	29.3	42.4	29.3	45.3
45	28.5	42.2	28.6	47.4	29.3	42.3	29.2	45.5
46	28.5	42.9	28.7	47.3	29.3	42.4	29.3	45.6
47	28.5	43.3	28.7	47.1	29.3	42.4	29.3	45.7
48	28.5	43.7	28.6	46.9	29.3	42.5	29.3	45.9

49	28.5	44.1	28.6	46.7	29.4	42.6	29.3	45.9
50	28.6	44.5	28.5	46.5	29.4	42.6	29.3	45.8
51	28.6	44.9	28.5	46.3	29.4	42.7	29.4	45.7
52	28.5	45.3	28.5	46.1	29.4	42.8	29.4	45.6
53	28.5	45.7	28.5	46.0	29.4	42.7	29.4	45.4
54	28.5	46.1	28.5	45.8	29.4	42.6	29.4	45.3
55	28.5	46.2	28.5	45.7	29.4	42.6	29.4	45.2
56	28.5	46.0	28.6	45.6	29.4	42.5	29.4	45.1
57	28.5	45.6	28.6	45.4	29.4	42.4	29.4	45.0
58	28.5	45.3	28.6	45.3	29.4	42.4	29.4	44.9
59	28.5	44.8	28.7	45.2	29.4	42.3	29.5	44.8
60	28.6	44.6	28.7	45.0	29.3	42.2	29.5	44.7

ตารางที่ 53 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุณหภูมิตั้งแต่การทดสอบ สภาวะทดสอบที่สี่พันและองตัวสารละลายภายใต้

เวลา (นาที)	0.05% 75 ml		0.05% 100 ml		0.05% 150 ml		0.1% 75 ml		0.1% 100 ml		0.1% 150 ml		0.5% 75 ml		0.5% 100 ml		0.5% 150 ml	
	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)
1	28.4	42.1	28.6	41.9	28.6	43.7	28.5	44.0	28.6	43.5	28.6	44.5	28.6	42.6	29.7	44.3	29.6	43.9
2	28.4	42.1	28.6	41.8	28.6	43.5	28.5	44.0	28.6	43.5	28.6	44.4	28.6	42.5	29.8	43.9	29.6	43.8
3	28.4	42.0	28.6	41.7	28.6	43.4	28.5	43.9	28.6	43.5	28.6	44.2	28.6	42.4	29.8	43.5	29.6	43.6
4	28.4	41.9	28.7	41.6	28.6	43.3	28.5	43.8	28.6	43.5	28.6	44.1	28.6	42.2	29.7	43.4	29.6	43.5
5	28.4	41.9	28.7	41.5	28.6	43.2	28.5	43.7	28.6	43.4	28.6	44.0	28.6	42.1	29.7	43.2	29.6	43.4
6	28.4	41.8	28.6	41.4	28.6	43.1	28.5	43.6	28.6	43.4	28.6	43.8	28.6	42.0	29.7	43.0	29.6	43.2
7	28.5	41.7	28.6	41.3	28.6	43.0	28.5	43.5	28.6	43.4	28.6	43.7	28.6	41.8	29.7	42.9	29.6	43.1
8	28.5	41.7	28.6	41.2	28.6	42.9	28.6	43.4	28.6	43.3	28.6	43.6	28.6	41.7	29.8	42.8	29.6	43.0

9	28.5	41.6	28.6	42.8	28.5	43.3	28.6	43.3	28.6	43.4	28.6	41.6	29.7	42.6	29.6	42.8
10	28.5	41.5	28.6	42.7	28.5	43.1	28.6	43.3	28.6	43.3	28.6	41.4	29.7	42.5	29.6	42.7
11	28.5	41.5	28.6	42.6	28.5	43.1	28.6	43.2	28.6	43.2	28.6	41.3	29.7	42.4	29.7	42.6
12	28.6	41.4	28.6	42.7	28.6	43.4	28.6	43.2	28.6	43.2	28.6	41.3	29.7	43.6	29.7	42.8
13	28.6	41.5	28.7	42.7	28.6	43.7	28.6	43.4	28.6	43.4	28.6	41.5	29.8	44.2	29.7	43.2
14	28.6	41.8	28.7	43.0	28.6	44.0	28.6	43.5	28.6	43.7	28.6	41.8	29.8	44.1	29.7	43.6
15	28.6	42.0	28.7	43.4	28.6	44.3	28.6	43.8	28.6	44.0	28.6	42.1	29.8	44.0	29.7	44.0
16	28.6	42.2	28.7	43.7	28.6	44.6	28.6	44.1	28.6	44.4	28.6	42.4	29.9	44.0	29.7	44.3
17	28.6	42.5	28.7	44.0	28.6	44.9	28.6	44.4	28.6	44.7	28.6	42.7	29.9	43.9	29.7	44.8
18	28.6	42.9	28.7	44.4	28.7	45.2	28.6	44.7	28.6	45.0	28.6	43.0	29.9	43.8	29.7	45.2
19	28.6	43.2	28.7	44.7	28.7	45.5	28.6	45.1	28.6	45.4	28.6	43.3	29.9	43.9	29.7	45.6
20	28.6	43.5	28.8	45.0	28.7	45.8	28.6	45.3	28.6	45.7	28.6	43.6	29.9	43.8	29.8	46.0
21	28.6	43.9	28.8	45.4	28.7	45.9	28.6	45.6	28.6	46.0	28.6	43.9	30.0	43.8	29.8	46.4
22	28.6	44.1	28.8	45.7	28.7	45.8	28.6	45.9	28.6	46.2	28.6	44.2	30.0	43.6	29.8	46.8
23	28.6	44.3	28.8	46.1	28.7	45.8	28.6	46.2	28.6	46.2	28.6	44.5	30.0	43.9	29.8	47.2
24	28.6	44.5	28.8	45.9	28.7	45.7	28.6	46.5	28.6	46.2	28.6	44.8	30.0	45.2	29.8	47.6
25	28.7	44.3	28.8	45.7	28.7	45.6	28.6	46.8	28.6	46.0	28.6	44.6	30.1	46.3	29.8	48.0
26	28.7	44.1	28.8	45.5	28.7	45.6	28.6	47.1	28.6	45.7	28.6	44.4	30.1	46.8	29.7	47.9
27	28.7	44.0	28.9	45.3	28.7	45.5	28.6	47.4	28.6	45.5	28.6	44.2	30.1	46.7	29.8	47.6
28	28.7	43.8	28.9	45.1	28.7	45.2	28.6	47.7	28.6	45.3	28.6	44.0	30.1	46.2	29.8	47.4
29	28.7	43.6	28.9	44.9	28.7	45.0	28.6	48.0	28.6	45.0	28.6	43.8	30.1	46.9	29.8	47.2
30	28.7	43.5	28.9	44.7	28.7	44.7	28.6	48.3	28.6	44.8	28.6	43.6	30.1	46.6	29.9	47.0
31	28.7	43.3	28.9	44.5	28.7	44.4	28.6	48.5	28.6	44.6	28.6	43.4	30.1	46.3	29.9	46.8
32	28.8	43.2	28.9	44.3	28.7	44.2	28.6	48.6	28.6	44.3	28.6	43.2	30.1	45.9	29.9	46.6
33	28.8	43.0	28.9	44.1	28.7	44.1	28.6	48.5	28.6	44.1	28.6	43.0	30.1	45.4	29.9	46.4
34	28.8	42.8	28.9	44.4	28.8	43.9	28.6	48.4	28.6	43.9	28.6	42.8	30.1	45.0	29.9	46.2
35	28.8	42.7	29.0	44.7	28.8	43.8	28.6	48.3	28.6	43.8	28.6	42.6	30.1	44.5	30.0	46.0
36	28.8	42.5	29.0	45.0	28.8	43.6	28.6	48.0	28.6	44.0	28.6	42.5	30.1	44.0	30.0	45.8

37	28.8	42.3	29.0	44.8	28.6	45.3	28.8	43.4	28.6	47.7	28.6	44.2	28.6	42.6	30.1	44.0	30.0	45.7
38	28.8	42.2	29.0	44.9	28.6	45.6	28.8	43.2	28.6	47.5	28.6	44.6	28.6	42.6	30.1	45.2	30.0	45.5
39	28.8	42.2	29.0	45.0	28.6	45.9	28.8	43.0	28.6	47.2	28.6	44.9	28.6	42.6	30.1	45.4	30.0	45.4
40	28.9	42.1	29.0	45.1	28.6	46.2	28.8	42.8	28.6	46.9	28.6	45.2	28.6	42.6	30.1	45.6	30.0	45.3
41	28.9	42.1	29.1	45.3	28.6	46.2	28.8	42.7	28.6	46.7	28.6	45.3	28.6	42.5	30.1	45.1	30.0	45.2
42	28.9	42.0	29.1	45.4	28.6	46.1	28.9	42.6	28.6	46.5	28.6	45.4	28.6	42.4	30.1	44.8	30.0	45.1
43	28.9	42.0	29.1	45.4	28.6	46.1	28.9	42.4	28.6	46.4	28.6	45.5	28.6	42.3	30.1	44.5	30.0	45.0
44	28.9	42.0	29.1	45.5	28.6	46.1	28.9	42.3	28.6	46.3	28.6	45.4	28.6	42.2	30.1	44.1	30.0	44.9
45	28.9	41.9	29.1	45.6	28.6	45.9	28.9	42.2	28.6	46.1	28.6	45.3	28.6	42.1	30.1	44.6	30.1	44.9
46	28.9	41.9	29.1	45.6	28.6	45.7	28.9	42.1	28.6	46.1	28.6	45.1	28.6	42.0	30.2	44.1	30.1	44.9
47	28.9	41.9	29.1	45.6	28.6	45.5	28.9	42.0	28.6	46.1	28.6	44.9	28.6	42.0	30.2	43.8	30.1	44.9
48	29.0	41.8	29.1	45.4	28.6	45.3	28.9	41.9	28.6	46.2	28.6	44.7	28.6	41.8	30.1	43.6	30.1	44.9
49	29.0	41.8	29.2	45.2	28.6	45.1	29.0	41.8	28.6	46.2	28.6	44.5	28.6	41.7	30.2	43.5	30.1	44.9
50	29.0	41.8	29.2	45.0	28.6	44.9	29.0	41.7	28.6	46.2	28.6	44.3	28.6	41.6	30.1	43.6	30.2	44.9
51	29.0	41.7	29.2	44.8	28.6	44.8	29.0	41.7	28.6	46.1	28.6	44.1	28.6	41.5	30.1	43.9	30.2	44.9
52	29.0	41.7	29.2	44.6	28.6	44.7	29.0	41.6	28.6	46.0	28.6	43.9	28.6	41.5	30.1	44.5	30.2	44.9
53	29.0	41.7	29.2	44.4	28.6	44.6	29.0	41.5	28.6	45.9	28.6	43.7	28.6	41.5	30.1	44.4	30.2	44.8
54	29.0	41.6	29.2	44.2	28.6	44.5	29.0	41.4	28.6	45.8	28.6	43.5	28.6	41.5	30.1	43.9	30.2	44.6
55	29.1	41.5	29.2	44.0	28.6	44.3	29.0	41.3	28.6	45.7	28.6	43.3	28.6	41.4	30.1	43.6	30.2	44.6
56	29.1	41.4	29.2	43.8	28.6	44.1	29.0	41.1	28.6	45.6	28.6	43.1	28.6	41.3	30.1	43.3	30.2	44.5
57	29.1	41.3	29.2	43.6	28.6	44.0	29.0	41.0	28.6	45.5	28.6	42.9	28.6	41.2	30.2	43.0	30.2	44.3
58	29.1	41.2	29.3	43.5	28.6	43.9	29.0	40.9	28.6	45.4	28.6	42.7	28.6	41.1	30.2	42.8	30.3	44.2
59	29.1	41.1	29.3	43.3	28.6	43.7	29.0	40.7	28.6	45.3	28.6	42.6	28.6	41.1	30.3	42.6	30.3	44.2
60	29.1	41.1	29.3	43.1	28.6	43.5	29.0	40.6	28.6	45.2	28.6	42.5	28.6	41.1	30.3	42.8	30.3	44.1

ตารางที่ 54 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุณหภูมิต่างการทดสอบ สภาวะทดสอบที่ฉีดพ่นละอองด้วยสารละลายยาพิน-80

เวลา (นาที)	0.05% 75 ml		0.05% 100 ml		0.1% 75 ml		0.1% 100 ml		0.5% 75 ml		0.5% 100 ml		0.5% 150 ml	
	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)
1	28.5	44.5	28.4	41.3	27.9	41.7	28.4	44.1	28.0	42.7	28.0	43.4	28.3	44.6
2	28.5	44.4	28.4	41.3	27.9	41.7	28.4	44.0	28.0	42.6	28.0	43.2	28.3	44.4
3	28.4	44.3	28.4	41.3	27.9	41.5	28.4	43.9	28.0	42.5	28.0	43.1	28.3	44.3
4	28.4	44.1	28.4	41.2	27.9	41.3	28.4	43.8	28.0	42.4	28.0	42.9	28.3	44.2
5	28.4	44.0	28.5	41.2	27.9	41.0	28.4	43.7	27.9	42.3	27.9	42.7	28.3	44.0
6	28.4	43.9	28.4	41.2	27.9	41.3	28.4	43.6	28.0	42.2	28.0	42.6	28.4	43.9
7	28.4	43.7	28.4	41.1	27.9	42.1	28.4	43.5	28.6	42.4	28.0	42.4	28.4	43.8
8	28.5	43.6	28.4	41.1	28.0	43.3	28.5	43.4	28.1	42.2	28.1	42.2	28.4	43.6
9	28.5	43.5	28.4	41.1	28.0	44.3	28.5	43.3	28.8	42.1	28.1	42.1	28.5	43.5
10	28.5	43.3	28.5	41.0	28.0	45.1	28.5	43.2	28.8	41.9	28.1	41.8	28.5	43.4
11	28.5	43.2	28.5	41.0	28.1	45.5	28.5	43.1	28.8	41.7	28.1	41.7	28.5	43.2
12	28.5	43.1	28.5	41.1	28.1	46.6	28.5	43.0	28.8	41.6	28.1	41.6	28.6	43.1
13	28.5	43.1	28.5	41.3	28.1	47.2	28.5	43.0	28.9	41.7	28.0	41.7	28.6	43.2
14	28.5	43.0	28.5	41.5	28.0	47.4	28.5	43.3	28.9	41.8	28.0	41.9	28.6	43.3
15	28.5	43.2	28.5	41.8	28.0	47.2	28.6	43.6	28.9	41.9	28.0	42.1	28.6	43.6
16	28.5	43.4	28.6	42.1	28.1	47.1	28.5	43.9	28.8	42.1	27.9	42.4	28.6	43.8
17	28.5	43.7	28.6	42.3	28.1	47.1	28.6	44.2	28.8	42.4	27.9	42.7	28.6	44.1
18	28.5	44.0	28.6	42.6	28.1	46.9	28.6	44.5	28.8	42.7	27.9	42.9	28.6	44.4
19	28.5	44.2	28.6	42.9	28.1	46.6	28.6	44.8	28.9	42.9	27.9	43.2	28.6	44.6
20	28.5	44.5	28.6	43.1	28.1	46.4	28.6	45.1	28.9	43.2	28.0	43.5	28.6	44.9
21	28.6	44.8	28.7	43.4	28.2	46.3	28.6	45.4	28.9	43.5	28.0	43.7	28.6	45.2
22	28.6	45.0	28.7	43.7	28.1	46.1	28.6	45.7	29.0	43.7	28.0	44.0	28.6	45.4
23	28.6	45.3	28.7	43.9	28.2	46.0	28.6	46.0	29.0	44.0	28.1	44.3	28.6	45.7

24	28.7	45.6	29.3	45.3	28.7	44.2	28.2	45.9	28.7	46.3	29.0	44.3	28.1	44.5	28.1	46.0	28.7	46.0
25	28.7	45.8	29.3	45.5	28.7	44.5	28.2	45.6	28.7	46.6	29.0	44.5	28.2	44.6	28.2	46.3	28.7	46.2
26	28.7	46.1	29.3	45.4	28.7	44.7	28.3	45.2	28.7	46.9	29.0	44.8	28.2	44.7	28.2	46.4	28.7	46.5
27	28.6	46.3	29.3	45.4	28.8	45.0	28.3	44.9	28.7	47.2	29.0	45.1	28.2	44.7	28.2	46.5	28.7	46.8
28	28.7	46.4	29.4	45.2	28.8	45.3	28.3	44.6	28.7	47.5	29.0	45.3	28.2	44.5	28.2	46.6	28.7	47.0
29	28.7	46.3	29.4	45.1	28.9	45.5	28.4	44.3	28.8	47.8	29.0	45.6	28.2	44.3	28.2	46.5	28.7	47.3
30	28.7	46.3	29.4	44.8	28.9	45.6	28.4	44.1	28.8	48.1	29.0	45.9	28.2	44.1	28.2	46.3	28.7	47.6
31	28.8	46.1	29.4	44.6	28.9	45.5	28.4	44.3	28.8	48.4	29.1	46.1	28.3	43.9	28.3	46.0	28.8	47.8
32	28.8	45.9	29.4	44.4	28.9	45.4	28.4	44.7	28.9	48.2	29.1	46.4	28.3	43.7	28.3	45.8	28.8	48.1
33	28.8	45.7	29.4	44.2	28.9	45.3	28.4	45.0	28.8	48.0	29.1	46.2	28.3	43.5	28.3	45.6	28.8	47.9
34	28.8	45.5	29.4	44.0	28.9	45.2	28.4	45.2	28.8	47.8	29.2	45.9	28.4	43.3	28.4	45.3	28.8	47.7
35	28.8	45.3	29.4	43.9	28.9	45.1	28.4	44.8	28.8	47.6	29.2	45.7	28.4	43.1	28.4	45.1	28.8	47.5
36	28.8	45.1	29.4	43.6	28.9	45.0	28.4	44.4	28.8	47.4	29.2	45.5	28.4	42.9	28.4	44.9	28.8	47.3
37	28.8	44.9	29.4	43.4	28.8	44.9	28.5	44.2	28.8	47.2	29.2	45.2	28.4	42.7	28.4	44.6	28.8	47.1
38	28.8	44.7	29.5	43.2	28.8	44.8	28.5	43.8	28.8	47.0	29.3	45.0	28.5	42.5	28.5	44.4	28.9	46.9
39	28.8	44.5	29.5	43.0	28.9	44.7	28.5	43.6	28.8	46.8	29.3	44.8	28.5	42.3	28.5	44.2	28.9	46.7
40	28.8	44.3	29.5	42.8	28.9	44.7	28.5	43.3	28.8	46.6	29.3	44.5	28.5	42.1	28.5	43.9	28.9	46.5
41	28.8	44.2	29.5	42.6	28.9	44.7	28.5	43.6	28.8	46.4	29.3	44.3	28.5	42.0	28.5	43.7	28.9	46.7
42	28.9	43.9	29.5	42.5	28.9	44.6	28.5	43.9	28.9	46.2	29.3	44.1	28.6	41.9	28.6	43.5	29.0	46.9
43	28.9	43.8	29.5	42.3	28.9	44.5	28.6	44.2	28.9	46.0	29.3	43.8	28.6	41.7	28.6	43.2	29.0	47.1
44	28.9	43.6	29.5	42.2	29.0	44.4	28.6	44.4	28.9	45.8	29.3	43.6	28.6	41.6	28.6	43.0	29.0	47.3
45	28.9	43.5	29.5	42.1	29.1	44.3	28.6	44.1	28.9	45.6	29.3	43.4	28.6	41.5	28.6	42.8	29.0	47.5
46	28.9	43.3	29.5	42.0	29.1	44.2	28.6	43.6	28.9	45.4	29.3	43.1	28.6	41.4	28.6	42.6	28.9	47.7
47	28.9	43.1	29.5	42.0	29.1	44.1	28.6	43.3	28.9	45.3	29.3	42.9	28.6	41.4	28.6	42.5	29.0	47.9
48	28.9	43.0	29.5	41.9	29.1	44.0	28.7	43.3	28.9	45.2	29.3	42.7	28.6	41.3	28.6	42.3	29.0	48.1
49	28.9	42.8	29.5	42.0	29.1	43.9	28.7	43.6	28.9	45.1	29.4	42.4	28.6	41.2	28.6	42.2	29.0	48.3
50	28.9	42.6	29.5	41.9	29.1	43.8	28.7	43.7	28.9	45.1	29.4	42.3	28.6	41.1	28.6	42.0	29.1	48.2
51	28.9	42.5	29.5	41.9	29.1	43.7	28.7	44.0	28.9	45.0	29.5	42.2	28.6	41.0	28.6	42.0	29.1	48.0

52	28.9	42.4	29.5	42.2	29.2	43.6	28.7	43.8	28.9	45.0	29.5	42.1	28.6	40.9	28.6	41.9	29.1	47.9
53	28.9	42.2	29.5	41.9	29.2	43.5	28.7	43.9	28.9	44.9	29.5	42.0	28.6	40.9	28.6	41.9	29.1	47.8
54	28.9	42.2	29.5	41.8	29.2	43.4	28.7	44.0	28.9	44.9	29.5	42.0	28.5	40.9	28.5	41.9	29.1	47.6
55	28.9	42.1	29.5	41.7	29.2	43.3	28.7	44.4	28.9	44.8	29.5	41.9	28.5	40.9	28.5	41.9	29.1	47.5
56	29.0	42.0	29.6	41.7	29.2	43.2	28.7	44.4	28.9	44.7	29.5	41.8	28.5	40.9	28.5	41.9	29.0	47.4
57	29.0	41.8	29.6	41.6	29.2	43.0	28.7	44.2	28.9	44.6	29.5	41.7	28.6	40.9	28.6	41.9	29.0	47.2
58	29.0	41.8	29.6	41.4	29.2	43.0	28.7	43.9	28.9	44.5	29.5	41.7	28.6	40.8	28.6	41.8	29.1	47.1
59	29.0	41.6	29.6	40.7	29.2	42.9	28.7	43.5	28.9	44.4	29.6	41.7	28.6	40.8	28.6	41.7	29.1	47.0
60	29.0	41.5	29.6	40.6	29.2	42.8	28.8	42.9	28.9	44.3	29.6	41.6	28.6	40.8	28.6	41.7	29.1	46.8

ตารางที่ 55 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุณหภูมิระหว่างการทดสอบ สภาวะทดสอบที่ติดไฟและองด้วยสารสูตรตำรับ A-B

เวลา (นาที)	A 75 ml		A 100 ml		A 150 ml		B 75 ml		B 100 ml		B 150 ml	
	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)
1	27.9	42.5	28.6	43.4	29.6	43.5	28.4	43.4	28.4	42.1	28.4	43.0
2	27.9	42.3	28.6	43.2	29.6	43.4	28.4	43.2	28.4	42.0	28.4	43.0
3	27.9	42.2	28.6	43.1	29.6	43.3	28.4	43.1	28.4	41.9	28.4	43.0
4	27.9	42.1	28.6	43.0	29.6	43.2	28.4	43.0	28.4	41.8	28.4	43.0
5	27.9	42.0	28.6	42.8	29.6	43.1	28.4	42.8	28.4	41.7	28.4	43.0
6	27.9	41.9	28.6	42.7	29.6	43.0	28.4	42.7	28.4	41.6	28.4	42.9
7	27.9	41.8	28.6	42.6	29.6	42.9	28.5	42.6	28.5	41.5	28.5	42.8
8	28.0	41.7	28.5	42.4	29.6	42.8	28.5	42.4	28.5	41.4	28.5	42.7
9	28.0	41.6	28.6	42.3	29.6	42.7	28.5	42.3	28.5	41.2	28.5	42.5
10	28.0	41.5	28.5	42.2	29.6	42.6	28.5	42.2	28.5	41.0	28.5	42.4
11	28.1	41.4	28.5	42.0	29.6	42.5	28.5	42.0	28.5	40.9	28.5	42.4

12	28.1	41.3	28.6	42.0	29.6	42.6	28.6	41.9	28.6	40.9	28.6	42.6	28.6	42.6
13	28.1	41.3	28.6	42.1	29.6	42.9	28.6	41.9	28.6	41.0	28.6	42.8	28.6	42.8
14	28.0	41.5	28.6	42.4	29.6	43.1	28.6	41.9	28.6	41.2	28.6	43.1	28.6	43.1
15	28.0	41.6	28.6	42.7	29.7	43.3	28.6	42.1	28.6	41.4	28.6	43.3	28.6	43.3
16	28.1	41.9	28.6	42.9	29.7	43.6	28.6	42.3	28.6	41.6	28.6	43.5	28.6	43.5
17	28.1	42.1	28.5	43.2	29.7	43.8	28.6	42.5	28.6	41.8	28.6	43.8	28.6	43.8
18	28.1	42.4	28.5	43.5	29.7	44.0	28.6	42.7	28.6	42.0	28.6	44.0	28.6	44.0
19	28.1	42.7	28.5	43.7	29.7	44.3	28.6	42.9	28.6	42.2	28.6	44.2	28.6	44.2
20	28.1	42.9	28.6	44.0	29.7	44.5	28.6	43.1	28.6	42.4	28.6	44.5	28.6	44.5
21	28.2	43.2	28.6	44.3	29.8	44.7	28.6	43.3	28.6	42.6	28.6	44.7	28.6	44.7
22	28.1	43.5	28.6	44.5	29.8	45.0	28.6	43.5	28.6	42.8	28.6	44.9	28.6	44.9
23	28.2	43.7	28.6	44.8	29.7	45.2	28.6	43.7	28.6	43.0	28.6	45.2	28.6	45.2
24	28.2	44.0	28.7	45.1	29.7	45.4	28.6	43.9	28.6	43.2	28.6	45.4	28.6	45.4
25	28.2	44.3	28.7	45.3	29.8	45.7	28.7	44.1	28.7	43.4	28.7	45.6	28.7	45.6
26	28.3	44.5	28.7	45.6	29.8	45.9	28.7	44.3	28.7	43.6	28.7	45.9	28.7	45.9
27	28.3	44.8	28.6	45.9	29.8	46.1	28.6	44.5	28.7	43.8	28.7	46.1	28.7	46.1
28	28.3	45.1	28.6	46.1	29.8	46.4	28.6	44.7	28.7	44.0	28.7	46.3	28.7	46.3
29	28.4	45.3	28.7	46.4	29.8	46.6	28.7	44.9	28.7	44.2	28.7	46.6	28.7	46.6
30	28.4	45.6	28.7	46.5	29.8	46.8	28.7	45.1	28.7	44.4	28.7	46.8	28.7	46.8
31	28.4	45.9	28.8	46.7	29.8	46.8	28.8	45.3	28.7	44.6	28.7	47.0	28.7	47.0
32	28.4	46.1	28.8	46.8	29.8	46.8	28.8	45.5	28.8	44.5	28.8	46.9	28.8	46.9
33	28.4	46.4	28.8	46.9	29.8	46.7	28.8	45.7	28.8	44.4	28.8	46.7	28.8	46.7
34	28.4	46.7	28.8	47.1	29.8	46.6	28.8	45.9	28.8	44.3	28.8	46.5	28.8	46.5
35	28.4	46.5	28.8	47.0	29.8	46.4	28.8	45.8	28.8	44.2	28.8	46.4	28.8	46.4
36	28.4	46.4	28.8	46.9	29.9	46.2	28.8	45.6	28.8	44.1	28.8	46.2	28.8	46.2
37	28.5	46.3	28.8	46.8	29.9	46.1	28.8	45.4	28.8	44.0	28.8	46.0	28.8	46.0
38	28.5	46.1	28.9	46.7	29.9	45.9	28.8	45.3	28.8	43.9	28.8	45.9	28.8	45.9
39	28.5	46.0	28.9	46.6	29.9	45.7	28.8	45.1	28.8	43.8	28.8	45.7	28.8	45.7

40	28.5	45.9	28.9	46.5	29.9	45.6	28.9	44.9	28.9	43.7	28.9	45.5
41	28.5	45.7	28.9	46.4	29.9	45.4	28.9	44.8	28.9	43.6	28.9	45.4
42	28.5	45.6	29.0	46.3	29.9	45.2	28.9	44.6	28.9	43.5	28.9	45.2
43	28.6	45.5	29.0	46.2	29.9	45.1	28.9	44.4	28.9	43.4	28.9	45.0
44	28.6	45.3	29.0	46.1	29.9	44.9	28.9	44.3	28.9	43.3	28.9	44.9
45	28.6	45.2	29.0	46.0	29.9	44.7	28.9	44.1	28.9	43.2	28.9	44.7
46	28.6	45.1	28.9	45.9	29.9	44.6	28.9	43.9	28.9	43.1	28.9	44.5
47	28.6	44.9	28.9	45.8	29.9	44.4	28.9	43.8	28.9	43.0	28.9	44.4
48	28.7	44.8	28.9	45.7	29.9	44.2	29.0	43.6	29.0	42.9	29.0	44.2
49	28.7	44.7	29.0	45.6	29.9	44.1	29.0	43.4	29.0	42.8	29.0	44.0
50	28.7	44.5	29.0	45.5	29.9	43.9	29.0	43.3	29.0	42.7	29.0	43.9
51	28.7	44.4	29.0	45.4	29.9	43.7	29.0	43.1	29.0	42.6	29.0	43.7
52	28.7	44.3	29.0	45.3	30.0	43.6	29.0	42.9	29.0	42.5	29.0	43.5
53	28.7	44.1	29.0	45.2	30.0	43.4	29.0	42.8	29.0	42.4	29.0	43.4
54	28.7	44.0	29.1	45.1	30.0	43.2	29.0	42.6	29.0	42.3	29.0	43.2
55	28.7	43.9	29.1	45.0	30.0	43.1	29.1	42.4	29.1	42.2	29.1	43.0
56	28.7	43.7	29.1	44.9	30.0	42.9	29.1	42.3	29.1	42.1	29.1	42.9
57	28.7	43.6	29.1	44.8	30.0	42.7	29.1	42.1	29.1	42.0	29.1	42.7
58	28.7	43.5	29.1	44.7	30.0	42.6	29.1	41.9	29.1	41.9	29.1	42.5
59	28.7	43.3	29.2	44.6	30.0	42.4	29.1	41.8	29.1	41.8	29.1	42.4
60	28.8	43.2	29.1	44.5	30.0	42.2	29.1	41.6	29.1	41.7	29.1	42.2

ตารางที่ 56 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางอุณหภูมิต่อการทดสอบ สภาพแวดล้อมด้วยสารสูตรตำรับ C-E

เวลา (นาที)	C 75 ml		C 100 ml		C 150 ml		D 75 ml		D 100 ml		D 150 ml		E 75 ml		E 100 ml		E 150 ml	
	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้น (%)
1	28.4	43.7	28.4	45.3	28.4	42.3	28.4	43.0	28.4	42.3	28.4	44.0	28.4	43.2	28.4	42.4	28.4	42.7
2	28.4	43.5	28.4	45.1	28.4	42.2	28.4	42.9	28.4	42.1	28.4	43.9	28.4	43.1	28.4	42.3	28.4	42.6
3	28.4	43.4	28.4	44.9	28.4	42.1	28.4	42.8	28.4	42.0	28.4	43.8	28.4	43.1	28.4	42.2	28.4	42.5
4	28.4	43.2	28.4	44.8	28.4	42.1	28.4	42.7	28.4	41.9	28.4	43.6	28.4	43.0	28.4	42.0	28.4	42.4
5	28.4	43.0	28.4	44.6	28.4	42.1	28.4	42.6	28.4	41.7	28.4	43.5	28.4	42.9	28.4	41.9	28.4	42.3
6	28.4	42.9	28.4	44.4	28.4	42.0	28.4	42.5	28.4	41.6	28.4	43.4	28.4	42.8	28.4	41.8	28.4	42.2
7	28.5	42.7	28.5	44.3	28.5	42.0	28.5	42.4	28.5	41.6	28.5	43.2	28.5	42.7	28.5	41.6	28.5	42.1
8	28.5	42.5	28.5	44.1	28.5	42.0	28.5	42.3	28.5	41.5	28.5	43.2	28.5	42.6	28.5	41.5	28.5	42.4
9	28.5	42.4	28.5	43.9	28.5	41.9	28.5	42.2	28.5	41.4	28.5	43.1	28.5	42.5	28.5	41.4	28.5	41.9
10	28.5	42.2	28.5	43.8	28.5	41.8	28.5	42.1	28.5	41.3	28.5	43.0	28.5	42.4	28.5	41.3	28.5	41.5
11	28.5	42.0	28.5	43.6	28.5	41.7	28.5	42.0	28.5	41.2	28.5	42.9	28.5	42.3	28.5	41.2	28.5	41.5
12	28.6	42.0	28.6	43.4	28.6	41.7	28.6	42.1	28.6	41.1	28.6	42.8	28.6	42.2	28.6	41.1	28.6	41.7
13	28.6	42.1	28.6	43.5	28.6	41.9	28.6	42.2	28.6	41.3	28.6	43.0	28.6	42.3	28.6	41.3	28.6	41.9
14	28.6	42.3	28.6	43.8	28.6	42.2	28.6	42.4	28.6	41.6	28.6	43.2	28.6	42.5	28.6	41.5	28.6	42.1
15	28.6	42.6	28.6	44.0	28.6	42.5	28.6	42.7	28.6	41.9	28.6	43.4	28.6	42.8	28.6	41.8	28.6	42.3
16	28.6	42.8	28.6	44.2	28.6	42.7	28.6	42.9	28.6	42.3	28.6	43.6	28.6	43.0	28.6	42.0	28.6	42.5
17	28.6	43.0	28.6	44.5	28.6	43.0	28.6	43.2	28.6	42.6	28.6	43.8	28.6	43.2	28.6	42.2	28.6	42.7
18	28.6	43.3	28.6	44.7	28.6	43.3	28.6	43.5	28.6	42.9	28.6	44.0	28.6	43.5	28.6	42.5	28.6	42.9
19	28.6	43.5	28.6	44.9	28.6	43.5	28.6	43.7	28.6	43.3	28.6	44.2	28.6	43.7	28.6	42.7	28.6	43.1
20	28.6	43.7	28.6	45.2	28.6	43.8	28.6	44.0	28.6	43.6	28.6	44.4	28.6	43.9	28.6	42.9	28.6	43.3
21	28.6	44.0	28.6	45.4	28.6	44.1	28.6	44.3	28.6	43.9	28.6	44.6	28.6	44.2	28.6	43.2	28.6	43.5

22	28.6	44.2	28.6	45.6	28.6	44.3	28.6	44.5	28.6	44.3	28.6	44.4	28.6	43.4	28.6	43.7
23	28.6	44.4	28.6	45.9	28.6	44.6	28.6	44.8	28.6	44.6	28.6	44.6	28.6	43.6	28.6	43.9
24	28.6	44.7	28.6	46.1	28.6	44.9	28.6	45.1	28.6	44.9	28.6	44.9	28.6	43.9	28.6	44.1
25	28.7	44.9	28.7	46.3	28.7	45.1	28.7	45.3	28.7	45.3	28.7	45.1	28.7	44.1	28.7	44.3
26	28.7	45.1	28.7	46.6	28.7	45.4	28.7	45.6	28.7	45.6	28.7	45.3	28.7	44.3	28.7	44.5
27	28.7	45.4	28.7	46.8	28.7	45.7	28.7	45.9	28.7	45.9	28.7	45.6	28.7	44.6	28.7	44.7
28	28.7	45.6	28.7	47.0	28.7	45.9	28.7	45.8	28.7	46.3	28.7	45.8	28.7	44.8	28.7	44.9
29	28.7	45.8	28.7	47.3	28.7	46.2	28.7	45.7	28.7	46.6	28.7	46.0	28.7	45.0	28.7	44.8
30	28.7	45.7	28.7	47.3	28.7	46.5	28.7	45.6	28.7	46.9	28.7	46.3	28.7	45.3	28.7	44.7
31	28.7	45.6	28.7	47.2	28.7	46.7	28.7	45.5	28.7	47.3	28.7	46.5	28.7	45.5	28.7	44.6
32	28.8	45.4	28.8	47.1	28.8	47.0	28.8	45.4	28.8	47.6	28.8	46.7	28.8	45.7	28.8	44.5
33	28.8	45.3	28.8	47.0	28.8	47.3	28.8	45.3	28.8	47.4	28.8	46.6	28.8	45.6	28.8	44.4
34	28.8	45.2	28.8	46.9	28.8	47.5	28.8	45.2	28.8	47.3	28.8	46.4	28.8	45.5	28.8	44.3
35	28.8	45.0	28.8	46.8	28.8	47.4	28.8	45.1	28.8	47.1	28.8	46.2	28.8	45.3	28.8	44.2
36	28.8	44.9	28.8	46.7	28.8	47.3	28.8	45.0	28.8	46.9	28.8	46.1	28.8	45.2	28.8	44.1
37	28.8	44.8	28.8	46.6	28.8	47.1	28.8	44.9	28.8	46.8	28.8	45.9	28.8	45.1	28.8	44.0
38	28.8	44.6	28.8	46.5	28.8	47.0	28.8	44.8	28.8	46.6	28.8	45.7	28.8	44.9	28.8	43.9
39	28.8	44.5	28.8	46.4	28.8	46.9	28.8	44.7	28.8	46.4	28.8	45.6	28.8	44.8	28.8	43.8
40	28.9	44.4	28.9	46.3	28.9	46.7	28.9	44.6	28.9	46.3	28.9	45.4	28.9	44.7	28.9	43.7
41	28.9	44.2	28.9	46.2	28.9	46.6	28.9	44.5	28.9	46.1	28.9	45.2	28.9	44.5	28.9	43.6
42	28.9	44.1	28.9	46.1	28.9	46.5	28.9	44.4	28.9	45.9	28.9	45.1	28.9	44.4	28.9	43.5
43	28.9	44.0	28.9	46.0	28.9	46.3	28.9	44.3	28.9	45.8	28.9	44.9	28.9	44.3	28.9	43.4
44	28.9	43.8	28.9	45.9	28.9	46.2	28.9	44.2	28.9	45.6	28.9	44.7	28.9	44.1	28.9	43.3
45	28.9	43.7	28.9	45.8	28.9	46.1	28.9	44.1	28.9	45.4	28.9	44.6	28.9	44.0	28.9	43.2
46	28.9	43.6	28.9	45.7	28.9	45.9	28.9	44.0	28.9	45.3	28.9	44.4	28.9	43.9	28.9	43.1
47	28.9	43.4	28.9	45.6	28.9	45.8	28.9	43.9	28.9	45.1	28.9	44.2	28.9	43.7	28.9	43.0
48	29.0	43.3	29.0	45.5	29.0	45.7	29.0	43.8	29.0	44.9	29.0	44.1	29.0	43.6	29.0	42.9
49	29.0	43.2	29.0	45.4	29.0	45.5	29.0	43.7	29.0	44.8	29.0	43.9	29.0	43.5	29.0	42.8

50	29.0	43.0	29.0	45.3	29.0	45.4	29.0	43.6	29.0	44.6	29.0	43.8	29.0	43.7	29.0	43.3	29.0	42.7
51	29.0	42.9	29.0	45.2	29.0	45.3	29.0	43.5	29.0	44.4	29.0	43.6	29.0	43.6	29.0	43.2	29.0	42.6
52	29.0	42.8	29.0	45.1	29.0	45.1	29.0	43.4	29.0	44.3	29.0	43.5	29.0	43.4	29.0	43.1	29.0	42.5
53	29.0	42.6	29.0	45.0	29.0	45.0	29.0	43.3	29.0	44.1	29.0	43.3	29.0	43.2	29.0	42.9	29.0	42.4
54	29.0	42.5	29.0	44.9	29.0	44.9	29.0	43.2	29.0	43.9	29.0	43.1	29.0	43.1	29.0	42.8	29.0	42.3
55	29.1	42.4	29.1	44.8	29.1	44.7	29.1	43.1	29.1	43.8	29.1	43.0	29.1	42.9	29.1	42.7	29.1	42.2
56	29.1	42.2	29.1	44.7	29.1	44.6	29.1	43.0	29.1	43.6	29.1	42.8	29.1	42.7	29.1	42.5	29.1	42.1
57	29.1	42.1	29.1	44.6	29.1	44.5	29.1	42.9	29.1	43.4	29.1	42.6	29.1	42.6	29.1	42.4	29.1	42.0
58	29.1	42.0	29.1	44.5	29.1	44.3	29.1	42.8	29.1	43.3	29.1	42.5	29.1	42.4	29.1	42.3	29.1	41.9
59	29.1	41.8	29.1	44.4	29.1	44.2	29.1	42.7	29.1	43.1	29.1	42.3	29.1	42.2	29.1	42.1	29.1	41.8
60	29.1	41.7	29.1	44.3	29.1	44.1	29.1	42.6	29.1	42.9	29.1	42.1	29.1	42.1	29.1	42.0	29.1	41.7



ภาคผนวก ข

ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM_{2.5} (Removal Rate) ของการฉีดพ่นละอองทุกชุด

ทดสอบ

ตารางที่ 57 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM_{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรก โดยไม่ผ่านการฉีดพ่นสาร

สารทดสอบ	เวลาทดสอบ (นาที)	Decreasing Rate	Removal Rate
Control	3	11.56	3.85
	6	7.78	3.22
	9	4.44	2.64
	12	7.33	2.59

ตารางที่ 58 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM_{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่านการฉีดพ่นละอองด้วยน้ำเปล่า

สารทดสอบ	เวลาทดสอบ (นาที)	Decreasing Rate	Removal Rate
Water 75 ml	3	10.22	3.40
	6	6.56	2.79
	9	4.22	2.33
	12	4.22	2.10
Water 100 ml	3	18.81	6.27
	6	10.66	4.91
	9	8.83	4.25
	12	6.667	3.74
Water 150 ml	3	11.44	3.81
	6	7.78	3.20
	9	7.89	3.01
	12	6.33	2.78

ตารางที่ 59 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่าน การฉีดพ่นด้วยสารเพคติน

สารทดสอบ	เวลาทดสอบ (นาที)	Decreasing Rate	Removal Rate
Pectin 0.05% W/V 75 ml	3	14.67	4.88
	6	11.33	4.33
	9	8.67	3.85
	12	7.33	3.51
Pectin 0.05% W/V 100 ml	3	10.00	3.33
	6	7.71	2.94
	9	7.11	2.74
	12	10.67	2.94
Pectin 0.05% W/V 150 ml	3	16	5.33
	6	10.66	4.44
	9	8.33	3.88
	12	10.66	3.80
Pectin 0.1% W/V 75 ml	3	17.67	5.89
	6	9.67	4.56
	9	5.00	3.59
	12	11.67	3.66
Pectin 0.1% W/V 100 ml	3	13.01	4.33
	6	9.33	3.72
	9	8.33	3.40
	12	8.33	3.25
Pectin 0.1% W/V 150 ml	3	10.33	3.44
	6	5.03	2.55
	9	6.67	2.44
	12	5.33	2.27
Pectin 0.5% W/V 75 ml	3	16.00	5.33
	6	12.33	4.72
	9	7.00	3.92
	12	7.00	3.52
Pectin 0.5% W/V 100 ml	3	19.67	6.56
	6	11.02	5.11
	9	9.00	4.40
	12	7.02	3.88
Pectin 0.5% W/V 150 ml	3	10.33	3.44
	6	8.33	3.11
	9	9.33	3.11
	12	5.66	2.80

ตารางที่ 60 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ PM_{2.5} (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่าน
การฉีดพ่นด้วยสารทวิน-80

สารทดสอบ	เวลาทดสอบ (นาที)	Decreasing Rate	Removal Rate
Tween-80 0.05% W/V 75 ml	3	6.88	2.29
	6	6.00	2.14
	9	5.33	2.02
	12	6.44	2.05
Tween-80 0.05% W/V 100 ml	3	10.67	3.55
	6	9.33	3.33
	9	6.33	2.92
	12	7.50	2.81
Tween-80 0.05% W/V 150 ml	3	6.67	2.22
	6	7.78	2.40
	9	7.56	2.44
	12	6.44	2.37
Tween-80 0.1% W/V 75 ml	3	16.11	5.37
	6	10.00	4.35
	9	7.06	3.67
	12	5.00	3.17
Tween-80 0.1% W/V 100 ml	3	11.89	3.96
	6	8.44	3.38
	9	6.89	3.02
	12	6.22	2.78
Tween-80 0.1% W/V 150 ml	3	13.67	4.56
	6	9.67	3.89
	9	7.00	3.37
	12	7.67	3.16
Tween-80 0.5% W/V 75 ml	3	9.44	3.14
	6	8.56	3.00
	9	6.89	2.76
	12	3.78	2.39
Tween-80 0.5% W/V 100 ml	3	12.78	4.25
	6	10.11	3.81
	9	6.33	3.24
	12	9.89	3.26
Tween-80 0.5% W/V 150 ml	3	11.89	3.96
	6	11.22	3.85
	9	7.11	3.35
	12	6.78	3.08

ตารางที่ 61 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ (Removal Rate) ในช่วง 12 นาทีแรกผ่าน การฉีดพ่นด้วยสารสูตรตำรับ A-E

สารทดสอบ	เวลาทดสอบ (นาที)	Decreasing Rate	Removal Rate
A 75 ml	3	8.77	2.92
	6	7.89	2.78
	9	4.67	2.37
	12	5.78	2.25
A 100 ml	3	9.67	3.22
	6	7.56	2.87
	9	4.78	2.44
	12	5.02	2.25
A 150 ml	3	10.01	3.33
	6	9.56	3.25
	9	6.56	2.90
	12	6.56	2.72
B 75 ml	3	5.11	1.70
	6	4.77	1.64
	9	5.55	1.71
	12	2.67	1.50
B 100 ml	3	9.33	3.11
	6	7.11	2.74
	9	6.67	2.56
	12	5.56	2.39
B 150 ml	3	5.44	1.81
	6	11.11	2.75
	9	5.22	2.41
	12	5.01	2.23
C 75 ml	3	12.66	4.22
	6	6.22	3.14
	9	3.33	2.46
	12	3.44	2.13
C 100 ml	3	4.56	1.51
	6	7.22	1.96
	9	5.11	1.87
	12	6.33	1.93
C 150 ml	3	4.88	1.62
	6	5.89	1.79
	9	4.56	1.70

	12	4.67	1.66
D 75 ml	3	5.33	1.78
	6	2.67	1.33
	9	4.01	1.33
	12	3.03	1.25
D 100 ml	3	5.22	1.74
	6	3.44	1.44
	9	3.56	1.35
	12	2.78	1.25
D 150 ml	3	13.11	4.37
	6	9.11	3.70
	9	3.02	2.80
	12	0.88	2.17
E 75 ml	3	11.22	3.74
	6	8.77	3.33
	9	5.56	2.83
	12	4.78	2.52
E 100 ml	3	6.22	2.07
	6	8.88	2.51
	9	5.66	2.30
	12	2.78	1.96
E 150 ml	3	2.67	0.89
	6	7.11	1.62
	9	7.03	1.86
	12	4.44	1.76

ตารางที่ 62 ผลการคำนวณค่าอัตราการลดลงของฝุ่น PM_{2.5} (Removal Rate) ตลอดระยะเวลา 60 นาทีของทุกชุดทดสอบ

สารทดสอบ	จำนวนครั้งการทดสอบ	ความชื้น (k)	R ²
Control	1	0.0755	0.84
	2	0.0741	0.81
	3	0.0712	0.82
water 75 ml	1	0.0674	0.80
	2	0.0691	0.84
	3	0.0662	0.83
water 100 ml	1	0.0811	0.81
	2	0.0824	0.84
	3	0.0817	0.82
water 150 ml	1	0.0766	0.72
	2	0.0788	0.81
	3	0.0764	0.74
Pectin 0.05% 75 ml	1	0.0616	0.84
	2	0.0687	0.74
	3	0.0728	0.81
Pectin 0.05% 100 ml	1	0.0605	0.76
	2	0.0663	0.87
	3	0.0626	0.74
Pectin 0.05% 150 ml	1	0.0951	0.83
	2	0.0729	0.83
	3	0.0721	0.81
Pectin 0.1% 75 ml	1	0.0858	0.85
	2	0.0801	0.86
	3	0.0862	0.90
Pectin 0.1% 100 ml	1	0.0816	0.71
	2	0.0668	0.84

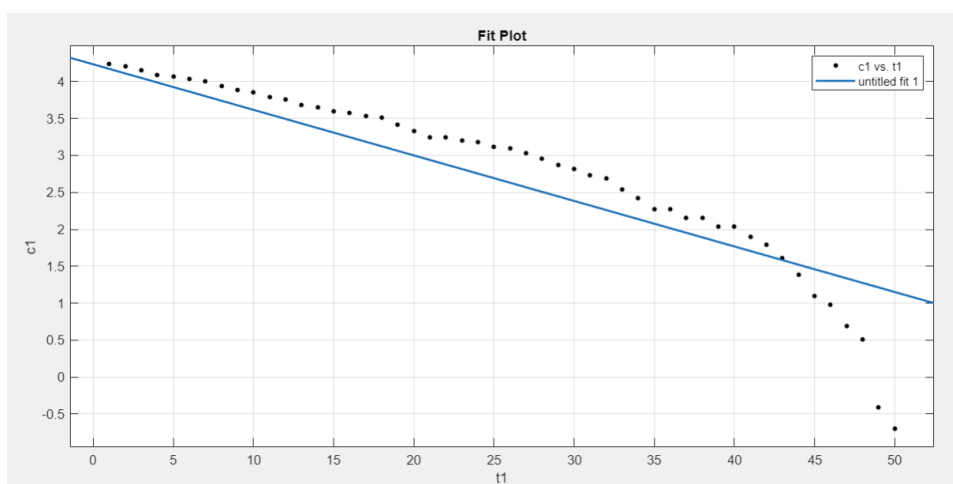
	3	0.0870	0.83
Pectin 0.1% 150 ml	1	0.0435	0.57
	2	0.0585	0.66
	3	0.0441	0.67
Pectin 0.5% 75 ml	1	0.0633	0.74
	2	0.0940	0.70
	3	0.0837	0.89
Pectin 0.5% 100 ml	1	0.0810	0.61
	2	0.0858	0.69
	3	0.0898	0.63
Pectin 0.5% 150 ml	1	0.0889	0.83
	2	0.0741	0.69
	3	0.0861	0.77
Tween-80 0.05% 75 ml	1	0.0604	0.92
	2	0.0688	0.84
	3	0.0744	0.79
Tween-80 0.05% 100 ml	1	0.0723	0.79
	2	0.0789	0.79
	3	0.0747	0.86
Tween-80 0.05% 150 ml	1	0.0762	0.76
	2	0.0739	0.81
	3	0.0768	0.84
Tween-80 0.1% 75 ml	1	0.0793	0.90
	2	0.0721	0.86
	3	0.0768	0.82
Tween-80 0.1% 100 ml	1	0.0765	0.76
	2	0.0626	0.87
	3	0.0723	0.84
Tween-80 0.1% 150 ml	1	0.0657	0.83
	2	0.0667	0.81

	3	0.0654	0.80
Tween-80 0.5% 75 ml	1	0.0514	0.94
	2	0.0577	0.88
	3	0.0572	0.83
Tween-80 0.5% 100 ml	1	0.0692	0.77
	2	0.0636	0.82
	3	0.0612	0.84
Tween-80 0.5% 150 ml	1	0.0617	0.80
	2	0.0631	0.80
	3	0.0661	0.75
A 75 ml	1	0.0653	0.73
	2	0.0584	0.81
	3	0.0621	0.74
A 100 ml	1	0.0685	0.84
	2	0.0664	0.81
	3	0.0671	0.82
A 150 ml	1	0.0743	0.73
	2	0.0771	0.87
	3	0.0758	0.76
B 75 ml	1	0.0468	0.84
	2	0.0512	0.81
	3	0.0476	0.76
B 100 ml	1	0.0592	0.88
	2	0.0487	0.82
	3	0.0564	0.84
B 150 ml	1	0.0442	0.80
	2	0.0439	0.81
	3	0.0421	0.76
C 75 ml	1	0.0715	0.75
	2	0.0687	0.81

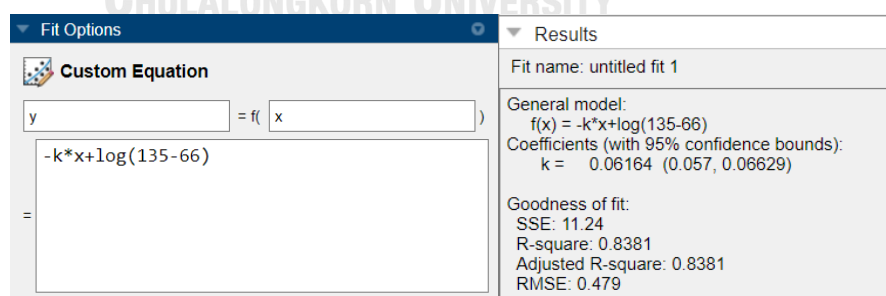
	3	0.0732	0.73
C 100 ml	1	0.0412	0.88
	2	0.0438	0.82
	3	0.0411	0.80
C 150 ml	1	0.0453	0.82
	2	0.0421	0.76
	3	0.0401	0.71
D 75 ml	1	0.0418	0.74
	2	0.0397	0.82
	3	0.0441	0.75
D 100 ml	1	0.0564	0.82
	2	0.0579	0.87
	3	0.0621	0.76
D 150 ml	1	0.0793	0.72
	2	0.0864	0.80
	3	0.0812	0.82
E 75 ml	1	0.0447	0.84
	2	0.0411	0.81
	3	0.0453	0.76
E 100 ml	1	0.0512	0.82
	2	0.0469	0.81
	3	0.0471	0.80
E 150 ml	1	0.0387	0.79
	2	0.0410	0.83
	3	0.0403	0.82

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการลดลงของ $PM_{2.5}$ ตลอดระยะเวลา 60 นาทีของสารทดสอบที่ได้ดัดแปลงจากการศึกษาของ Kim et al. (2020) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- นำค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จากเครื่องตรวจวัดแบบ real-time ที่ได้ทำการคำนวณ moving average เรียบร้อยแล้ว มาคำนวณค่า $\ln(C_{in,ini}-C_{in,ss})$ ในโปรแกรม excel จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการดังกล่าวและเวลาที่ทดสอบ 60 นาที ใส่ข้อมูลในโปรแกรม MATLAB R2022a เพื่อนำมาสร้าง curve fitting (ตัวอย่างการทดสอบของสารเพศดินความเข้มข้น 0.05% ปริมาตร 75 มิลลิลิตร)



- จากนั้นใส่ค่าปริมาณความเข้มข้นก่อนและหลังการทดสอบในสมการที่ดัดแปลงจาก Kim et al. (2020) เพื่อหาค่าความชัน (k) จากสมการดังกล่าว (min^{-1}) และผลของค่าความชันจะถูกนำไปวิเคราะห์สถิติความแปรปรวนสองตัวแปรเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อไป



- นอกจากนี้ จะได้ค่า R^2 ของผลการคำนวณจากสมการดังกล่าว

Table Of Fits							
Fit name	Data	Fit type	R-square	SSE	DFE	Adj R-sq	RMSE
untitled fit 1	c1 vs. t1	-k*x+log(135-66)	0.83806	11.242	49	0.83806	0.47899

ภาคผนวก ก

การกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis

ตารางที่ 63 ผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามการกระจายตัวตามขนาดของอนุภาคฝุ่นละออง

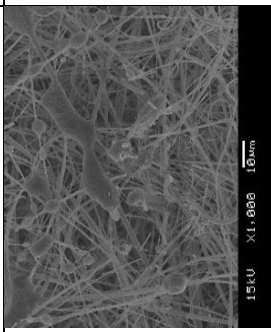
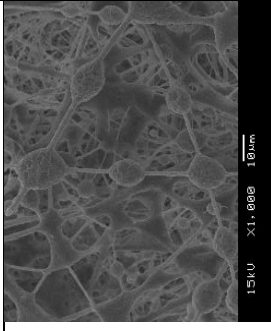
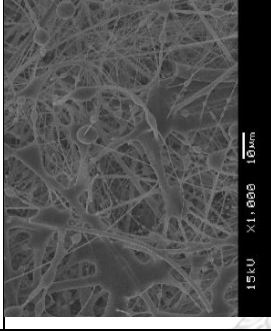
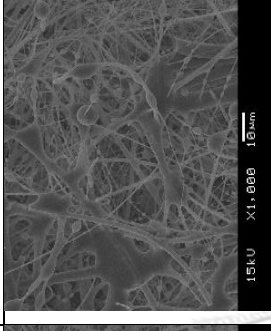
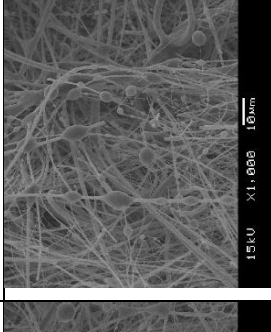
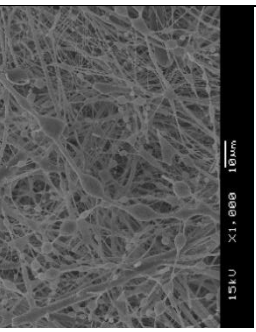
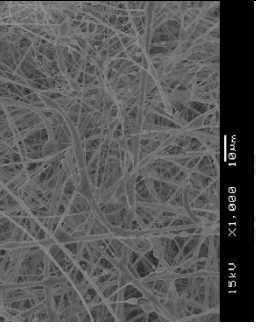
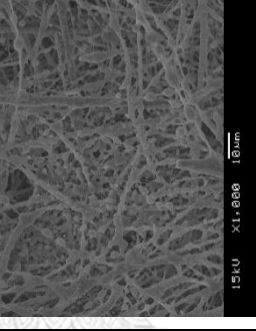
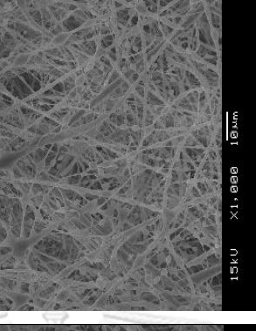
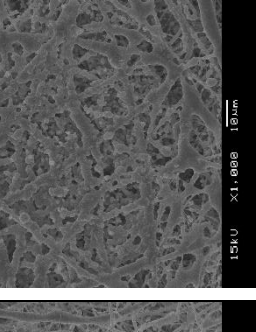
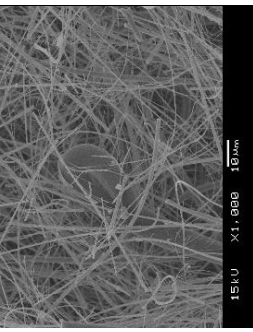
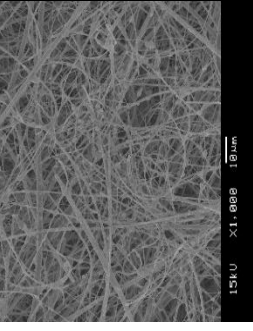
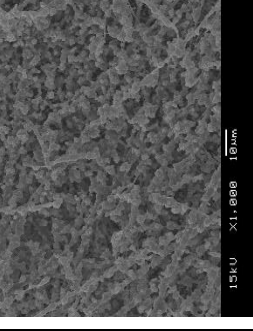
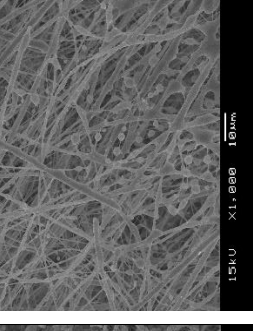
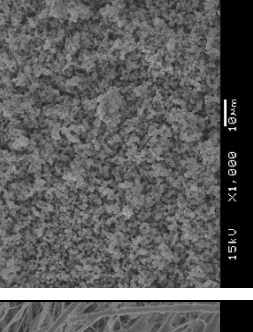
สารทดสอบ	ระดับชั้น (µm)	การทดสอบครั้งที่ 1		การทดสอบครั้งที่ 2		การทดสอบครั้งที่ 3	
		ก่อนซั่ง	หลังซั่ง	ก่อนซั่ง	หลังซั่ง	ก่อนซั่ง	หลังซั่ง
Control	4.7-5.8	276.5537	276.5601	276.5533	276.5608	276.5531	276.5602
	3.3-4.7	274.9797	275.0417	274.9786	275.0411	274.9794	275.0413
	2.1-3.3	276.5618	276.7737	276.5611	276.7736	276.5622	276.7742
	1.1-2.1	275.3044	275.3334	275.3046	275.333	275.3042	275.3335
	0.7-1.1	276.1683	276.254	276.1682	276.2546	276.1686	276.2544
	0.4-0.7	276.4821	276.5331	276.4835	276.5333	276.4829	276.5329
	0.0-0.4	275.6416	275.6482	275.6425	275.6487	275.6421	275.6484
Water	4.7-5.8	278.6983	278.7115	278.6966	278.7112	278.6974	278.711
	3.3-4.7	277.0332	277.0342	277.0331	277.0346	277.0327	277.0342
	2.1-3.3	275.4014	275.4573	275.4032	275.4581	275.4029	275.457
	1.1-2.1	271.8203	272.3277	271.8204	272.327	271.8206	272.3271
	0.7-1.1	278.701	278.7665	278.7021	278.7658	278.7014	278.7662
	0.4-0.7	273.4452	273.5188	273.445	273.5176	273.4446	273.518
	0.0-0.4	276.8296	276.8504	276.8297	276.8502	276.8276	276.8503
Pectin	4.7-5.8	274.3845	274.6297	274.3832	274.6291	274.3851	274.6301
	3.3-4.7	276.552	277.2845	276.5511	277.284	276.5505	277.2841
	2.1-3.3	275.8772	276.253	275.8761	276.2526	275.8768	276.2535
	1.1-2.1	274.7011	275.35	274.7004	275.3499	274.7013	275.3497
	0.7-1.1	275.6233	275.7635	275.6321	275.763	275.6337	275.7639
	0.4-0.7	272.4041	272.5527	272.4032	272.552	272.4044	272.5523
	0.0-0.4	276.6425	276.6767	276.6416	276.6774	276.6421	276.6276
Tween n-80	4.7-5.8	276.4747	276.538	276.4752	276.5382	276.4741	276.5376
	3.3-4.7	274.5714	274.7359	274.5709	274.7356	274.5711	274.7349
	2.1-3.3	274.5812	274.6548	274.5826	274.6549	274.5823	274.6551
	1.1-2.1	279.4517	279.5869	279.4531	279.5885	279.4526	279.5894
	0.7-1.1	274.1294	274.2154	274.1278	274.2152	274.129	274.2154
	0.4-0.7	272.1211	272.1472	272.1206	272.147	272.1214	272.1483
	0.0-0.4	275.5117	275.5389	275.5114	275.5376	275.5114	275.5387
E	4.7-5.8	275.6254	276.1431	275.6263	276.1427	275.6257	276.143
	3.3-4.7	276.8982	277.0987	276.899	277.0999	276.8974	277.0983
	2.1-3.3	274.2085	274.2931	274.2059	274.2938	274.2072	274.2937
	1.1-2.1	274.9045	274.9959	274.9061	274.9953	274.9048	274.9958
	0.7-1.1	273.1812	273.252	273.1808	273.2548	273.1803	273.2526
	0.4-0.7	273.0125	273.1005	273.0111	273.1008	273.0126	273.1002
	0.0-0.4	273.4661	273.4667	273.4663	273.4673	273.4668	273.4676

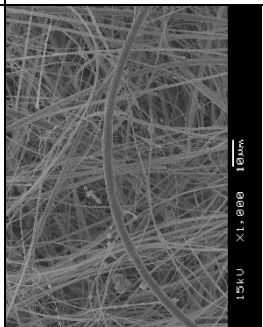
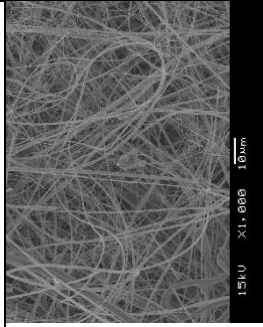
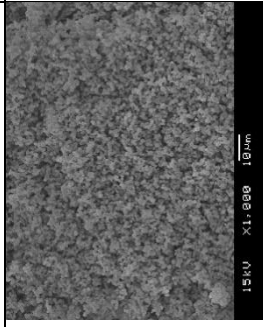
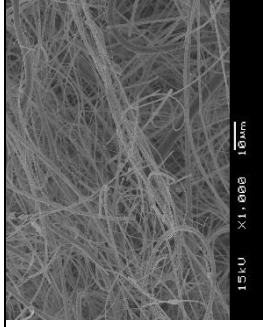
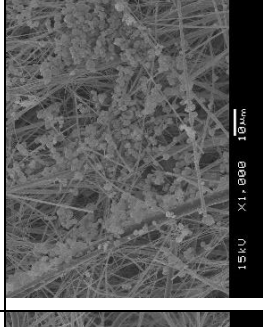
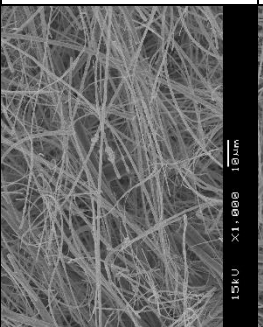
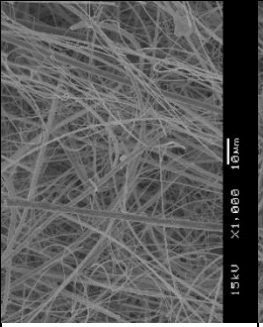
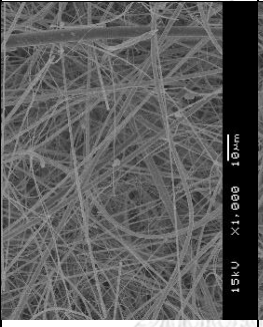
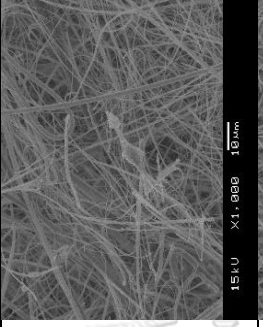
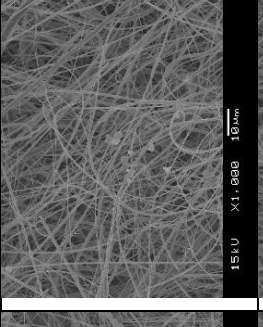
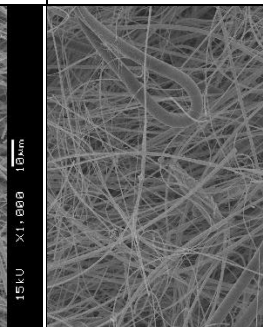
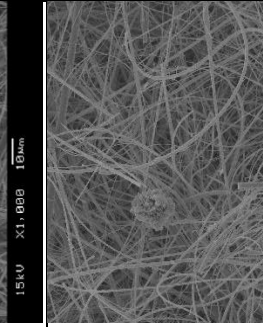
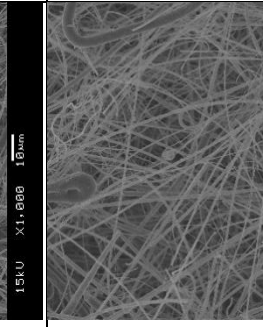
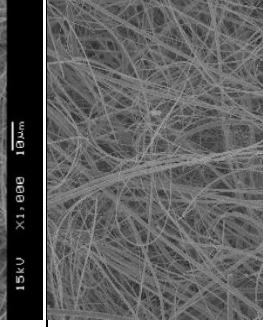
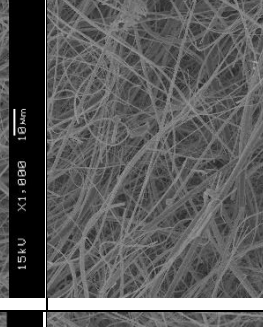
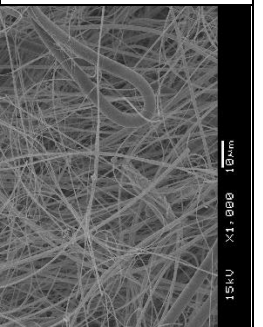
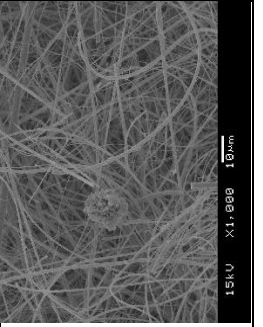
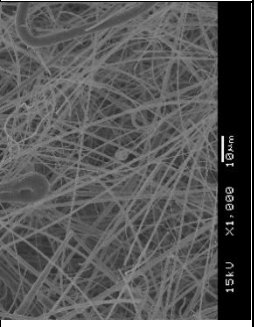
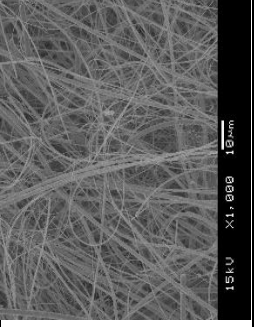
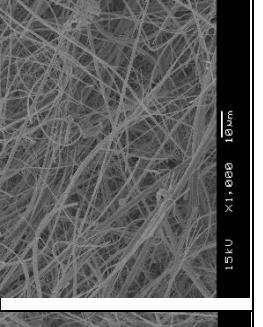
ตารางที่ 64 ค่า Normalization Concentration ของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง

สารทดสอบ	ระดับชั้น (μm)	$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Normalization
Control	4.7-5.8	4.12	45.13
	3.3-4.7	36.59	238.25
	2.1-3.3	124.93	636.44
	1.1-2.1	17.02	60.60
	0.7-1.1	50.62	257.91
	0.4-0.7	29.60	121.80
	0.0-0.4	3.74	6.22
Water 100 ml	4.7-5.8	8.12	88.98
	3.3-4.7	0.78	5.11
	2.1-3.3	32.37	164.91
	1.1-2.1	298.48	1062.81
	0.7-1.1	38.08	194.01
	0.4-0.7	43.10	177.37
	0.0-0.4	12.56	20.86
Pectin 0.5% W/V	4.7-5.8	144.50	1582.20
	3.3-4.7	431.68	2810.73
	2.1-3.3	221.63	1129.08
	1.1-2.1	382.17	1360.89
	0.7-1.1	78.77	401.33
	0.4-0.7	87.41	359.68
	0.0-0.4	10.89	18.09
Tween-80 0.1% V/V	4.7-5.8	37.25	407.96
	3.3-4.7	96.78	630.14
	2.1-3.3	42.93	218.71
	1.1-2.1		284.78
	0.7-1.1	79.97	259.82
	0.4-0.7	51.00	64.13
	0.0-0.4	15.58	26.31
E 100 ml	4.7-5.8	304.55	3334.65
	3.3-4.7	118.23	769.85
	2.1-3.3	50.84	259.01
	1.1-2.1	53.31	189.85
	0.7-1.1	42.61	217.11
	0.4-0.7	52.08	214.29
	0.0-0.4	0.47	0.78

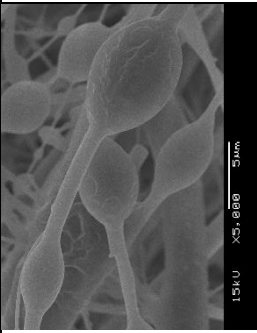
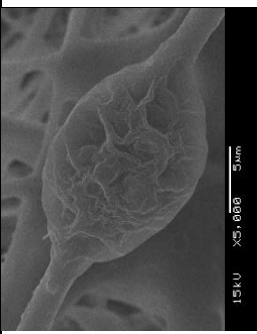
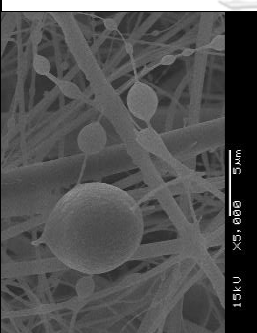
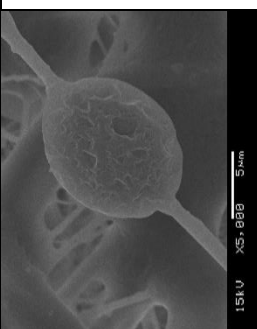
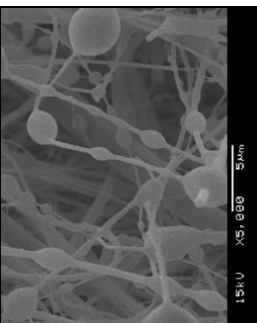
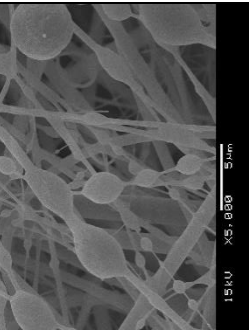
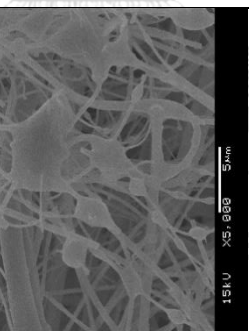
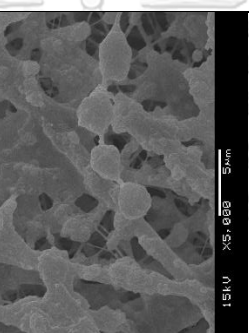
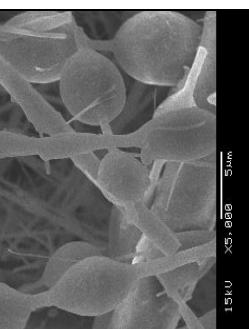
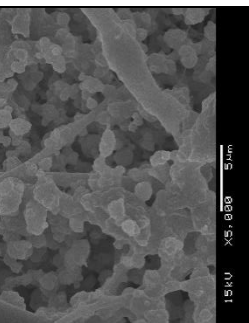
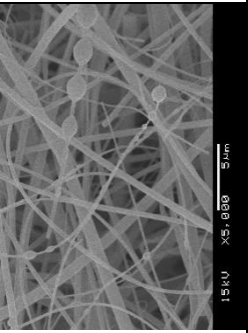
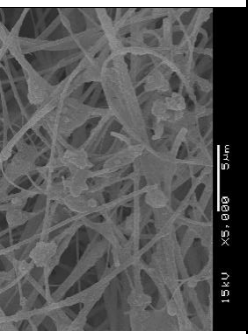
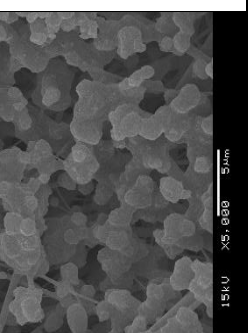
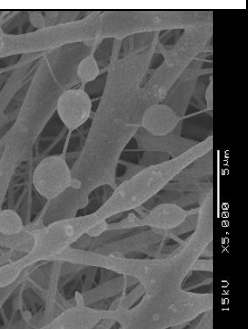
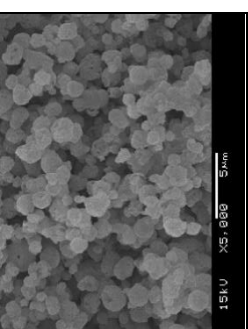
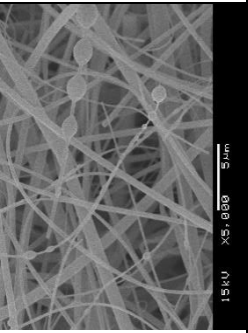
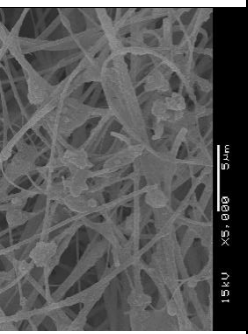
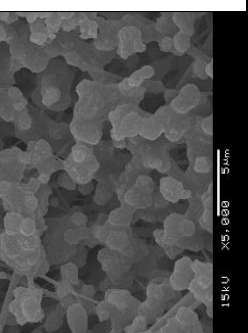
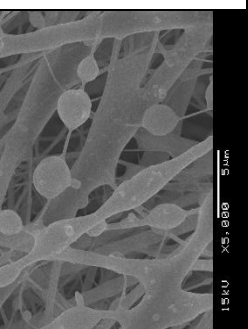
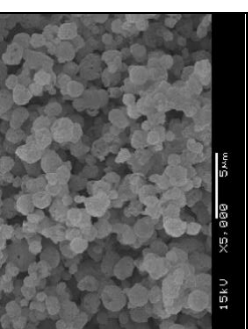
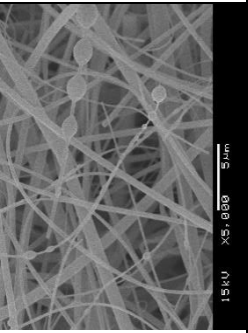
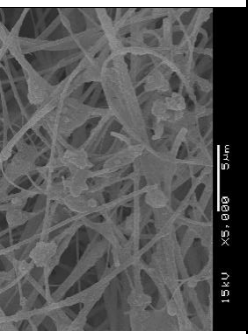
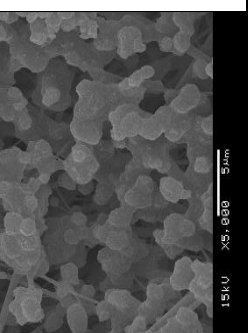
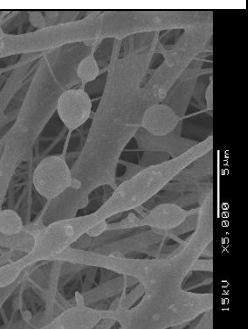
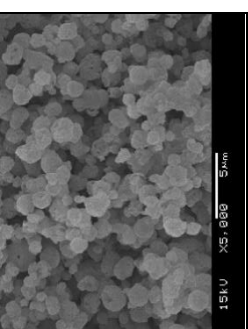
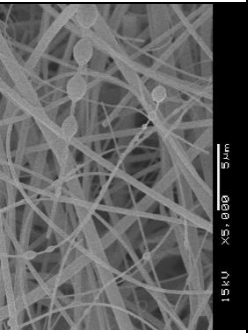
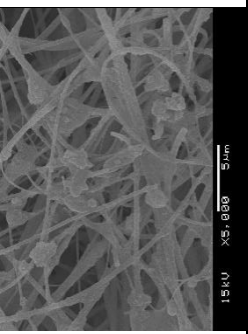
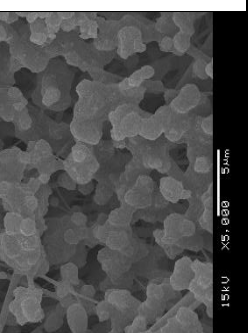
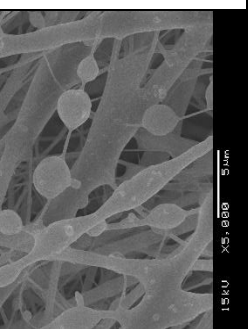
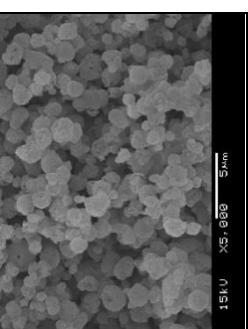
ภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฟุนดะของด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

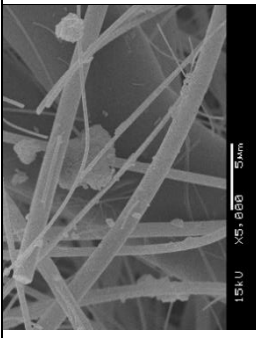
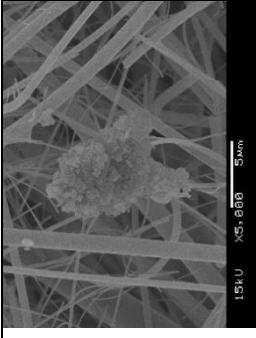
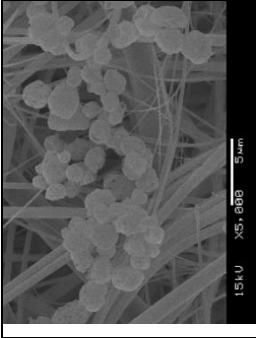
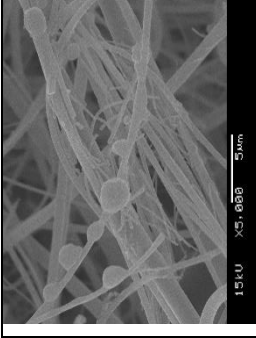
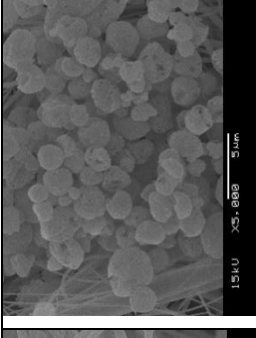
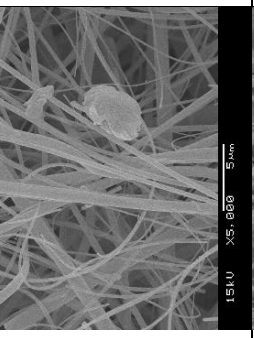
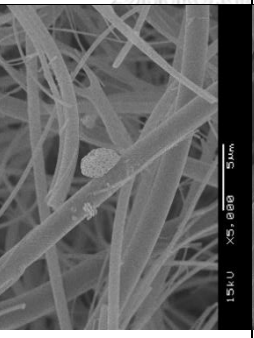
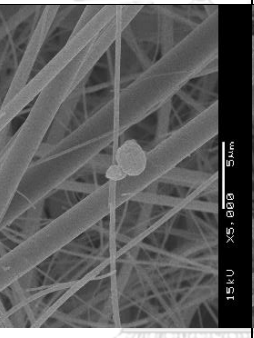
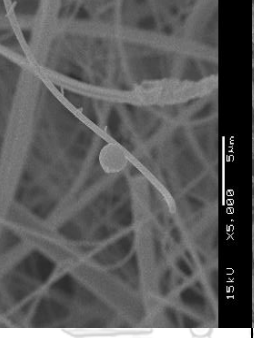
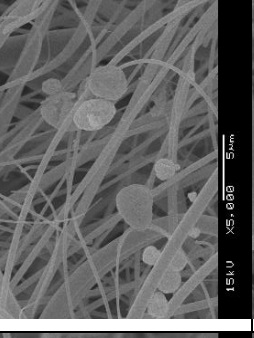
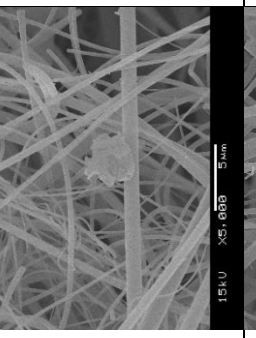
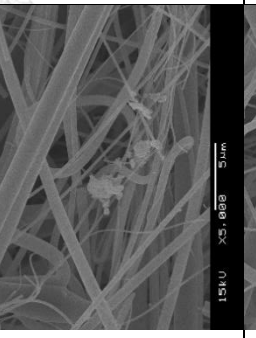
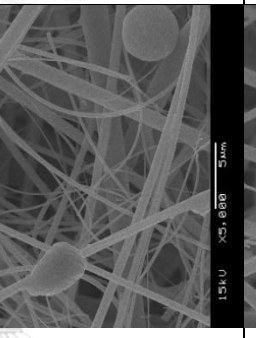
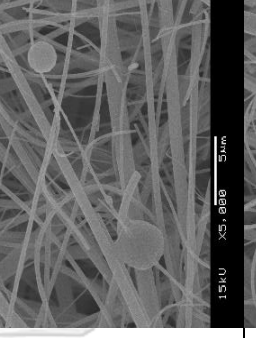
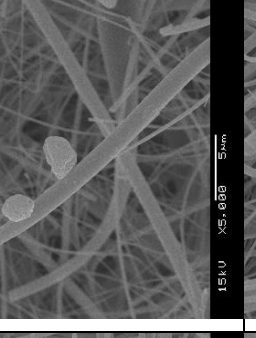
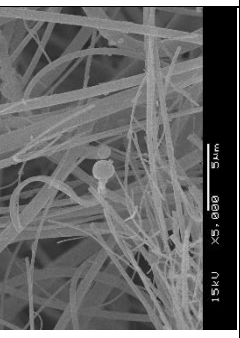
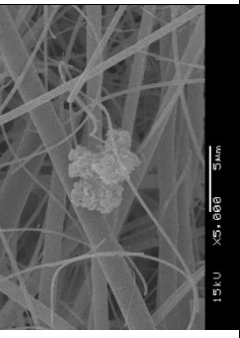
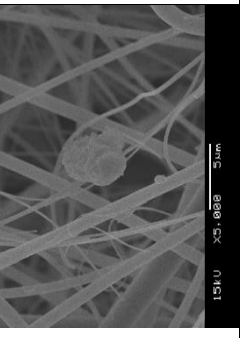
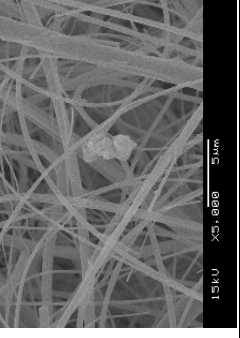
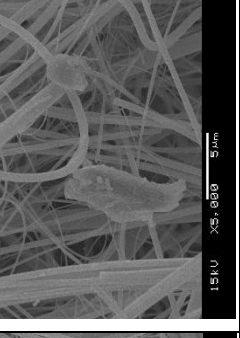
ตารางที่ 65 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฟุนดะของด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่มีขนาดอนุภาค 1000x

ชั้น	Control	Water	Pectin	Tween80	E
4.7 - 5.8 μ m					
3.3 - 4.7 μ m					
2.1 - 3.3 μ m					

$\frac{\%}{\mu\text{m}}$	Control	Water	Pectin	Tween80	E
1.1 - 2.1 μ m	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm
0.7 - 1.7 μ m	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm
0.4 - 0.7 μ m	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm
0.0 - 0.4 μ m	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm	 15kV X1,000 10μm

ตารางที่ 66 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฟองและองุ่นด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่มีขนาดอนุภาค 5000x

ชั้น	Control	Water	Pectin	Tween80	E
4.7					
-					
5.7					
3.6					
2.1					
-					
3.2					
3.2					

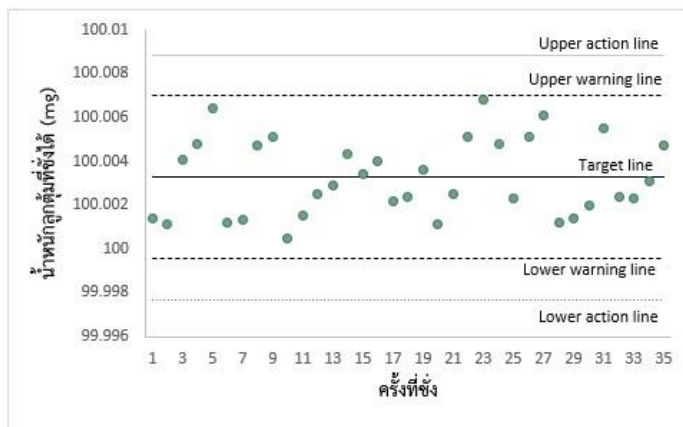
<p>1.1 - 2.0 μm</p>					
<p>0.7 - 1.0 μm</p>					
<p>0.4 - 0.6 μm</p>					
<p>0.0 - 0.4 μm</p>					

ภาคผนวก ก

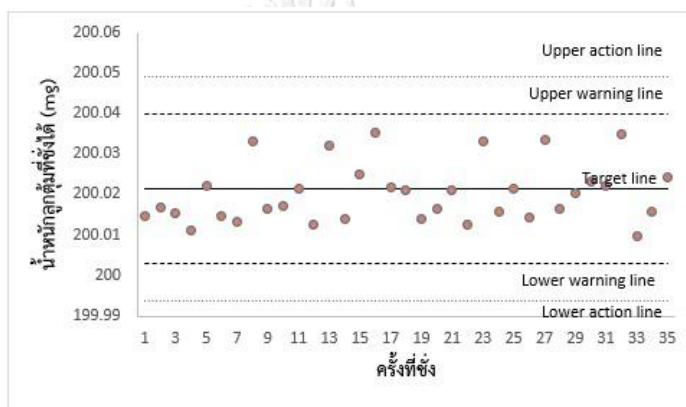
ผลการควบคุมคุณภาพของเครื่องชั่งน้ำหนักในการชั่งน้ำหนักกระตาะกรอง

ตารางที่ 67 ผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม

การชั่งครั้งที่	ลูกตุ้มมาตรฐาน 100 mg (mg)	ลูกตุ้มมาตรฐาน 200 mg (mg)
1	100.0014	200.0147
2	100.0011	200.0169
3	100.0041	200.0154
4	100.0048	200.0113
5	100.0064	200.0221
6	100.0012	200.0145
7	100.0013	200.0133
8	100.0047	200.0331
9	100.0051	200.0165
10	100.0005	200.0171
11	100.0015	200.0215
12	100.0025	200.0124
13	100.0029	200.0319
14	100.0043	200.014
15	100.0034	200.0248
16	100.004	200.0351
17	100.0022	200.0217
18	100.0024	200.0211
19	100.0036	200.0141
20	100.0011	200.0163
21	100.0025	200.0211
22	100.0051	200.0124
23	100.0068	200.0331
24	100.0048	200.0157
25	100.0023	200.0215
26	100.0051	200.0144
27	100.0061	200.0336
28	100.0012	200.0164
29	100.0014	200.0205
30	100.002	200.0232
31	100.0055	200.0221
32	100.0024	200.035
33	100.0023	200.0098
34	100.0031	200.0157
35	100.0047	200.0241



รูปที่ 45 Control chart แสดงผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม



รูปที่ 46 Control chart แสดงผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม

จากผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม จำนวน 35 ครั้ง แสดงดังภาพที่ จ-1 พบว่ามีค่า Target line (μ) เท่ากับ 100.0033 ± 0.0019 มิลลิกรัม และมีค่า Warning line ($\mu \pm 2SD$) เท่ากับ 100.0033 ± 0.0038 มิลลิกรัม และ Action line ($\mu \pm 3SD$) เท่ากับ 100.0033 ± 0.0057 มิลลิกรัม โดยผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) และในช่วง Action line ($\mu \pm 3SD$) จำนวน 35 ครั้ง ส่วนการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม จำนวน 35 ครั้ง พบว่ามีค่า Target line (μ) เท่ากับ 200.022 ± 0.0073 มิลลิกรัม และมีค่า Warning line ($\mu \pm 2SD$) เท่ากับ 200.022 ± 0.0146 มิลลิกรัม และ Action line ($\mu \pm 3SD$) เท่ากับ 200.022 ± 0.0219 มิลลิกรัม โดยผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) และในช่วง Action line ($\mu \pm 3SD$) จำนวน 35 ครั้ง จากผลการควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง โดยการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) และ Action line ($\mu \pm 3SD$) ทุกครั้ง ซึ่งมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งเป็นผลที่ยอมรับได้ทางสถิติ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองในการศึกษาครั้งนี้ให้ผลที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ตารางที่ 68 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าระหว่างปริมาตร ทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
75 ml	100 ml	9.16667*	1.34798	.000	5.8683	12.4650
	150 ml	3.56667*	1.34798	.038	.2683	6.8650
100 ml	75 ml	-9.16667*	1.34798	.000	-12.4650	-5.8683
	150 ml	-5.60000*	1.34798	.006	-8.8984	-2.3016
150 ml	75 ml	-3.56667*	1.34798	.038	-6.8650	-.2683
	100 ml	5.60000*	1.34798	.006	2.3016	8.8984

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 69 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารละลายเพคตินระหว่างปริมาตร ทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
75 ml	100 ml	9.16667*	1.34798	.000	5.8683	12.4650
	150 ml	3.56667*	1.34798	.038	.2683	6.8650
100 ml	75 ml	-9.16667*	1.34798	.000	-12.4650	-5.8683
	150 ml	-5.60000*	1.34798	.006	-8.8984	-2.3016
150 ml	75 ml	-3.56667*	1.34798	.038	-6.8650	-.2683
	100 ml	5.60000*	1.34798	.006	2.3016	8.8984

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 70 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรสำหรับ A ระหว่างปริมาตรทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
75 ml	100 ml	13.46667	6.08441	.069	-1.4213	28.3547
	150 ml	5.46667	6.08441	.404	-9.4213	20.3547
100 ml	75 ml	-13.46667	6.08441	.069	-28.3547	1.4213
	150 ml	-8.00000	6.08441	.237	-22.8880	6.8880
150 ml	75 ml	-5.46667	6.08441	.404	-20.3547	9.4213
	100 ml	8.00000	6.08441	.237	-6.8880	22.8880

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 71 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรสำหรับ B ระหว่างปริมาตรทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
75 ml	100 ml	-19.66667*	5.07061	.008	-32.0740	-7.2593
	150 ml	-19.46667*	5.07061	.009	-31.8740	-7.0593
100 ml	75 ml	19.66667*	5.07061	.008	7.2593	32.0740
	150 ml	.20000	5.07061	.970	-12.2073	12.6073
150 ml	75 ml	19.46667*	5.07061	.009	7.0593	31.8740
	100 ml	-.20000	5.07061	.970	-12.6073	12.2073

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 72 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรสำหรับ C ระหว่างปริมาตรทั้งหมด
 สามารถด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
75 ml	100 ml	3.86667	5.04763	.473	-8.4844	16.2178
	150 ml	7.86667	5.04763	.170	-4.4844	20.2178
100 ml	75 ml	-3.86667	5.04763	.473	-16.2178	8.4844
	150 ml	4.00000	5.04763	.458	-8.3511	16.3511
150 ml	75 ml	-7.86667	5.04763	.170	-20.2178	4.4844
	100 ml	-4.00000	5.04763	.458	-16.3511	8.3511

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 73 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรสำหรับ D ระหว่างปริมาตรทั้งหมด
 สามารถด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
75 ml	100 ml	2.53333	5.38386	.655	-10.6405	15.7072
	150 ml	-1.63333	5.38386	.772	-14.8072	11.5405
100 ml	75 ml	-2.53333	5.38386	.655	-15.7072	10.6405
	150 ml	-4.16667	5.38386	.468	-17.3405	9.0072
150 ml	75 ml	1.63333	5.38386	.772	-11.5405	14.8072
	100 ml	4.16667	5.38386	.468	-9.0072	17.3405

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 74 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพของสารสูตรสำหรับ E ระหว่างปริมาตรทั้งหมด
 สามารถด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
75 ml	100 ml	-2.40000	1.43217	.145	-5.9044	1.1044
	150 ml	.53333	1.43217	.722	-2.9711	4.0377
100 ml	75 ml	2.40000	1.43217	.145	-1.1044	5.9044
	150 ml	2.93333	1.43217	.086	-.5711	6.4377
150 ml	75 ml	-.53333	1.43217	.722	-4.0377	2.9711
	100 ml	-2.93333	1.43217	.086	-6.4377	.5711

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 75 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างประสิทธิภาพของชนิดสารแต่ละสารทดสอบ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Chemical	(J) Chemical	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Water	-18.58889*	4.38470	.000	-27.2859	-9.8919
	Pectin	-23.49630*	4.00267	.000	-31.4356	-15.5570
	Tween80	-16.28148*	4.00267	.000	-24.2207	-8.3422
	A	-9.05556*	4.38470	.041	-17.7526	-.3585
	B	-12.24444*	4.38470	.006	-20.9415	-3.5474
	C	-15.68889*	4.38470	.001	-24.3859	-6.9919
	D	-17.96667*	4.38470	.000	-26.6637	-9.2696
	E	-21.42222*	4.38470	.000	-30.1193	-12.7252
Water	Control	18.58889*	4.38470	.000	9.8919	27.2859

	Pectin	-4.90741	2.53151	.055	-9.9286	.1138
	Tween80	2.30741	2.53151	.364	-2.7138	7.3286
	A	9.53333*	3.10045	.003	3.3836	15.6831
	B	6.34444*	3.10045	.043	.1947	12.4942
	C	2.90000	3.10045	.352	-3.2497	9.0497
	D	.62222	3.10045	.841	-5.5275	6.7720
	E	-2.83333	3.10045	.363	-8.9831	3.3164
Pectin	Control	23.49630*	4.00267	.000	15.5570	31.4356
	Water	4.90741	2.53151	.055	-.1138	9.9286
	Tween80	7.21481*	1.79005	.000	3.6643	10.7654
	A	14.44074*	2.53151	.000	9.4195	19.4620
	B	11.25185*	2.53151	.000	6.2306	16.2731
	C	7.80741*	2.53151	.003	2.7862	12.8286
	D	5.52963*	2.53151	.031	.5084	10.5509
	E	2.07407	2.53151	.415	-2.9472	7.0953
Tween80	Control	16.28148*	4.00267	.000	8.3422	24.2207
	Water	-2.30741	2.53151	.364	-7.3286	2.7138
	Pectin	-7.21481*	1.79005	.000	-10.7654	-3.6643
	A	7.22593*	2.53151	.005	2.2047	12.2472
	B	4.03704	2.53151	.114	-.9842	9.0583
	C	.59259	2.53151	.815	-4.4286	5.6138
	D	-1.68519	2.53151	.507	-6.7064	3.3360
	E	-5.14074*	2.53151	.045	-10.1620	-.1195
A	Control	9.05556*	4.38470	.041	.3585	17.7526
	Water	-9.53333*	3.10045	.003	-15.6831	-3.3836
	Pectin	-14.44074*	2.53151	.000	-19.4620	-9.4195
	Tween80	-7.22593*	2.53151	.005	-12.2472	-2.2047
	B	-3.18889	3.10045	.306	-9.3386	2.9608
	C	-6.63333*	3.10045	.035	-12.7831	-.4836
	D	-8.91111*	3.10045	.005	-15.0608	-2.7614
	E	-12.36667*	3.10045	.000	-18.5164	-6.2169
B	Control	12.24444*	4.38470	.006	3.5474	20.9415
	Water	-6.34444*	3.10045	.043	-12.4942	-.1947

	Pectin	-11.25185*	2.53151	.000	-16.2731	-6.2306
	Tween80	-4.03704	2.53151	.114	-9.0583	.9842
	A	3.18889	3.10045	.306	-2.9608	9.3386
	C	-3.44444	3.10045	.269	-9.5942	2.7053
	D	-5.72222	3.10045	.068	-11.8720	.4275
	E	-9.17778*	3.10045	.004	-15.3275	-3.0280
C	Control	15.68889*	4.38470	.001	6.9919	24.3859
	Water	-2.90000	3.10045	.352	-9.0497	3.2497
	Pectin	-7.80741*	2.53151	.003	-12.8286	-2.7862
	Tween80	-.59259	2.53151	.815	-5.6138	4.4286
	A	6.63333*	3.10045	.035	.4836	12.7831
	B	3.44444	3.10045	.269	-2.7053	9.5942
	D	-2.27778	3.10045	.464	-8.4275	3.8720
	E	-5.73333	3.10045	.067	-11.8831	.4164
D	Control	17.96667*	4.38470	.000	9.2696	26.6637
	Water	-.62222	3.10045	.841	-6.7720	5.5275
	Pectin	-5.52963*	2.53151	.031	-10.5509	-.5084
	Tween80	1.68519	2.53151	.507	-3.3360	6.7064
	A	8.91111*	3.10045	.005	2.7614	15.0608
	B	5.72222	3.10045	.068	-.4275	11.8720
	C	2.27778	3.10045	.464	-3.8720	8.4275
	E	-3.45556	3.10045	.268	-9.6053	2.6942
E	Control	21.42222*	4.38470	.000	12.7252	30.1193
	Water	2.83333	3.10045	.363	-3.3164	8.9831
	Pectin	-2.07407	2.53151	.415	-7.0953	2.9472
	Tween80	5.14074*	2.53151	.045	.1195	10.1620
	A	12.36667*	3.10045	.000	6.2169	18.5164
	B	9.17778*	3.10045	.004	3.0280	15.3275
	C	5.73333	3.10045	.067	-.4164	11.8831
	D	3.45556	3.10045	.268	-2.6942	9.6053

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 76 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างประสิทธิภาพของสารทดสอบของปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของสาร
ความเข้มข้นและปริมาตร ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

LSD

(I) Chemical	(J) Chemical	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Water75	-19.26667*	3.62218	.000	-26.4840	-12.0493
	Pectin0.5%75ml	-21.76667*	3.62218	.000	-28.9840	-14.5493
	Pectin0.5%100ml	-35.73333*	3.62218	.000	-42.9507	-28.5160
	Pectin0.5%150ml	-14.46667*	3.62218	.000	-21.6840	-7.2493
	Pectin0.1%75ml	-23.86667*	3.62218	.000	-31.0840	-16.6493
	Pectin0.1%100ml	-24.06667*	3.62218	.000	-31.2840	-16.8493
	Pectin0.1%150ml	-23.00000*	3.62218	.000	-30.2173	-15.7827
	Pectin0.05%75ml	-23.13333*	3.62218	.000	-30.3507	-15.9160
	Pectin0.05%100ml	-23.06667*	3.62218	.000	-30.2840	-15.8493
	Pectin0.05%150ml	-22.36667*	3.62218	.000	-29.5840	-15.1493
	Tween800.5%75ml	-22.06667*	3.62218	.000	-29.2840	-14.8493
	Tween800.5%100ml	-13.36667*	3.62218	.000	-20.5840	-6.1493
	Tween800.5%150ml	-10.46667*	3.62218	.005	-17.6840	-3.2493
	Tween800.1%75ml	-24.93333*	3.62218	.000	-32.1507	-17.7160
	Tween800.1%100ml	-17.43333*	3.62218	.000	-24.6507	-10.2160
	Tween800.1%150ml	-19.53333*	3.62218	.000	-26.7507	-12.3160
	Tween800.05%75ml	-19.60000*	3.62218	.000	-26.8173	-12.3827
Tween800.05%100ml	-4.53333	3.62218	.215	-11.7507	2.6840	
Tween800.05%150ml	-14.60000*	3.62218	.000	-21.8173	-7.3827	
A75		-15.36667*	3.62218	.000	-22.5840	-8.1493
A100		-1.90000	3.62218	.601	-9.1173	5.3173
A150		-9.90000*	3.62218	.008	-17.1173	-2.6827
B75		.80000	3.62218	.826	-6.4173	8.0173
B100		-18.86667*	3.62218	.000	-26.0840	-11.6493
B150		-18.66667*	3.62218	.000	-25.8840	-11.4493
C75		-19.60000*	3.62218	.000	-26.8173	-12.3827
C100		-15.73333*	3.62218	.000	-22.9507	-8.5160
C150		-11.73333*	3.62218	.002	-18.9507	-4.5160
D75		-18.26667*	3.62218	.000	-25.4840	-11.0493

	D100	-15.73333*	3.62218	.000	-22.9507	-8.5160
	D150	-19.90000*	3.62218	.000	-27.1173	-12.6827
	E75	-20.80000*	3.62218	.000	-28.0173	-13.5827
	E100	-23.20000*	3.62218	.000	-30.4173	-15.9827
	E150	-20.26667*	3.62218	.000	-27.4840	-13.0493
	Water100	-22.83333*	3.62218	.000	-30.0507	-15.6160
	Water150	-13.66667*	3.62218	.000	-20.8840	-6.4493
Water75	Control	19.26667*	3.62218	.000	12.0493	26.4840
	Pectin0.5%75ml	-2.50000	3.62218	.492	-9.7173	4.7173
	Pectin0.5%100ml	-16.46667*	3.62218	.000	-23.6840	-9.2493
	Pectin0.5%150ml	4.80000	3.62218	.189	-2.4173	12.0173
	Pectin0.1%75ml	-4.60000	3.62218	.208	-11.8173	2.6173
	Pectin0.1%100ml	-4.80000	3.62218	.189	-12.0173	2.4173
	Pectin0.1%150ml	-3.73333	3.62218	.306	-10.9507	3.4840
	Pectin0.05%75ml	-3.86667	3.62218	.289	-11.0840	3.3507
	Pectin0.05%100ml	-3.80000	3.62218	.298	-11.0173	3.4173
	Pectin0.05%150ml	-3.10000	3.62218	.395	-10.3173	4.1173
	Tween800.5%75ml	-2.80000	3.62218	.442	-10.0173	4.4173
	Tween800.5%100ml	5.90000	3.62218	.108	-1.3173	13.1173
	Tween800.5%150ml	8.80000*	3.62218	.018	1.5827	16.0173
	Tween800.1%75ml	-5.66667	3.62218	.122	-12.8840	1.5507
	Tween800.1%100ml	1.83333	3.62218	.614	-5.3840	9.0507
	Tween800.1%150ml	-2.6667	3.62218	.942	-7.4840	6.9507
	Tween800.05%75ml	-3.3333	3.62218	.927	-7.5507	6.8840
	Tween800.05%100ml	14.73333*	3.62218	.000	7.5160	21.9507
	Tween800.05%150ml	4.66667	3.62218	.202	-2.5507	11.8840
	A75	3.90000	3.62218	.285	-3.3173	11.1173
	A100	17.36667*	3.62218	.000	10.1493	24.5840
	A150	9.36667*	3.62218	.012	2.1493	16.5840
	B75	20.06667*	3.62218	.000	12.8493	27.2840
	B100	.40000	3.62218	.912	-6.8173	7.6173
	B150	.60000	3.62218	.869	-6.6173	7.8173
	C75	-.33333	3.62218	.927	-7.5507	6.8840
	C100	3.53333	3.62218	.333	-3.6840	10.7507
	C150	7.53333*	3.62218	.041	.3160	14.7507
	D75	1.00000	3.62218	.783	-6.2173	8.2173
	D100	3.53333	3.62218	.333	-3.6840	10.7507
	D150	-.63333	3.62218	.862	-7.8507	6.5840

E75	-1.53333	3.62218	.673	-8.7507	5.6840
E100	-3.93333	3.62218	.281	-11.1507	3.2840
E150	-1.00000	3.62218	.783	-8.2173	6.2173
Water100	-3.56667	3.62218	.328	-10.7840	3.6507
Water150	5.60000	3.62218	.126	-1.6173	12.8173
Pectin0.5%7 5ml	21.76667*	3.62218	.000	14.5493	28.9840
Water75	2.50000	3.62218	.492	-4.7173	9.7173
Pectin0.5%100ml	-13.96667*	3.62218	.000	-21.1840	-6.7493
Pectin0.5%150ml	7.30000*	3.62218	.047	.0827	14.5173
Pectin0.1%75ml	-2.10000	3.62218	.564	-9.3173	5.1173
Pectin0.1%100ml	-2.30000	3.62218	.527	-9.5173	4.9173
Pectin0.1%150ml	-1.23333	3.62218	.734	-8.4507	5.9840
Pectin0.05%75ml	-1.36667	3.62218	.707	-8.5840	5.8507
Pectin0.05%100ml	-1.30000	3.62218	.721	-8.5173	5.9173
Pectin0.05%150ml	-.60000	3.62218	.869	-7.8173	6.6173
Tween800.5%75ml	-.30000	3.62218	.934	-7.5173	6.9173
Tween800.5%100ml	8.40000*	3.62218	.023	1.1827	15.6173
Tween800.5%150ml	11.30000*	3.62218	.003	4.0827	18.5173
Tween800.1%75ml	-3.16667	3.62218	.385	-10.3840	4.0507
Tween800.1%100ml	4.33333	3.62218	.235	-2.8840	11.5507
Tween800.1%150ml	2.23333	3.62218	.539	-4.9840	9.4507
Tween800.05%75ml	2.16667	3.62218	.552	-5.0507	9.3840
Tween800.05%100ml	17.23333*	3.62218	.000	10.0160	24.4507
Tween800.05%150ml	7.16667	3.62218	.052	-.0507	14.3840
A75	6.40000	3.62218	.081	-.8173	13.6173
A100	19.86667*	3.62218	.000	12.6493	27.0840
A150	11.86667*	3.62218	.002	4.6493	19.0840
B75	22.56667*	3.62218	.000	15.3493	29.7840
B100	2.90000	3.62218	.426	-4.3173	10.1173
B150	3.10000	3.62218	.395	-4.1173	10.3173
C75	2.16667	3.62218	.552	-5.0507	9.3840
C100	6.03333	3.62218	.100	-1.1840	13.2507
C150	10.03333*	3.62218	.007	2.8160	17.2507
D75	3.50000	3.62218	.337	-3.7173	10.7173
D100	6.03333	3.62218	.100	-1.1840	13.2507
D150	1.86667	3.62218	.608	-5.3507	9.0840
E75	.96667	3.62218	.790	-6.2507	8.1840
E100	-1.43333	3.62218	.693	-8.6507	5.7840

E150	1.50000	3.62218	.680	-5.7173	8.7173
Water100	-1.06667	3.62218	.769	-8.2840	6.1507
Water150	8.10000*	3.62218	.028	.8827	15.3173
Pectin0.5%100ml	35.73333*	3.62218	.000	28.5160	42.9507
Water75	16.46667*	3.62218	.000	9.2493	23.6840
Pectin0.5%75ml	13.96667*	3.62218	.000	6.7493	21.1840
Pectin0.5%150ml	21.26667*	3.62218	.000	14.0493	28.4840
Pectin0.1%75ml	11.86667*	3.62218	.002	4.6493	19.0840
Pectin0.1%100ml	11.66667*	3.62218	.002	4.4493	18.8840
Pectin0.1%150ml	12.73333*	3.62218	.001	5.5160	19.9507
Pectin0.05%75ml	12.60000*	3.62218	.001	5.3827	19.8173
Pectin0.05%100ml	12.66667*	3.62218	.001	5.4493	19.8840
Pectin0.05%150ml	13.36667*	3.62218	.000	6.1493	20.5840
Tween800.5%75ml	13.66667*	3.62218	.000	6.4493	20.8840
Tween800.5%100ml	22.36667*	3.62218	.000	15.1493	29.5840
Tween800.5%150ml	25.26667*	3.62218	.000	18.0493	32.4840
Tween800.1%75ml	10.80000*	3.62218	.004	3.5827	18.0173
Tween800.1%100ml	18.30000*	3.62218	.000	11.0827	25.5173
Tween800.1%150ml	16.20000*	3.62218	.000	8.9827	23.4173
Tween800.05%75ml	16.13333*	3.62218	.000	8.9160	23.3507
Tween800.05%100ml	31.20000*	3.62218	.000	23.9827	38.4173
Tween800.05%150ml	21.13333*	3.62218	.000	13.9160	28.3507
A75	20.36667*	3.62218	.000	13.1493	27.5840
A100	33.83333*	3.62218	.000	26.6160	41.0507
A150	25.83333*	3.62218	.000	18.6160	33.0507
B75	36.53333*	3.62218	.000	29.3160	43.7507
B100	16.86667*	3.62218	.000	9.6493	24.0840
B150	17.06667*	3.62218	.000	9.8493	24.2840
C75	16.13333*	3.62218	.000	8.9160	23.3507
C100	20.00000*	3.62218	.000	12.7827	27.2173
C150	24.00000*	3.62218	.000	16.7827	31.2173
D75	17.46667*	3.62218	.000	10.2493	24.6840
D100	20.00000*	3.62218	.000	12.7827	27.2173
D150	15.83333*	3.62218	.000	8.6160	23.0507
E75	14.93333*	3.62218	.000	7.7160	22.1507
E100	12.53333*	3.62218	.001	5.3160	19.7507
E150	15.46667*	3.62218	.000	8.2493	22.6840
Water100	12.90000*	3.62218	.001	5.6827	20.1173

	Water150	22.06667*	3.62218	.000	14.8493	29.2840
Pectin0.5%1	Control	14.46667*	3.62218	.000	7.2493	21.6840
50ml	Water75	-4.80000	3.62218	.189	-12.0173	2.4173
	Pectin0.5%75ml	-7.30000*	3.62218	.047	-14.5173	-.0827
	Pectin0.5%100ml	-21.26667*	3.62218	.000	-28.4840	-14.0493
	Pectin0.1%75ml	-9.40000*	3.62218	.011	-16.6173	-2.1827
	Pectin0.1%100ml	-9.60000*	3.62218	.010	-16.8173	-2.3827
	Pectin0.1%150ml	-8.53333*	3.62218	.021	-15.7507	-1.3160
	Pectin0.05%75ml	-8.66667*	3.62218	.019	-15.8840	-1.4493
	Pectin0.05%100ml	-8.60000*	3.62218	.020	-15.8173	-1.3827
	Pectin0.05%150ml	-7.90000*	3.62218	.032	-15.1173	-.6827
	Tween800.5%75ml	-7.60000*	3.62218	.039	-14.8173	-.3827
	Tween800.5%100ml	1.10000	3.62218	.762	-6.1173	8.3173
	Tween800.5%150ml	4.00000	3.62218	.273	-3.2173	11.2173
	Tween800.1%75ml	-10.46667*	3.62218	.005	-17.6840	-3.2493
	Tween800.1%100ml	-2.96667	3.62218	.415	-10.1840	4.2507
	Tween800.1%150ml	-5.06667	3.62218	.166	-12.2840	2.1507
	Tween800.05%75ml	-5.13333	3.62218	.161	-12.3507	2.0840
	Tween800.05%100ml	9.93333*	3.62218	.008	2.7160	17.1507
	Tween800.05%150ml	-1.3333	3.62218	.971	-7.3507	7.0840
	A75	-.90000	3.62218	.804	-8.1173	6.3173
	A100	12.56667*	3.62218	.001	5.3493	19.7840
	A150	4.56667	3.62218	.211	-2.6507	11.7840
	B75	15.26667*	3.62218	.000	8.0493	22.4840
	B100	-4.40000	3.62218	.228	-11.6173	2.8173
	B150	-4.20000	3.62218	.250	-11.4173	3.0173
	C75	-5.13333	3.62218	.161	-12.3507	2.0840
	C100	-1.26667	3.62218	.728	-8.4840	5.9507
	C150	2.73333	3.62218	.453	-4.4840	9.9507
	D75	-3.80000	3.62218	.298	-11.0173	3.4173
	D100	-1.26667	3.62218	.728	-8.4840	5.9507
	D150	-5.43333	3.62218	.138	-12.6507	1.7840
	E75	-6.33333	3.62218	.085	-13.5507	.8840
	E100	-8.73333*	3.62218	.018	-15.9507	-1.5160
	E150	-5.80000	3.62218	.114	-13.0173	1.4173
	Water100	-8.36667*	3.62218	.024	-15.5840	-1.1493
	Water150	.80000	3.62218	.826	-6.4173	8.0173
	Control	23.86667*	3.62218	.000	16.6493	31.0840

	Water75	4.60000	3.62218	.208	-2.6173	11.8173
	Pectin0.5%75ml	2.10000	3.62218	.564	-5.1173	9.3173
	Pectin0.5%100ml	-11.86667*	3.62218	.002	-19.0840	-4.6493
	Pectin0.5%150ml	9.40000*	3.62218	.011	2.1827	16.6173
	Pectin0.1%100ml	-.20000	3.62218	.956	-7.4173	7.0173
	Pectin0.1%150ml	.86667	3.62218	.812	-6.3507	8.0840
	Pectin0.05%75ml	.73333	3.62218	.840	-6.4840	7.9507
	Pectin0.05%100ml	.80000	3.62218	.826	-6.4173	8.0173
	Pectin0.05%150ml	1.50000	3.62218	.680	-5.7173	8.7173
	Tween800.5%75ml	1.80000	3.62218	.621	-5.4173	9.0173
	Tween800.5%100ml	10.50000*	3.62218	.005	3.2827	17.7173
	Tween800.5%150ml	13.40000*	3.62218	.000	6.1827	20.6173
	Tween800.1%75ml	-1.06667	3.62218	.769	-8.2840	6.1507
	Tween800.1%100ml	6.43333	3.62218	.080	-.7840	13.6507
	Tween800.1%150ml	4.33333	3.62218	.235	-2.8840	11.5507
	Tween800.05%75ml	4.26667	3.62218	.243	-2.9507	11.4840
Pectin0.1%75ml	Tween800.05%100ml	19.33333*	3.62218	.000	12.1160	26.5507
	Tween800.05%150ml	9.26667*	3.62218	.013	2.0493	16.4840
	A75	8.50000*	3.62218	.022	1.2827	15.7173
	A100	21.96667*	3.62218	.000	14.7493	29.1840
	A150	13.96667*	3.62218	.000	6.7493	21.1840
	B75	24.66667*	3.62218	.000	17.4493	31.8840
	B100	5.00000	3.62218	.172	-2.2173	12.2173
	B150	5.20000	3.62218	.155	-2.0173	12.4173
	C75	4.26667	3.62218	.243	-2.9507	11.4840
	C100	8.13333*	3.62218	.028	.9160	15.3507
	C150	12.13333*	3.62218	.001	4.9160	19.3507
	D75	5.60000	3.62218	.126	-1.6173	12.8173
	D100	8.13333*	3.62218	.028	.9160	15.3507
	D150	3.96667	3.62218	.277	-3.2507	11.1840
	E75	3.06667	3.62218	.400	-4.1507	10.2840
	E100	.66667	3.62218	.854	-6.5507	7.8840
	E150	3.60000	3.62218	.324	-3.6173	10.8173
	Water100	1.03333	3.62218	.776	-6.1840	8.2507
	Water150	10.20000*	3.62218	.006	2.9827	17.4173
Pectin0.1%100ml	Control	24.06667*	3.62218	.000	16.8493	31.2840
	Water75	4.80000	3.62218	.189	-2.4173	12.0173
	Pectin0.5%75ml	2.30000	3.62218	.527	-4.9173	9.5173

Pectin0.5%100ml	-11.66667*	3.62218	.002	-18.8840	-4.4493
Pectin0.5%150ml	9.60000*	3.62218	.010	2.3827	16.8173
Pectin0.1%75ml	.20000	3.62218	.956	-7.0173	7.4173
Pectin0.1%150ml	1.06667	3.62218	.769	-6.1507	8.2840
Pectin0.05%75ml	.93333	3.62218	.797	-6.2840	8.1507
Pectin0.05%100ml	1.00000	3.62218	.783	-6.2173	8.2173
Pectin0.05%150ml	1.70000	3.62218	.640	-5.5173	8.9173
Tween800.5%75ml	2.00000	3.62218	.583	-5.2173	9.2173
Tween800.5%100ml	10.70000*	3.62218	.004	3.4827	17.9173
Tween800.5%150ml	13.60000*	3.62218	.000	6.3827	20.8173
Tween800.1%75ml	-.86667	3.62218	.812	-8.0840	6.3507
Tween800.1%100ml	6.63333	3.62218	.071	-.5840	13.8507
Tween800.1%150ml	4.53333	3.62218	.215	-2.6840	11.7507
Tween800.05%75ml	4.46667	3.62218	.221	-2.7507	11.6840
Tween800.05%100ml	19.53333*	3.62218	.000	12.3160	26.7507
Tween800.05%150ml	9.46667*	3.62218	.011	2.2493	16.6840
A75	8.70000*	3.62218	.019	1.4827	15.9173
A100	22.16667*	3.62218	.000	14.9493	29.3840
A150	14.16667*	3.62218	.000	6.9493	21.3840
B75	24.86667*	3.62218	.000	17.6493	32.0840
B100	5.20000	3.62218	.155	-2.0173	12.4173
B150	5.40000	3.62218	.140	-1.8173	12.6173
C75	4.46667	3.62218	.221	-2.7507	11.6840
C100	8.33333*	3.62218	.024	1.1160	15.5507
C150	12.33333*	3.62218	.001	5.1160	19.5507
D75	5.80000	3.62218	.114	-1.4173	13.0173
D100	8.33333*	3.62218	.024	1.1160	15.5507
D150	4.16667	3.62218	.254	-3.0507	11.3840
E75	3.26667	3.62218	.370	-3.9507	10.4840
E100	.86667	3.62218	.812	-6.3507	8.0840
E150	3.80000	3.62218	.298	-3.4173	11.0173
Water100	1.23333	3.62218	.734	-5.9840	8.4507
Water150	10.40000*	3.62218	.005	3.1827	17.6173
Pectin0.1%1 Control	23.00000*	3.62218	.000	15.7827	30.2173
50ml Water75	3.73333	3.62218	.306	-3.4840	10.9507
Pectin0.5%75ml	1.23333	3.62218	.734	-5.9840	8.4507
Pectin0.5%100ml	-12.73333*	3.62218	.001	-19.9507	-5.5160
Pectin0.5%150ml	8.53333*	3.62218	.021	1.3160	15.7507

Pectin0.1%75ml		-86667	3.62218	.812	-8.0840	6.3507
Pectin0.1%100ml		-1.06667	3.62218	.769	-8.2840	6.1507
Pectin0.05%75ml		-.13333	3.62218	.971	-7.3507	7.0840
Pectin0.05%100ml		-.06667	3.62218	.985	-7.2840	7.1507
Pectin0.05%150ml		.63333	3.62218	.862	-6.5840	7.8507
Tween800.5%75ml		.93333	3.62218	.797	-6.2840	8.1507
Tween800.5%100ml		9.63333*	3.62218	.010	2.4160	16.8507
Tween800.5%150ml		12.53333*	3.62218	.001	5.3160	19.7507
Tween800.1%75ml		-1.93333	3.62218	.595	-9.1507	5.2840
Tween800.1%100ml		5.56667	3.62218	.129	-1.6507	12.7840
Tween800.1%150ml		3.46667	3.62218	.342	-3.7507	10.6840
Tween800.05%75ml		3.40000	3.62218	.351	-3.8173	10.6173
Tween800.05%100ml		18.46667*	3.62218	.000	11.2493	25.6840
Tween800.05%150ml		8.40000*	3.62218	.023	1.1827	15.6173
A75		7.63333*	3.62218	.038	.4160	14.8507
A100		21.10000*	3.62218	.000	13.8827	28.3173
A150		13.10000*	3.62218	.001	5.8827	20.3173
B75		23.80000*	3.62218	.000	16.5827	31.0173
B100		4.13333	3.62218	.258	-3.0840	11.3507
B150		4.33333	3.62218	.235	-2.8840	11.5507
C75		3.40000	3.62218	.351	-3.8173	10.6173
C100		7.26667*	3.62218	.048	.0493	14.4840
C150		11.26667*	3.62218	.003	4.0493	18.4840
D75		4.73333	3.62218	.195	-2.4840	11.9507
D100		7.26667*	3.62218	.048	.0493	14.4840
D150		3.10000	3.62218	.395	-4.1173	10.3173
E75		2.20000	3.62218	.545	-5.0173	9.4173
E100		-.20000	3.62218	.956	-7.4173	7.0173
E150		2.73333	3.62218	.453	-4.4840	9.9507
Water100		.16667	3.62218	.963	-7.0507	7.3840
Water150		9.33333*	3.62218	.012	2.1160	16.5507
Pectin0.05% Control		23.13333*	3.62218	.000	15.9160	30.3507
75ml Water75		3.86667	3.62218	.289	-3.3507	11.0840
Pectin0.5%75ml		1.36667	3.62218	.707	-5.8507	8.5840
Pectin0.5%100ml		-12.60000*	3.62218	.001	-19.8173	-5.3827
Pectin0.5%150ml		8.66667*	3.62218	.019	1.4493	15.8840
Pectin0.1%75ml		-.73333	3.62218	.840	-7.9507	6.4840
Pectin0.1%100ml		-.93333	3.62218	.797	-8.1507	6.2840

Pectin0.1%150ml	.13333	3.62218	.971	-7.0840	7.3507
Pectin0.05%100ml	.06667	3.62218	.985	-7.1507	7.2840
Pectin0.05%150ml	.76667	3.62218	.833	-6.4507	7.9840
Tween800.5%75ml	1.06667	3.62218	.769	-6.1507	8.2840
Tween800.5%100ml	9.76667*	3.62218	.009	2.5493	16.9840
Tween800.5%150ml	12.66667*	3.62218	.001	5.4493	19.8840
Tween800.1%75ml	-1.80000	3.62218	.621	-9.0173	5.4173
Tween800.1%100ml	5.70000	3.62218	.120	-1.5173	12.9173
Tween800.1%150ml	3.60000	3.62218	.324	-3.6173	10.8173
Tween800.05%75ml	3.53333	3.62218	.333	-3.6840	10.7507
Tween800.05%100ml	18.60000*	3.62218	.000	11.3827	25.8173
Tween800.05%150ml	8.53333*	3.62218	.021	1.3160	15.7507
A75	7.76667*	3.62218	.035	.5493	14.9840
A100	21.23333*	3.62218	.000	14.0160	28.4507
A150	13.23333*	3.62218	.000	6.0160	20.4507
B75	23.93333*	3.62218	.000	16.7160	31.1507
B100	4.26667	3.62218	.243	-2.9507	11.4840
B150	4.46667	3.62218	.221	-2.7507	11.6840
C75	3.53333	3.62218	.333	-3.6840	10.7507
C100	7.40000*	3.62218	.045	.1827	14.6173
C150	11.40000*	3.62218	.002	4.1827	18.6173
D75	4.86667	3.62218	.183	-2.3507	12.0840
D100	7.40000*	3.62218	.045	.1827	14.6173
D150	3.23333	3.62218	.375	-3.9840	10.4507
E75	2.33333	3.62218	.521	-4.8840	9.5507
E100	-0.6667	3.62218	.985	-7.2840	7.1507
E150	2.86667	3.62218	.431	-4.3507	10.0840
Water100	.30000	3.62218	.934	-6.9173	7.5173
Water150	9.46667*	3.62218	.011	2.2493	16.6840
Pectin0.05% Control	23.06667*	3.62218	.000	15.8493	30.2840
100ml Water75	3.80000	3.62218	.298	-3.4173	11.0173
Pectin0.5%75ml	1.30000	3.62218	.721	-5.9173	8.5173
Pectin0.5%100ml	-12.66667*	3.62218	.001	-19.8840	-5.4493
Pectin0.5%150ml	8.60000*	3.62218	.020	1.3827	15.8173
Pectin0.1%75ml	-.80000	3.62218	.826	-8.0173	6.4173
Pectin0.1%100ml	-1.00000	3.62218	.783	-8.2173	6.2173
Pectin0.1%150ml	.06667	3.62218	.985	-7.1507	7.2840
Pectin0.05%75ml	-.06667	3.62218	.985	-7.2840	7.1507

Pectin0.05%150ml	.70000	3.62218	.847	-6.5173	7.9173
Tween800.5%75ml	1.00000	3.62218	.783	-6.2173	8.2173
Tween800.5%100ml	9.70000*	3.62218	.009	2.4827	16.9173
Tween800.5%150ml	12.60000*	3.62218	.001	5.3827	19.8173
Tween800.1%75ml	-1.86667	3.62218	.608	-9.0840	5.3507
Tween800.1%100ml	5.63333	3.62218	.124	-1.5840	12.8507
Tween800.1%150ml	3.53333	3.62218	.333	-3.6840	10.7507
Tween800.05%75ml	3.46667	3.62218	.342	-3.7507	10.6840
Tween800.05%100ml	18.53333*	3.62218	.000	11.3160	25.7507
Tween800.05%150ml	8.46667*	3.62218	.022	1.2493	15.6840
A75	7.70000*	3.62218	.037	.4827	14.9173
A100	21.16667*	3.62218	.000	13.9493	28.3840
A150	13.16667*	3.62218	.001	5.9493	20.3840
B75	23.86667*	3.62218	.000	16.6493	31.0840
B100	4.20000	3.62218	.250	-3.0173	11.4173
B150	4.40000	3.62218	.228	-2.8173	11.6173
C75	3.46667	3.62218	.342	-3.7507	10.6840
C100	7.33333*	3.62218	.047	.1160	14.5507
C150	11.33333*	3.62218	.003	4.1160	18.5507
D75	4.80000	3.62218	.189	-2.4173	12.0173
D100	7.33333*	3.62218	.047	.1160	14.5507
D150	3.16667	3.62218	.385	-4.0507	10.3840
E75	2.26667	3.62218	.533	-4.9507	9.4840
E100	-1.3333	3.62218	.971	-7.3507	7.0840
E150	2.80000	3.62218	.442	-4.4173	10.0173
Water100	.23333	3.62218	.949	-6.9840	7.4507
Water150	9.40000*	3.62218	.011	2.1827	16.6173
Pectin0.05% Control	22.36667*	3.62218	.000	15.1493	29.5840
150ml Water75	3.10000	3.62218	.395	-4.1173	10.3173
Pectin0.5%75ml	.60000	3.62218	.869	-6.6173	7.8173
Pectin0.5%100ml	-13.36667*	3.62218	.000	-20.5840	-6.1493
Pectin0.5%150ml	7.90000*	3.62218	.032	.6827	15.1173
Pectin0.1%75ml	-1.50000	3.62218	.680	-8.7173	5.7173
Pectin0.1%100ml	-1.70000	3.62218	.640	-8.9173	5.5173
Pectin0.1%150ml	-.63333	3.62218	.862	-7.8507	6.5840
Pectin0.05%75ml	-.76667	3.62218	.833	-7.9840	6.4507
Pectin0.05%100ml	-.70000	3.62218	.847	-7.9173	6.5173
Tween800.5%75ml	.30000	3.62218	.934	-6.9173	7.5173

	Tween800.5%100ml	9.00000*	3.62218	.015	1.7827	16.2173
	Tween800.5%150ml	11.90000*	3.62218	.002	4.6827	19.1173
	Tween800.1%75ml	-2.56667	3.62218	.481	-9.7840	4.6507
	Tween800.1%100ml	4.93333	3.62218	.177	-2.2840	12.1507
	Tween800.1%150ml	2.83333	3.62218	.437	-4.3840	10.0507
	Tween800.05%75ml	2.76667	3.62218	.447	-4.4507	9.9840
	Tween800.05%100ml	17.83333*	3.62218	.000	10.6160	25.0507
	Tween800.05%150ml	7.76667*	3.62218	.035	.5493	14.9840
	A75	7.00000	3.62218	.057	-.2173	14.2173
	A100	20.46667*	3.62218	.000	13.2493	27.6840
	A150	12.46667*	3.62218	.001	5.2493	19.6840
	B75	23.16667*	3.62218	.000	15.9493	30.3840
	B100	3.50000	3.62218	.337	-3.7173	10.7173
	B150	3.70000	3.62218	.310	-3.5173	10.9173
	C75	2.76667	3.62218	.447	-4.4507	9.9840
	C100	6.63333	3.62218	.071	-.5840	13.8507
	C150	10.63333*	3.62218	.004	3.4160	17.8507
	D75	4.10000	3.62218	.261	-3.1173	11.3173
	D100	6.63333	3.62218	.071	-.5840	13.8507
	D150	2.46667	3.62218	.498	-4.7507	9.6840
	E75	1.56667	3.62218	.667	-5.6507	8.7840
	E100	-.83333	3.62218	.819	-8.0507	6.3840
	E150	2.10000	3.62218	.564	-5.1173	9.3173
	Water100	-.46667	3.62218	.898	-7.6840	6.7507
	Water150	8.70000*	3.62218	.019	1.4827	15.9173
Tween800.5	Control	22.06667*	3.62218	.000	14.8493	29.2840
%75ml	Water75	2.80000	3.62218	.442	-4.4173	10.0173
	Pectin0.5%75ml	.30000	3.62218	.934	-6.9173	7.5173
	Pectin0.5%100ml	-13.66667*	3.62218	.000	-20.8840	-6.4493
	Pectin0.5%150ml	7.60000*	3.62218	.039	.3827	14.8173
	Pectin0.1%75ml	-1.80000	3.62218	.621	-9.0173	5.4173
	Pectin0.1%100ml	-2.00000	3.62218	.583	-9.2173	5.2173
	Pectin0.1%150ml	-.93333	3.62218	.797	-8.1507	6.2840
	Pectin0.05%75ml	-1.06667	3.62218	.769	-8.2840	6.1507
	Pectin0.05%100ml	-1.00000	3.62218	.783	-8.2173	6.2173
	Pectin0.05%150ml	-.30000	3.62218	.934	-7.5173	6.9173
	Tween800.5%100ml	8.70000*	3.62218	.019	1.4827	15.9173
	Tween800.5%150ml	11.60000*	3.62218	.002	4.3827	18.8173

	Tween800.1%75ml	-2.86667	3.62218	.431	-10.0840	4.3507
	Tween800.1%100ml	4.63333	3.62218	.205	-2.5840	11.8507
	Tween800.1%150ml	2.53333	3.62218	.486	-4.6840	9.7507
	Tween800.05%75ml	2.46667	3.62218	.498	-4.7507	9.6840
	Tween800.05%100ml	17.53333*	3.62218	.000	10.3160	24.7507
	Tween800.05%150ml	7.46667*	3.62218	.043	.2493	14.6840
	A75	6.70000	3.62218	.068	-.5173	13.9173
	A100	20.16667*	3.62218	.000	12.9493	27.3840
	A150	12.16667*	3.62218	.001	4.9493	19.3840
	B75	22.86667*	3.62218	.000	15.6493	30.0840
	B100	3.20000	3.62218	.380	-4.0173	10.4173
	B150	3.40000	3.62218	.351	-3.8173	10.6173
	C75	2.46667	3.62218	.498	-4.7507	9.6840
	C100	6.33333	3.62218	.085	-.8840	13.5507
	C150	10.33333*	3.62218	.006	3.1160	17.5507
	D75	3.80000	3.62218	.298	-3.4173	11.0173
	D100	6.33333	3.62218	.085	-.8840	13.5507
	D150	2.16667	3.62218	.552	-5.0507	9.3840
	E75	1.26667	3.62218	.728	-5.9507	8.4840
	E100	-1.13333	3.62218	.755	-8.3507	6.0840
	E150	1.80000	3.62218	.621	-5.4173	9.0173
	Water100	-.76667	3.62218	.833	-7.9840	6.4507
	Water150	8.40000*	3.62218	.023	1.1827	15.6173
Tween800.5	Control	13.36667*	3.62218	.000	6.1493	20.5840
%100ml	Water75	-5.90000	3.62218	.108	-13.1173	1.3173
	Pectin0.5%75ml	-8.40000*	3.62218	.023	-15.6173	-1.1827
	Pectin0.5%100ml	-22.36667*	3.62218	.000	-29.5840	-15.1493
	Pectin0.5%150ml	-1.10000	3.62218	.762	-8.3173	6.1173
	Pectin0.1%75ml	-10.50000*	3.62218	.005	-17.7173	-3.2827
	Pectin0.1%100ml	-10.70000*	3.62218	.004	-17.9173	-3.4827
	Pectin0.1%150ml	-9.63333*	3.62218	.010	-16.8507	-2.4160
	Pectin0.05%75ml	-9.76667*	3.62218	.009	-16.9840	-2.5493
	Pectin0.05%100ml	-9.70000*	3.62218	.009	-16.9173	-2.4827
	Pectin0.05%150ml	-9.00000*	3.62218	.015	-16.2173	-1.7827
	Tween800.5%75ml	-8.70000*	3.62218	.019	-15.9173	-1.4827
	Tween800.5%150ml	2.90000	3.62218	.426	-4.3173	10.1173
	Tween800.1%75ml	-11.56667*	3.62218	.002	-18.7840	-4.3493
	Tween800.1%100ml	-4.06667	3.62218	.265	-11.2840	3.1507

Tween800.1%150ml	-6.16667	3.62218	.093	-13.3840	1.0507
Tween800.05%75ml	-6.23333	3.62218	.089	-13.4507	.9840
Tween800.05%100ml	8.83333*	3.62218	.017	1.6160	16.0507
Tween800.05%150ml	-1.23333	3.62218	.734	-8.4507	5.9840
A75	-2.00000	3.62218	.583	-9.2173	5.2173
A100	11.46667*	3.62218	.002	4.2493	18.6840
A150	3.46667	3.62218	.342	-3.7507	10.6840
B75	14.16667*	3.62218	.000	6.9493	21.3840
B100	-5.50000	3.62218	.133	-12.7173	1.7173
B150	-5.30000	3.62218	.148	-12.5173	1.9173
C75	-6.23333	3.62218	.089	-13.4507	.9840
C100	-2.36667	3.62218	.516	-9.5840	4.8507
C150	1.63333	3.62218	.653	-5.5840	8.8507
D75	-4.90000	3.62218	.180	-12.1173	2.3173
D100	-2.36667	3.62218	.516	-9.5840	4.8507
D150	-6.53333	3.62218	.075	-13.7507	.6840
E75	-7.43333*	3.62218	.044	-14.6507	-.2160
E100	-9.83333*	3.62218	.008	-17.0507	-2.6160
E150	-6.90000	3.62218	.061	-14.1173	.3173
Water100	-9.46667*	3.62218	.011	-16.6840	-2.2493
Water150	-.30000	3.62218	.934	-7.5173	6.9173
Tween800.5 %150ml Control	10.46667*	3.62218	.005	3.2493	17.6840
Water75	-8.80000*	3.62218	.018	-16.0173	-1.5827
Pectin0.5%75ml	-11.30000*	3.62218	.003	-18.5173	-4.0827
Pectin0.5%100ml	-25.26667*	3.62218	.000	-32.4840	-18.0493
Pectin0.5%150ml	-4.00000	3.62218	.273	-11.2173	3.2173
Pectin0.1%75ml	-13.40000*	3.62218	.000	-20.6173	-6.1827
Pectin0.1%100ml	-13.60000*	3.62218	.000	-20.8173	-6.3827
Pectin0.1%150ml	-12.53333*	3.62218	.001	-19.7507	-5.3160
Pectin0.05%75ml	-12.66667*	3.62218	.001	-19.8840	-5.4493
Pectin0.05%100ml	-12.60000*	3.62218	.001	-19.8173	-5.3827
Pectin0.05%150ml	-11.90000*	3.62218	.002	-19.1173	-4.6827
Tween800.5%75ml	-11.60000*	3.62218	.002	-18.8173	-4.3827
Tween800.5%100ml	-2.90000	3.62218	.426	-10.1173	4.3173
Tween800.1%75ml	-14.46667*	3.62218	.000	-21.6840	-7.2493
Tween800.1%100ml	-6.96667	3.62218	.058	-14.1840	.2507
Tween800.1%150ml	-9.06667*	3.62218	.015	-16.2840	-1.8493
Tween800.05%75ml	-9.13333*	3.62218	.014	-16.3507	-1.9160

	Tween800.05%100ml	5.93333	3.62218	.106	-1.2840	13.1507
	Tween800.05%150ml	-4.13333	3.62218	.258	-11.3507	3.0840
	A75	-4.90000	3.62218	.180	-12.1173	2.3173
	A100	8.56667*	3.62218	.021	1.3493	15.7840
	A150	.56667	3.62218	.876	-6.6507	7.7840
	B75	11.26667*	3.62218	.003	4.0493	18.4840
	B100	-8.40000*	3.62218	.023	-15.6173	-1.1827
	B150	-8.20000*	3.62218	.027	-15.4173	-.9827
	C75	-9.13333*	3.62218	.014	-16.3507	-1.9160
	C100	-5.26667	3.62218	.150	-12.4840	1.9507
	C150	-1.26667	3.62218	.728	-8.4840	5.9507
	D75	-7.80000*	3.62218	.035	-15.0173	-.5827
	D100	-5.26667	3.62218	.150	-12.4840	1.9507
	D150	-9.43333*	3.62218	.011	-16.6507	-2.2160
	E75	-10.33333*	3.62218	.006	-17.5507	-3.1160
	E100	-12.73333*	3.62218	.001	-19.9507	-5.5160
	E150	-9.80000*	3.62218	.008	-17.0173	-2.5827
	Water100	-12.36667*	3.62218	.001	-19.5840	-5.1493
	Water150	-3.20000	3.62218	.380	-10.4173	4.0173
Tween800.1	Control	24.93333*	3.62218	.000	17.7160	32.1507
%75ml	Water75	5.66667	3.62218	.122	-1.5507	12.8840
	Pectin0.5%75ml	3.16667	3.62218	.385	-4.0507	10.3840
	Pectin0.5%100ml	-10.80000*	3.62218	.004	-18.0173	-3.5827
	Pectin0.5%150ml	10.46667*	3.62218	.005	3.2493	17.6840
	Pectin0.1%75ml	1.06667	3.62218	.769	-6.1507	8.2840
	Pectin0.1%100ml	.86667	3.62218	.812	-6.3507	8.0840
	Pectin0.1%150ml	1.93333	3.62218	.595	-5.2840	9.1507
	Pectin0.05%75ml	1.80000	3.62218	.621	-5.4173	9.0173
	Pectin0.05%100ml	1.86667	3.62218	.608	-5.3507	9.0840
	Pectin0.05%150ml	2.56667	3.62218	.481	-4.6507	9.7840
	Tween800.5%75ml	2.86667	3.62218	.431	-4.3507	10.0840
	Tween800.5%100ml	11.56667*	3.62218	.002	4.3493	18.7840
	Tween800.5%150ml	14.46667*	3.62218	.000	7.2493	21.6840
	Tween800.1%100ml	7.50000*	3.62218	.042	.2827	14.7173
	Tween800.1%150ml	5.40000	3.62218	.140	-1.8173	12.6173
	Tween800.05%75ml	5.33333	3.62218	.145	-1.8840	12.5507
	Tween800.05%100ml	20.40000*	3.62218	.000	13.1827	27.6173
	Tween800.05%150ml	10.33333*	3.62218	.006	3.1160	17.5507

A75	9.56667*	3.62218	.010	2.3493	16.7840
A100	23.03333*	3.62218	.000	15.8160	30.2507
A150	15.03333*	3.62218	.000	7.8160	22.2507
B75	25.73333*	3.62218	.000	18.5160	32.9507
B100	6.06667	3.62218	.098	-1.1507	13.2840
B150	6.26667	3.62218	.088	-.9507	13.4840
C75	5.33333	3.62218	.145	-1.8840	12.5507
C100	9.20000*	3.62218	.013	1.9827	16.4173
C150	13.20000*	3.62218	.000	5.9827	20.4173
D75	6.66667	3.62218	.070	-.5507	13.8840
D100	9.20000*	3.62218	.013	1.9827	16.4173
D150	5.03333	3.62218	.169	-2.1840	12.2507
E75	4.13333	3.62218	.258	-3.0840	11.3507
E100	1.73333	3.62218	.634	-5.4840	8.9507
E150	4.66667	3.62218	.202	-2.5507	11.8840
Water100	2.10000	3.62218	.564	-5.1173	9.3173
Water150	11.26667*	3.62218	.003	4.0493	18.4840
Tween800.1	17.43333*	3.62218	.000	10.2160	24.6507
%100ml					
Water75	-1.83333	3.62218	.614	-9.0507	5.3840
Pectin0.5%75ml	-4.33333	3.62218	.235	-11.5507	2.8840
Pectin0.5%100ml	-18.30000*	3.62218	.000	-25.5173	-11.0827
Pectin0.5%150ml	2.96667	3.62218	.415	-4.2507	10.1840
Pectin0.1%75ml	-6.43333	3.62218	.080	-13.6507	.7840
Pectin0.1%100ml	-6.63333	3.62218	.071	-13.8507	.5840
Pectin0.1%150ml	-5.56667	3.62218	.129	-12.7840	1.6507
Pectin0.05%75ml	-5.70000	3.62218	.120	-12.9173	1.5173
Pectin0.05%100ml	-5.63333	3.62218	.124	-12.8507	1.5840
Pectin0.05%150ml	-4.93333	3.62218	.177	-12.1507	2.2840
Tween800.5%75ml	-4.63333	3.62218	.205	-11.8507	2.5840
Tween800.5%100ml	4.06667	3.62218	.265	-3.1507	11.2840
Tween800.5%150ml	6.96667	3.62218	.058	-.2507	14.1840
Tween800.1%75ml	-7.50000*	3.62218	.042	-14.7173	-.2827
Tween800.1%150ml	-2.10000	3.62218	.564	-9.3173	5.1173
Tween800.05%75ml	-2.16667	3.62218	.552	-9.3840	5.0507
Tween800.05%100ml	12.90000*	3.62218	.001	5.6827	20.1173
Tween800.05%150ml	2.83333	3.62218	.437	-4.3840	10.0507
A75	2.06667	3.62218	.570	-5.1507	9.2840
A100	15.53333*	3.62218	.000	8.3160	22.7507

A150		7.53333*	3.62218	.041	.3160	14.7507
B75		18.23333*	3.62218	.000	11.0160	25.4507
B100		-1.43333	3.62218	.693	-8.6507	5.7840
B150		-1.23333	3.62218	.734	-8.4507	5.9840
C75		-2.16667	3.62218	.552	-9.3840	5.0507
C100		1.70000	3.62218	.640	-5.5173	8.9173
C150		5.70000	3.62218	.120	-1.5173	12.9173
D75		-.83333	3.62218	.819	-8.0507	6.3840
D100		1.70000	3.62218	.640	-5.5173	8.9173
D150		-2.46667	3.62218	.498	-9.6840	4.7507
E75		-3.36667	3.62218	.356	-10.5840	3.8507
E100		-5.76667	3.62218	.116	-12.9840	1.4507
E150		-2.83333	3.62218	.437	-10.0507	4.3840
Water100		-5.40000	3.62218	.140	-12.6173	1.8173
Water150		3.76667	3.62218	.302	-3.4507	10.9840
Tween800.1	Control	19.53333*	3.62218	.000	12.3160	26.7507
%150ml	Water75	.26667	3.62218	.942	-6.9507	7.4840
	Pectin0.5%75ml	-2.23333	3.62218	.539	-9.4507	4.9840
	Pectin0.5%100ml	-16.20000*	3.62218	.000	-23.4173	-8.9827
	Pectin0.5%150ml	5.06667	3.62218	.166	-2.1507	12.2840
	Pectin0.1%75ml	-4.33333	3.62218	.235	-11.5507	2.8840
	Pectin0.1%100ml	-4.53333	3.62218	.215	-11.7507	2.6840
	Pectin0.1%150ml	-3.46667	3.62218	.342	-10.6840	3.7507
	Pectin0.05%75ml	-3.60000	3.62218	.324	-10.8173	3.6173
	Pectin0.05%100ml	-3.53333	3.62218	.333	-10.7507	3.6840
	Pectin0.05%150ml	-2.83333	3.62218	.437	-10.0507	4.3840
	Tween800.5%75ml	-2.53333	3.62218	.486	-9.7507	4.6840
	Tween800.5%100ml	6.16667	3.62218	.093	-1.0507	13.3840
	Tween800.5%150ml	9.06667*	3.62218	.015	1.8493	16.2840
	Tween800.1%75ml	-5.40000	3.62218	.140	-12.6173	1.8173
	Tween800.1%100ml	2.10000	3.62218	.564	-5.1173	9.3173
	Tween800.05%75ml	-.06667	3.62218	.985	-7.2840	7.1507
	Tween800.05%100ml	15.00000*	3.62218	.000	7.7827	22.2173
	Tween800.05%150ml	4.93333	3.62218	.177	-2.2840	12.1507
	A75	4.16667	3.62218	.254	-3.0507	11.3840
	A100	17.63333*	3.62218	.000	10.4160	24.8507
	A150	9.63333*	3.62218	.010	2.4160	16.8507
	B75	20.33333*	3.62218	.000	13.1160	27.5507

B100		.66667	3.62218	.854	-6.5507	7.8840
B150		.86667	3.62218	.812	-6.3507	8.0840
C75		-.06667	3.62218	.985	-7.2840	7.1507
C100		3.80000	3.62218	.298	-3.4173	11.0173
C150		7.80000*	3.62218	.035	.5827	15.0173
D75		1.26667	3.62218	.728	-5.9507	8.4840
D100		3.80000	3.62218	.298	-3.4173	11.0173
D150		-.36667	3.62218	.920	-7.5840	6.8507
E75		-1.26667	3.62218	.728	-8.4840	5.9507
E100		-3.66667	3.62218	.315	-10.8840	3.5507
E150		-.73333	3.62218	.840	-7.9507	6.4840
Water100		-3.30000	3.62218	.365	-10.5173	3.9173
Water150		5.86667	3.62218	.110	-1.3507	13.0840
Tween800.0	Control	19.60000*	3.62218	.000	12.3827	26.8173
5%75ml	Water75	.33333	3.62218	.927	-6.8840	7.5507
	Pectin0.5%75ml	-2.16667	3.62218	.552	-9.3840	5.0507
	Pectin0.5%100ml	-16.13333*	3.62218	.000	-23.3507	-8.9160
	Pectin0.5%150ml	5.13333	3.62218	.161	-2.0840	12.3507
	Pectin0.1%75ml	-4.26667	3.62218	.243	-11.4840	2.9507
	Pectin0.1%100ml	-4.46667	3.62218	.221	-11.6840	2.7507
	Pectin0.1%150ml	-3.40000	3.62218	.351	-10.6173	3.8173
	Pectin0.05%75ml	-3.53333	3.62218	.333	-10.7507	3.6840
	Pectin0.05%100ml	-3.46667	3.62218	.342	-10.6840	3.7507
	Pectin0.05%150ml	-2.76667	3.62218	.447	-9.9840	4.4507
	Tween800.5%75ml	-2.46667	3.62218	.498	-9.6840	4.7507
	Tween800.5%100ml	6.23333	3.62218	.089	-.9840	13.4507
	Tween800.5%150ml	9.13333*	3.62218	.014	1.9160	16.3507
	Tween800.1%75ml	-5.33333	3.62218	.145	-12.5507	1.8840
	Tween800.1%100ml	2.16667	3.62218	.552	-5.0507	9.3840
	Tween800.1%150ml	.06667	3.62218	.985	-7.1507	7.2840
	Tween800.05%100ml	15.06667*	3.62218	.000	7.8493	22.2840
	Tween800.05%150ml	5.00000	3.62218	.172	-2.2173	12.2173
	A75	4.23333	3.62218	.246	-2.9840	11.4507
	A100	17.70000*	3.62218	.000	10.4827	24.9173
	A150	9.70000*	3.62218	.009	2.4827	16.9173
	B75	20.40000*	3.62218	.000	13.1827	27.6173
	B100	.73333	3.62218	.840	-6.4840	7.9507
	B150	.93333	3.62218	.797	-6.2840	8.1507

C75		.00000	3.62218	1.000	-7.2173	7.2173
C100		3.86667	3.62218	.289	-3.3507	11.0840
C150		7.86667*	3.62218	.033	.6493	15.0840
D75		1.33333	3.62218	.714	-5.8840	8.5507
D100		3.86667	3.62218	.289	-3.3507	11.0840
D150		-.30000	3.62218	.934	-7.5173	6.9173
E75		-1.20000	3.62218	.741	-8.4173	6.0173
E100		-3.60000	3.62218	.324	-10.8173	3.6173
E150		-.66667	3.62218	.854	-7.8840	6.5507
Water100		-3.23333	3.62218	.375	-10.4507	3.9840
Water150		5.93333	3.62218	.106	-1.2840	13.1507
Tween800.0	Control	4.53333	3.62218	.215	-2.6840	11.7507
5%100ml	Water75	-14.73333*	3.62218	.000	-21.9507	-7.5160
	Pectin0.5%75ml	-17.23333*	3.62218	.000	-24.4507	-10.0160
	Pectin0.5%100ml	-31.20000*	3.62218	.000	-38.4173	-23.9827
	Pectin0.5%150ml	-9.93333*	3.62218	.008	-17.1507	-2.7160
	Pectin0.1%75ml	-19.33333*	3.62218	.000	-26.5507	-12.1160
	Pectin0.1%100ml	-19.53333*	3.62218	.000	-26.7507	-12.3160
	Pectin0.1%150ml	-18.46667*	3.62218	.000	-25.6840	-11.2493
	Pectin0.05%75ml	-18.60000*	3.62218	.000	-25.8173	-11.3827
	Pectin0.05%100ml	-18.53333*	3.62218	.000	-25.7507	-11.3160
	Pectin0.05%150ml	-17.83333*	3.62218	.000	-25.0507	-10.6160
	Tween800.5%75ml	-17.53333*	3.62218	.000	-24.7507	-10.3160
	Tween800.5%100ml	-8.83333*	3.62218	.017	-16.0507	-1.6160
	Tween800.5%150ml	-5.93333	3.62218	.106	-13.1507	1.2840
	Tween800.1%75ml	-20.40000*	3.62218	.000	-27.6173	-13.1827
	Tween800.1%100ml	-12.90000*	3.62218	.001	-20.1173	-5.6827
	Tween800.1%150ml	-15.00000*	3.62218	.000	-22.2173	-7.7827
	Tween800.05%75ml	-15.06667*	3.62218	.000	-22.2840	-7.8493
	Tween800.05%150ml	-10.06667*	3.62218	.007	-17.2840	-2.8493
A75		-10.83333*	3.62218	.004	-18.0507	-3.6160
A100		2.63333	3.62218	.470	-4.5840	9.8507
A150		-5.36667	3.62218	.143	-12.5840	1.8507
B75		5.33333	3.62218	.145	-1.8840	12.5507
B100		-14.33333*	3.62218	.000	-21.5507	-7.1160
B150		-14.13333*	3.62218	.000	-21.3507	-6.9160
C75		-15.06667*	3.62218	.000	-22.2840	-7.8493
C100		-11.20000*	3.62218	.003	-18.4173	-3.9827

C150		-7.20000	3.62218	.051	-14.4173	.0173
D75		-13.73333*	3.62218	.000	-20.9507	-6.5160
D100		-11.20000*	3.62218	.003	-18.4173	-3.9827
D150		-15.36667*	3.62218	.000	-22.5840	-8.1493
E75		-16.26667*	3.62218	.000	-23.4840	-9.0493
E100		-18.66667*	3.62218	.000	-25.8840	-11.4493
E150		-15.73333*	3.62218	.000	-22.9507	-8.5160
Water100		-18.30000*	3.62218	.000	-25.5173	-11.0827
Water150		-9.13333*	3.62218	.014	-16.3507	-1.9160
Tween800.0	Control	14.60000*	3.62218	.000	7.3827	21.8173
5%150ml	Water75	-4.66667	3.62218	.202	-11.8840	2.5507
	Pectin0.5%75ml	-7.16667	3.62218	.052	-14.3840	.0507
	Pectin0.5%100ml	-21.13333*	3.62218	.000	-28.3507	-13.9160
	Pectin0.5%150ml	.13333	3.62218	.971	-7.0840	7.3507
	Pectin0.1%75ml	-9.26667*	3.62218	.013	-16.4840	-2.0493
	Pectin0.1%100ml	-9.46667*	3.62218	.011	-16.6840	-2.2493
	Pectin0.1%150ml	-8.40000*	3.62218	.023	-15.6173	-1.1827
	Pectin0.05%75ml	-8.53333*	3.62218	.021	-15.7507	-1.3160
	Pectin0.05%100ml	-8.46667*	3.62218	.022	-15.6840	-1.2493
	Pectin0.05%150ml	-7.76667*	3.62218	.035	-14.9840	-.5493
	Tween800.5%75ml	-7.46667*	3.62218	.043	-14.6840	-.2493
	Tween800.5%100ml	1.23333	3.62218	.734	-5.9840	8.4507
	Tween800.5%150ml	4.13333	3.62218	.258	-3.0840	11.3507
	Tween800.1%75ml	-10.33333*	3.62218	.006	-17.5507	-3.1160
	Tween800.1%100ml	-2.83333	3.62218	.437	-10.0507	4.3840
	Tween800.1%150ml	-4.93333	3.62218	.177	-12.1507	2.2840
	Tween800.05%75ml	-5.00000	3.62218	.172	-12.2173	2.2173
	Tween800.05%100ml	10.06667*	3.62218	.007	2.8493	17.2840
	A75	-.76667	3.62218	.833	-7.9840	6.4507
	A100	12.70000*	3.62218	.001	5.4827	19.9173
	A150	4.70000	3.62218	.198	-2.5173	11.9173
	B75	15.40000*	3.62218	.000	8.1827	22.6173
	B100	-4.26667	3.62218	.243	-11.4840	2.9507
	B150	-4.06667	3.62218	.265	-11.2840	3.1507
	C75	-5.00000	3.62218	.172	-12.2173	2.2173
	C100	-1.13333	3.62218	.755	-8.3507	6.0840
	C150	2.86667	3.62218	.431	-4.3507	10.0840
	D75	-3.66667	3.62218	.315	-10.8840	3.5507

	D100	-1.13333	3.62218	.755	-8.3507	6.0840
	D150	-5.30000	3.62218	.148	-12.5173	1.9173
	E75	-6.20000	3.62218	.091	-13.4173	1.0173
	E100	-8.60000*	3.62218	.020	-15.8173	-1.3827
	E150	-5.66667	3.62218	.122	-12.8840	1.5507
	Water100	-8.23333*	3.62218	.026	-15.4507	-1.0160
	Water150	.93333	3.62218	.797	-6.2840	8.1507
A75	Control	15.36667*	3.62218	.000	8.1493	22.5840
	Water75	-3.90000	3.62218	.285	-11.1173	3.3173
	Pectin0.5%75ml	-6.40000	3.62218	.081	-13.6173	.8173
	Pectin0.5%100ml	-20.36667*	3.62218	.000	-27.5840	-13.1493
	Pectin0.5%150ml	.90000	3.62218	.804	-6.3173	8.1173
	Pectin0.1%75ml	-8.50000*	3.62218	.022	-15.7173	-1.2827
	Pectin0.1%100ml	-8.70000*	3.62218	.019	-15.9173	-1.4827
	Pectin0.1%150ml	-7.63333*	3.62218	.038	-14.8507	-.4160
	Pectin0.05%75ml	-7.76667*	3.62218	.035	-14.9840	-.5493
	Pectin0.05%100ml	-7.70000*	3.62218	.037	-14.9173	-.4827
	Pectin0.05%150ml	-7.00000	3.62218	.057	-14.2173	.2173
	Tween800.5%75ml	-6.70000	3.62218	.068	-13.9173	.5173
	Tween800.5%100ml	2.00000	3.62218	.583	-5.2173	9.2173
	Tween800.5%150ml	4.90000	3.62218	.180	-2.3173	12.1173
	Tween800.1%75ml	-9.56667*	3.62218	.010	-16.7840	-2.3493
	Tween800.1%100ml	-2.06667	3.62218	.570	-9.2840	5.1507
	Tween800.1%150ml	-4.16667	3.62218	.254	-11.3840	3.0507
	Tween800.05%75ml	-4.23333	3.62218	.246	-11.4507	2.9840
	Tween800.05%100ml	10.83333*	3.62218	.004	3.6160	18.0507
	Tween800.05%150ml	.76667	3.62218	.833	-6.4507	7.9840
	A100	13.46667*	3.62218	.000	6.2493	20.6840
	A150	5.46667	3.62218	.136	-1.7507	12.6840
	B75	16.16667*	3.62218	.000	8.9493	23.3840
	B100	-3.50000	3.62218	.337	-10.7173	3.7173
	B150	-3.30000	3.62218	.365	-10.5173	3.9173
	C75	-4.23333	3.62218	.246	-11.4507	2.9840
	C100	-.36667	3.62218	.920	-7.5840	6.8507
	C150	3.63333	3.62218	.319	-3.5840	10.8507
	D75	-2.90000	3.62218	.426	-10.1173	4.3173
	D100	-.36667	3.62218	.920	-7.5840	6.8507
	D150	-4.53333	3.62218	.215	-11.7507	2.6840

	E75	-5.43333	3.62218	.138	-12.6507	1.7840
	E100	-7.83333*	3.62218	.034	-15.0507	-6.160
	E150	-4.90000	3.62218	.180	-12.1173	2.3173
	Water100	-7.46667*	3.62218	.043	-14.6840	-2.493
	Water150	1.70000	3.62218	.640	-5.5173	8.9173
A100	Control	1.90000	3.62218	.601	-5.3173	9.1173
	Water75	-17.36667*	3.62218	.000	-24.5840	-10.1493
	Pectin0.5%75ml	-19.86667*	3.62218	.000	-27.0840	-12.6493
	Pectin0.5%100ml	-33.83333*	3.62218	.000	-41.0507	-26.6160
	Pectin0.5%150ml	-12.56667*	3.62218	.001	-19.7840	-5.3493
	Pectin0.1%75ml	-21.96667*	3.62218	.000	-29.1840	-14.7493
	Pectin0.1%100ml	-22.16667*	3.62218	.000	-29.3840	-14.9493
	Pectin0.1%150ml	-21.10000*	3.62218	.000	-28.3173	-13.8827
	Pectin0.05%75ml	-21.23333*	3.62218	.000	-28.4507	-14.0160
	Pectin0.05%100ml	-21.16667*	3.62218	.000	-28.3840	-13.9493
	Pectin0.05%150ml	-20.46667*	3.62218	.000	-27.6840	-13.2493
	Tween800.5%75ml	-20.16667*	3.62218	.000	-27.3840	-12.9493
	Tween800.5%100ml	-11.46667*	3.62218	.002	-18.6840	-4.2493
	Tween800.5%150ml	-8.56667*	3.62218	.021	-15.7840	-1.3493
	Tween800.1%75ml	-23.03333*	3.62218	.000	-30.2507	-15.8160
	Tween800.1%100ml	-15.53333*	3.62218	.000	-22.7507	-8.3160
	Tween800.1%150ml	-17.63333*	3.62218	.000	-24.8507	-10.4160
	Tween800.05%75ml	-17.70000*	3.62218	.000	-24.9173	-10.4827
	Tween800.05%100ml	-2.63333	3.62218	.470	-9.8507	4.5840
	Tween800.05%150ml	-12.70000*	3.62218	.001	-19.9173	-5.4827
	A75	-13.46667*	3.62218	.000	-20.6840	-6.2493
	A150	-8.00000*	3.62218	.030	-15.2173	-.7827
	B75	2.70000	3.62218	.458	-4.5173	9.9173
	B100	-16.96667*	3.62218	.000	-24.1840	-9.7493
	B150	-16.76667*	3.62218	.000	-23.9840	-9.5493
	C75	-17.70000*	3.62218	.000	-24.9173	-10.4827
	C100	-13.83333*	3.62218	.000	-21.0507	-6.6160
	C150	-9.83333*	3.62218	.008	-17.0507	-2.6160
	D75	-16.36667*	3.62218	.000	-23.5840	-9.1493
	D100	-13.83333*	3.62218	.000	-21.0507	-6.6160
	D150	-18.00000*	3.62218	.000	-25.2173	-10.7827
	E75	-18.90000*	3.62218	.000	-26.1173	-11.6827
	E100	-21.30000*	3.62218	.000	-28.5173	-14.0827

	E150	-18.36667*	3.62218	.000	-25.5840	-11.1493
	Water100	-20.93333*	3.62218	.000	-28.1507	-13.7160
	Water150	-11.76667*	3.62218	.002	-18.9840	-4.5493
A150	Control	9.90000*	3.62218	.008	2.6827	17.1173
	Water75	-9.36667*	3.62218	.012	-16.5840	-2.1493
	Pectin0.5%75ml	-11.86667*	3.62218	.002	-19.0840	-4.6493
	Pectin0.5%100ml	-25.83333*	3.62218	.000	-33.0507	-18.6160
	Pectin0.5%150ml	-4.56667	3.62218	.211	-11.7840	2.6507
	Pectin0.1%75ml	-13.96667*	3.62218	.000	-21.1840	-6.7493
	Pectin0.1%100ml	-14.16667*	3.62218	.000	-21.3840	-6.9493
	Pectin0.1%150ml	-13.10000*	3.62218	.001	-20.3173	-5.8827
	Pectin0.05%75ml	-13.23333*	3.62218	.000	-20.4507	-6.0160
	Pectin0.05%100ml	-13.16667*	3.62218	.001	-20.3840	-5.9493
	Pectin0.05%150ml	-12.46667*	3.62218	.001	-19.6840	-5.2493
	Tween800.5%75ml	-12.16667*	3.62218	.001	-19.3840	-4.9493
	Tween800.5%100ml	-3.46667	3.62218	.342	-10.6840	3.7507
	Tween800.5%150ml	-5.6667	3.62218	.876	-7.7840	6.6507
	Tween800.1%75ml	-15.03333*	3.62218	.000	-22.2507	-7.8160
	Tween800.1%100ml	-7.53333*	3.62218	.041	-14.7507	-3.160
	Tween800.1%150ml	-9.63333*	3.62218	.010	-16.8507	-2.4160
	Tween800.05%75ml	-9.70000*	3.62218	.009	-16.9173	-2.4827
	Tween800.05%100ml	5.36667	3.62218	.143	-1.8507	12.5840
	Tween800.05%150ml	-4.70000	3.62218	.198	-11.9173	2.5173
	A75	-5.46667	3.62218	.136	-12.6840	1.7507
	A100	8.00000*	3.62218	.030	.7827	15.2173
	B75	10.70000*	3.62218	.004	3.4827	17.9173
	B100	-8.96667*	3.62218	.016	-16.1840	-1.7493
	B150	-8.76667*	3.62218	.018	-15.9840	-1.5493
	C75	-9.70000*	3.62218	.009	-16.9173	-2.4827
	C100	-5.83333	3.62218	.112	-13.0507	1.3840
	C150	-1.83333	3.62218	.614	-9.0507	5.3840
	D75	-8.36667*	3.62218	.024	-15.5840	-1.1493
	D100	-5.83333	3.62218	.112	-13.0507	1.3840
	D150	-10.00000*	3.62218	.007	-17.2173	-2.7827
	E75	-10.90000*	3.62218	.004	-18.1173	-3.6827
	E100	-13.30000*	3.62218	.000	-20.5173	-6.0827
	E150	-10.36667*	3.62218	.005	-17.5840	-3.1493
	Water100	-12.93333*	3.62218	.001	-20.1507	-5.7160

	Water150	-3.76667	3.62218	.302	-10.9840	3.4507
B75	Control	-8.0000	3.62218	.826	-8.0173	6.4173
	Water75	-20.06667*	3.62218	.000	-27.2840	-12.8493
	Pectin0.5%75ml	-22.56667*	3.62218	.000	-29.7840	-15.3493
	Pectin0.5%100ml	-36.53333*	3.62218	.000	-43.7507	-29.3160
	Pectin0.5%150ml	-15.26667*	3.62218	.000	-22.4840	-8.0493
	Pectin0.1%75ml	-24.66667*	3.62218	.000	-31.8840	-17.4493
	Pectin0.1%100ml	-24.86667*	3.62218	.000	-32.0840	-17.6493
	Pectin0.1%150ml	-23.80000*	3.62218	.000	-31.0173	-16.5827
	Pectin0.05%75ml	-23.93333*	3.62218	.000	-31.1507	-16.7160
	Pectin0.05%100ml	-23.86667*	3.62218	.000	-31.0840	-16.6493
	Pectin0.05%150ml	-23.16667*	3.62218	.000	-30.3840	-15.9493
	Tween800.5%75ml	-22.86667*	3.62218	.000	-30.0840	-15.6493
	Tween800.5%100ml	-14.16667*	3.62218	.000	-21.3840	-6.9493
	Tween800.5%150ml	-11.26667*	3.62218	.003	-18.4840	-4.0493
	Tween800.1%75ml	-25.73333*	3.62218	.000	-32.9507	-18.5160
	Tween800.1%100ml	-18.23333*	3.62218	.000	-25.4507	-11.0160
	Tween800.1%150ml	-20.33333*	3.62218	.000	-27.5507	-13.1160
	Tween800.05%75ml	-20.40000*	3.62218	.000	-27.6173	-13.1827
	Tween800.05%100ml	-5.33333	3.62218	.145	-12.5507	1.8840
	Tween800.05%150ml	-15.40000*	3.62218	.000	-22.6173	-8.1827
	A75	-16.16667*	3.62218	.000	-23.3840	-8.9493
	A100	-2.70000	3.62218	.458	-9.9173	4.5173
	A150	-10.70000*	3.62218	.004	-17.9173	-3.4827
	B100	-19.66667*	3.62218	.000	-26.8840	-12.4493
	B150	-19.46667*	3.62218	.000	-26.6840	-12.2493
	C75	-20.40000*	3.62218	.000	-27.6173	-13.1827
	C100	-16.53333*	3.62218	.000	-23.7507	-9.3160
	C150	-12.53333*	3.62218	.001	-19.7507	-5.3160
	D75	-19.06667*	3.62218	.000	-26.2840	-11.8493
	D100	-16.53333*	3.62218	.000	-23.7507	-9.3160
	D150	-20.70000*	3.62218	.000	-27.9173	-13.4827
	E75	-21.60000*	3.62218	.000	-28.8173	-14.3827
	E100	-24.00000*	3.62218	.000	-31.2173	-16.7827
	E150	-21.06667*	3.62218	.000	-28.2840	-13.8493
	Water100	-23.63333*	3.62218	.000	-30.8507	-16.4160
	Water150	-14.46667*	3.62218	.000	-21.6840	-7.2493
B100	Control	18.86667*	3.62218	.000	11.6493	26.0840

	Water75	-4.0000	3.62218	.912	-7.6173	6.8173
	Pectin0.5%75ml	-2.90000	3.62218	.426	-10.1173	4.3173
	Pectin0.5%100ml	-16.86667*	3.62218	.000	-24.0840	-9.6493
	Pectin0.5%150ml	4.40000	3.62218	.228	-2.8173	11.6173
	Pectin0.1%75ml	-5.00000	3.62218	.172	-12.2173	2.2173
	Pectin0.1%100ml	-5.20000	3.62218	.155	-12.4173	2.0173
	Pectin0.1%150ml	-4.13333	3.62218	.258	-11.3507	3.0840
	Pectin0.05%75ml	-4.26667	3.62218	.243	-11.4840	2.9507
	Pectin0.05%100ml	-4.20000	3.62218	.250	-11.4173	3.0173
	Pectin0.05%150ml	-3.50000	3.62218	.337	-10.7173	3.7173
	Tween800.5%75ml	-3.20000	3.62218	.380	-10.4173	4.0173
	Tween800.5%100ml	5.50000	3.62218	.133	-1.7173	12.7173
	Tween800.5%150ml	8.40000*	3.62218	.023	1.1827	15.6173
	Tween800.1%75ml	-6.06667	3.62218	.098	-13.2840	1.1507
	Tween800.1%100ml	1.43333	3.62218	.693	-5.7840	8.6507
	Tween800.1%150ml	-.66667	3.62218	.854	-7.8840	6.5507
	Tween800.05%75ml	-.73333	3.62218	.840	-7.9507	6.4840
	Tween800.05%100ml	14.33333*	3.62218	.000	7.1160	21.5507
	Tween800.05%150ml	4.26667	3.62218	.243	-2.9507	11.4840
	A75	3.50000	3.62218	.337	-3.7173	10.7173
	A100	16.96667*	3.62218	.000	9.7493	24.1840
	A150	8.96667*	3.62218	.016	1.7493	16.1840
	B75	19.66667*	3.62218	.000	12.4493	26.8840
	B150	.20000	3.62218	.956	-7.0173	7.4173
	C75	-.73333	3.62218	.840	-7.9507	6.4840
	C100	3.13333	3.62218	.390	-4.0840	10.3507
	C150	7.13333	3.62218	.053	-.0840	14.3507
	D75	.60000	3.62218	.869	-6.6173	7.8173
	D100	3.13333	3.62218	.390	-4.0840	10.3507
	D150	-1.03333	3.62218	.776	-8.2507	6.1840
	E75	-1.93333	3.62218	.595	-9.1507	5.2840
	E100	-4.33333	3.62218	.235	-11.5507	2.8840
	E150	-1.40000	3.62218	.700	-8.6173	5.8173
	Water100	-3.96667	3.62218	.277	-11.1840	3.2507
	Water150	5.20000	3.62218	.155	-2.0173	12.4173
B150	Control	18.66667*	3.62218	.000	11.4493	25.8840
	Water75	-6.00000	3.62218	.869	-7.8173	6.6173
	Pectin0.5%75ml	-3.10000	3.62218	.395	-10.3173	4.1173

	Pectin0.5%100ml	-17.06667*	3.62218	.000	-24.2840	-9.8493
	Pectin0.5%150ml	4.20000	3.62218	.250	-3.0173	11.4173
	Pectin0.1%75ml	-5.20000	3.62218	.155	-12.4173	2.0173
	Pectin0.1%100ml	-5.40000	3.62218	.140	-12.6173	1.8173
	Pectin0.1%150ml	-4.33333	3.62218	.235	-11.5507	2.8840
	Pectin0.05%75ml	-4.46667	3.62218	.221	-11.6840	2.7507
	Pectin0.05%100ml	-4.40000	3.62218	.228	-11.6173	2.8173
	Pectin0.05%150ml	-3.70000	3.62218	.310	-10.9173	3.5173
	Tween800.5%75ml	-3.40000	3.62218	.351	-10.6173	3.8173
	Tween800.5%100ml	5.30000	3.62218	.148	-1.9173	12.5173
	Tween800.5%150ml	8.20000*	3.62218	.027	.9827	15.4173
	Tween800.1%75ml	-6.26667	3.62218	.088	-13.4840	.9507
	Tween800.1%100ml	1.23333	3.62218	.734	-5.9840	8.4507
	Tween800.1%150ml	-.86667	3.62218	.812	-8.0840	6.3507
	Tween800.05%75ml	-.93333	3.62218	.797	-8.1507	6.2840
	Tween800.05%100ml	14.13333*	3.62218	.000	6.9160	21.3507
	Tween800.05%150ml	4.06667	3.62218	.265	-3.1507	11.2840
	A75	3.30000	3.62218	.365	-3.9173	10.5173
	A100	16.76667*	3.62218	.000	9.5493	23.9840
	A150	8.76667*	3.62218	.018	1.5493	15.9840
	B75	19.46667*	3.62218	.000	12.2493	26.6840
	B100	-.20000	3.62218	.956	-7.4173	7.0173
	C75	-.93333	3.62218	.797	-8.1507	6.2840
	C100	2.93333	3.62218	.421	-4.2840	10.1507
	C150	6.93333	3.62218	.059	-.2840	14.1507
	D75	.40000	3.62218	.912	-6.8173	7.6173
	D100	2.93333	3.62218	.421	-4.2840	10.1507
	D150	-1.23333	3.62218	.734	-8.4507	5.9840
	E75	-2.13333	3.62218	.558	-9.3507	5.0840
	E100	-4.53333	3.62218	.215	-11.7507	2.6840
	E150	-1.60000	3.62218	.660	-8.8173	5.6173
	Water100	-4.16667	3.62218	.254	-11.3840	3.0507
	Water150	5.00000	3.62218	.172	-2.2173	12.2173
C75	Control	19.60000*	3.62218	.000	12.3827	26.8173
	Water75	.33333	3.62218	.927	-6.8840	7.5507
	Pectin0.5%75ml	-2.16667	3.62218	.552	-9.3840	5.0507
	Pectin0.5%100ml	-16.13333*	3.62218	.000	-23.3507	-8.9160
	Pectin0.5%150ml	5.13333	3.62218	.161	-2.0840	12.3507

	Pectin0.1%75ml	-4.26667	3.62218	.243	-11.4840	2.9507
	Pectin0.1%100ml	-4.46667	3.62218	.221	-11.6840	2.7507
	Pectin0.1%150ml	-3.40000	3.62218	.351	-10.6173	3.8173
	Pectin0.05%75ml	-3.53333	3.62218	.333	-10.7507	3.6840
	Pectin0.05%100ml	-3.46667	3.62218	.342	-10.6840	3.7507
	Pectin0.05%150ml	-2.76667	3.62218	.447	-9.9840	4.4507
	Tween800.5%75ml	-2.46667	3.62218	.498	-9.6840	4.7507
	Tween800.5%100ml	6.23333	3.62218	.089	-.9840	13.4507
	Tween800.5%150ml	9.13333*	3.62218	.014	1.9160	16.3507
	Tween800.1%75ml	-5.33333	3.62218	.145	-12.5507	1.8840
	Tween800.1%100ml	2.16667	3.62218	.552	-5.0507	9.3840
	Tween800.1%150ml	.06667	3.62218	.985	-7.1507	7.2840
	Tween800.05%75ml	.00000	3.62218	1.000	-7.2173	7.2173
	Tween800.05%100ml	15.06667*	3.62218	.000	7.8493	22.2840
	Tween800.05%150ml	5.00000	3.62218	.172	-2.2173	12.2173
	A75	4.23333	3.62218	.246	-2.9840	11.4507
	A100	17.70000*	3.62218	.000	10.4827	24.9173
	A150	9.70000*	3.62218	.009	2.4827	16.9173
	B75	20.40000*	3.62218	.000	13.1827	27.6173
	B100	.73333	3.62218	.840	-6.4840	7.9507
	B150	.93333	3.62218	.797	-6.2840	8.1507
	C100	3.86667	3.62218	.289	-3.3507	11.0840
	C150	7.86667*	3.62218	.033	.6493	15.0840
	D75	1.33333	3.62218	.714	-5.8840	8.5507
	D100	3.86667	3.62218	.289	-3.3507	11.0840
	D150	-3.00000	3.62218	.934	-7.5173	6.9173
	E75	-1.20000	3.62218	.741	-8.4173	6.0173
	E100	-3.60000	3.62218	.324	-10.8173	3.6173
	E150	-.66667	3.62218	.854	-7.8840	6.5507
	Water100	-3.23333	3.62218	.375	-10.4507	3.9840
	Water150	5.93333	3.62218	.106	-1.2840	13.1507
C100	Control	15.73333*	3.62218	.000	8.5160	22.9507
	Water75	-3.53333	3.62218	.333	-10.7507	3.6840
	Pectin0.5%75ml	-6.03333	3.62218	.100	-13.2507	1.1840
	Pectin0.5%100ml	-20.00000*	3.62218	.000	-27.2173	-12.7827
	Pectin0.5%150ml	1.26667	3.62218	.728	-5.9507	8.4840
	Pectin0.1%75ml	-8.13333*	3.62218	.028	-15.3507	-.9160
	Pectin0.1%100ml	-8.33333*	3.62218	.024	-15.5507	-1.1160

	Pectin0.1%150ml	-7.26667*	3.62218	.048	-14.4840	-.0493
	Pectin0.05%75ml	-7.40000*	3.62218	.045	-14.6173	-.1827
	Pectin0.05%100ml	-7.33333*	3.62218	.047	-14.5507	-.1160
	Pectin0.05%150ml	-6.63333	3.62218	.071	-13.8507	.5840
	Tween800.5%75ml	-6.33333	3.62218	.085	-13.5507	.8840
	Tween800.5%100ml	2.36667	3.62218	.516	-4.8507	9.5840
	Tween800.5%150ml	5.26667	3.62218	.150	-1.9507	12.4840
	Tween800.1%75ml	-9.20000*	3.62218	.013	-16.4173	-1.9827
	Tween800.1%100ml	-1.70000	3.62218	.640	-8.9173	5.5173
	Tween800.1%150ml	-3.80000	3.62218	.298	-11.0173	3.4173
	Tween800.05%75ml	-3.86667	3.62218	.289	-11.0840	3.3507
	Tween800.05%100ml	11.20000*	3.62218	.003	3.9827	18.4173
	Tween800.05%150ml	1.13333	3.62218	.755	-6.0840	8.3507
	A75	.36667	3.62218	.920	-6.8507	7.5840
	A100	13.83333*	3.62218	.000	6.6160	21.0507
	A150	5.83333	3.62218	.112	-1.3840	13.0507
	B75	16.53333*	3.62218	.000	9.3160	23.7507
	B100	-3.13333	3.62218	.390	-10.3507	4.0840
	B150	-2.93333	3.62218	.421	-10.1507	4.2840
	C75	-3.86667	3.62218	.289	-11.0840	3.3507
	C150	4.00000	3.62218	.273	-3.2173	11.2173
	D75	-2.53333	3.62218	.486	-9.7507	4.6840
	D100	.00000	3.62218	1.000	-7.2173	7.2173
	D150	-4.16667	3.62218	.254	-11.3840	3.0507
	E75	-5.06667	3.62218	.166	-12.2840	2.1507
	E100	-7.46667*	3.62218	.043	-14.6840	-.2493
	E150	-4.53333	3.62218	.215	-11.7507	2.6840
	Water100	-7.10000	3.62218	.054	-14.3173	.1173
	Water150	2.06667	3.62218	.570	-5.1507	9.2840
C150	Control	11.73333*	3.62218	.002	4.5160	18.9507
	Water75	-7.53333*	3.62218	.041	-14.7507	-.3160
	Pectin0.5%75ml	-10.03333*	3.62218	.007	-17.2507	-2.8160
	Pectin0.5%100ml	-24.00000*	3.62218	.000	-31.2173	-16.7827
	Pectin0.5%150ml	-2.73333	3.62218	.453	-9.9507	4.4840
	Pectin0.1%75ml	-12.13333*	3.62218	.001	-19.3507	-4.9160
	Pectin0.1%100ml	-12.33333*	3.62218	.001	-19.5507	-5.1160
	Pectin0.1%150ml	-11.26667*	3.62218	.003	-18.4840	-4.0493
	Pectin0.05%75ml	-11.40000*	3.62218	.002	-18.6173	-4.1827

	Pectin0.05%100ml	-11.33333*	3.62218	.003	-18.5507	-4.1160
	Pectin0.05%150ml	-10.63333*	3.62218	.004	-17.8507	-3.4160
	Tween800.5%75ml	-10.33333*	3.62218	.006	-17.5507	-3.1160
	Tween800.5%100ml	-1.63333	3.62218	.653	-8.8507	5.5840
	Tween800.5%150ml	1.26667	3.62218	.728	-5.9507	8.4840
	Tween800.1%75ml	-13.20000*	3.62218	.000	-20.4173	-5.9827
	Tween800.1%100ml	-5.70000	3.62218	.120	-12.9173	1.5173
	Tween800.1%150ml	-7.80000*	3.62218	.035	-15.0173	-.5827
	Tween800.05%75ml	-7.86667*	3.62218	.033	-15.0840	-.6493
	Tween800.05%100ml	7.20000	3.62218	.051	-.0173	14.4173
	Tween800.05%150ml	-2.86667	3.62218	.431	-10.0840	4.3507
	A75	-3.63333	3.62218	.319	-10.8507	3.5840
	A100	9.83333*	3.62218	.008	2.6160	17.0507
	A150	1.83333	3.62218	.614	-5.3840	9.0507
	B75	12.53333*	3.62218	.001	5.3160	19.7507
	B100	-7.13333	3.62218	.053	-14.3507	.0840
	B150	-6.93333	3.62218	.059	-14.1507	.2840
	C75	-7.86667*	3.62218	.033	-15.0840	-.6493
	C100	-4.00000	3.62218	.273	-11.2173	3.2173
	D75	-6.53333	3.62218	.075	-13.7507	.6840
	D100	-4.00000	3.62218	.273	-11.2173	3.2173
	D150	-8.16667*	3.62218	.027	-15.3840	-.9493
	E75	-9.06667*	3.62218	.015	-16.2840	-1.8493
	E100	-11.46667*	3.62218	.002	-18.6840	-4.2493
	E150	-8.53333*	3.62218	.021	-15.7507	-1.3160
	Water100	-11.10000*	3.62218	.003	-18.3173	-3.8827
	Water150	-1.93333	3.62218	.595	-9.1507	5.2840
D75	Control	18.26667*	3.62218	.000	11.0493	25.4840
	Water75	-1.00000	3.62218	.783	-8.2173	6.2173
	Pectin0.5%75ml	-3.50000	3.62218	.337	-10.7173	3.7173
	Pectin0.5%100ml	-17.46667*	3.62218	.000	-24.6840	-10.2493
	Pectin0.5%150ml	3.80000	3.62218	.298	-3.4173	11.0173
	Pectin0.1%75ml	-5.60000	3.62218	.126	-12.8173	1.6173
	Pectin0.1%100ml	-5.80000	3.62218	.114	-13.0173	1.4173
	Pectin0.1%150ml	-4.73333	3.62218	.195	-11.9507	2.4840
	Pectin0.05%75ml	-4.86667	3.62218	.183	-12.0840	2.3507
	Pectin0.05%100ml	-4.80000	3.62218	.189	-12.0173	2.4173
	Pectin0.05%150ml	-4.10000	3.62218	.261	-11.3173	3.1173

	Tween800.5%75ml	-3.80000	3.62218	.298	-11.0173	3.4173
	Tween800.5%100ml	4.90000	3.62218	.180	-2.3173	12.1173
	Tween800.5%150ml	7.80000*	3.62218	.035	.5827	15.0173
	Tween800.1%75ml	-6.66667	3.62218	.070	-13.8840	.5507
	Tween800.1%100ml	.83333	3.62218	.819	-6.3840	8.0507
	Tween800.1%150ml	-1.26667	3.62218	.728	-8.4840	5.9507
	Tween800.05%75ml	-1.33333	3.62218	.714	-8.5507	5.8840
	Tween800.05%100ml	13.73333*	3.62218	.000	6.5160	20.9507
	Tween800.05%150ml	3.66667	3.62218	.315	-3.5507	10.8840
	A75	2.90000	3.62218	.426	-4.3173	10.1173
	A100	16.36667*	3.62218	.000	9.1493	23.5840
	A150	8.36667*	3.62218	.024	1.1493	15.5840
	B75	19.06667*	3.62218	.000	11.8493	26.2840
	B100	-.60000	3.62218	.869	-7.8173	6.6173
	B150	-.40000	3.62218	.912	-7.6173	6.8173
	C75	-1.33333	3.62218	.714	-8.5507	5.8840
	C100	2.53333	3.62218	.486	-4.6840	9.7507
	C150	6.53333	3.62218	.075	-.6840	13.7507
	D100	2.53333	3.62218	.486	-4.6840	9.7507
	D150	-1.63333	3.62218	.653	-8.8507	5.5840
	E75	-2.53333	3.62218	.486	-9.7507	4.6840
	E100	-4.93333	3.62218	.177	-12.1507	2.2840
	E150	-2.00000	3.62218	.583	-9.2173	5.2173
	Water100	-4.56667	3.62218	.211	-11.7840	2.6507
	Water150	4.60000	3.62218	.208	-2.6173	11.8173
D100	Control	15.73333*	3.62218	.000	8.5160	22.9507
	Water75	-3.53333	3.62218	.333	-10.7507	3.6840
	Pectin0.5%75ml	-6.03333	3.62218	.100	-13.2507	1.1840
	Pectin0.5%100ml	-20.00000*	3.62218	.000	-27.2173	-12.7827
	Pectin0.5%150ml	1.26667	3.62218	.728	-5.9507	8.4840
	Pectin0.1%75ml	-8.13333*	3.62218	.028	-15.3507	-.9160
	Pectin0.1%100ml	-8.33333*	3.62218	.024	-15.5507	-1.1160
	Pectin0.1%150ml	-7.26667*	3.62218	.048	-14.4840	-.0493
	Pectin0.05%75ml	-7.40000*	3.62218	.045	-14.6173	-.1827
	Pectin0.05%100ml	-7.33333*	3.62218	.047	-14.5507	-.1160
	Pectin0.05%150ml	-6.63333	3.62218	.071	-13.8507	.5840
	Tween800.5%75ml	-6.33333	3.62218	.085	-13.5507	.8840
	Tween800.5%100ml	2.36667	3.62218	.516	-4.8507	9.5840

	Tween800.5%150ml	5.26667	3.62218	.150	-1.9507	12.4840
	Tween800.1%75ml	-9.20000*	3.62218	.013	-16.4173	-1.9827
	Tween800.1%100ml	-1.70000	3.62218	.640	-8.9173	5.5173
	Tween800.1%150ml	-3.80000	3.62218	.298	-11.0173	3.4173
	Tween800.05%75ml	-3.86667	3.62218	.289	-11.0840	3.3507
	Tween800.05%100ml	11.20000*	3.62218	.003	3.9827	18.4173
	Tween800.05%150ml	1.13333	3.62218	.755	-6.0840	8.3507
	A75	.36667	3.62218	.920	-6.8507	7.5840
	A100	13.83333*	3.62218	.000	6.6160	21.0507
	A150	5.83333	3.62218	.112	-1.3840	13.0507
	B75	16.53333*	3.62218	.000	9.3160	23.7507
	B100	-3.13333	3.62218	.390	-10.3507	4.0840
	B150	-2.93333	3.62218	.421	-10.1507	4.2840
	C75	-3.86667	3.62218	.289	-11.0840	3.3507
	C100	.00000	3.62218	1.000	-7.2173	7.2173
	C150	4.00000	3.62218	.273	-3.2173	11.2173
	D75	-2.53333	3.62218	.486	-9.7507	4.6840
	D150	-4.16667	3.62218	.254	-11.3840	3.0507
	E75	-5.06667	3.62218	.166	-12.2840	2.1507
	E100	-7.46667*	3.62218	.043	-14.6840	-.2493
	E150	-4.53333	3.62218	.215	-11.7507	2.6840
	Water100	-7.10000	3.62218	.054	-14.3173	.1173
	Water150	2.06667	3.62218	.570	-5.1507	9.2840
D150	Control	19.90000*	3.62218	.000	12.6827	27.1173
	Water75	.63333	3.62218	.862	-6.5840	7.8507
	Pectin0.5%75ml	-1.86667	3.62218	.608	-9.0840	5.3507
	Pectin0.5%100ml	-15.83333*	3.62218	.000	-23.0507	-8.6160
	Pectin0.5%150ml	5.43333	3.62218	.138	-1.7840	12.6507
	Pectin0.1%75ml	-3.96667	3.62218	.277	-11.1840	3.2507
	Pectin0.1%100ml	-4.16667	3.62218	.254	-11.3840	3.0507
	Pectin0.1%150ml	-3.10000	3.62218	.395	-10.3173	4.1173
	Pectin0.05%75ml	-3.23333	3.62218	.375	-10.4507	3.9840
	Pectin0.05%100ml	-3.16667	3.62218	.385	-10.3840	4.0507
	Pectin0.05%150ml	-2.46667	3.62218	.498	-9.6840	4.7507
	Tween800.5%75ml	-2.16667	3.62218	.552	-9.3840	5.0507
	Tween800.5%100ml	6.53333	3.62218	.075	-.6840	13.7507
	Tween800.5%150ml	9.43333*	3.62218	.011	2.2160	16.6507
	Tween800.1%75ml	-5.03333	3.62218	.169	-12.2507	2.1840

	Tween800.1%100ml	2.46667	3.62218	.498	-4.7507	9.6840
	Tween800.1%150ml	.36667	3.62218	.920	-6.8507	7.5840
	Tween800.05%75ml	.30000	3.62218	.934	-6.9173	7.5173
	Tween800.05%100ml	15.36667*	3.62218	.000	8.1493	22.5840
	Tween800.05%150ml	5.30000	3.62218	.148	-1.9173	12.5173
	A75	4.53333	3.62218	.215	-2.6840	11.7507
	A100	18.00000*	3.62218	.000	10.7827	25.2173
	A150	10.00000*	3.62218	.007	2.7827	17.2173
	B75	20.70000*	3.62218	.000	13.4827	27.9173
	B100	1.03333	3.62218	.776	-6.1840	8.2507
	B150	1.23333	3.62218	.734	-5.9840	8.4507
	C75	.30000	3.62218	.934	-6.9173	7.5173
	C100	4.16667	3.62218	.254	-3.0507	11.3840
	C150	8.16667*	3.62218	.027	.9493	15.3840
	D75	1.63333	3.62218	.653	-5.5840	8.8507
	D100	4.16667	3.62218	.254	-3.0507	11.3840
	E75	-90000	3.62218	.804	-8.1173	6.3173
	E100	-3.30000	3.62218	.365	-10.5173	3.9173
	E150	-.36667	3.62218	.920	-7.5840	6.8507
	Water100	-2.93333	3.62218	.421	-10.1507	4.2840
	Water150	6.23333	3.62218	.089	-.9840	13.4507
E75	Control	20.80000*	3.62218	.000	13.5827	28.0173
	Water75	1.53333	3.62218	.673	-5.6840	8.7507
	Pectin0.5%75ml	-.96667	3.62218	.790	-8.1840	6.2507
	Pectin0.5%100ml	-14.93333*	3.62218	.000	-22.1507	-7.7160
	Pectin0.5%150ml	6.33333	3.62218	.085	-.8840	13.5507
	Pectin0.1%75ml	-3.06667	3.62218	.400	-10.2840	4.1507
	Pectin0.1%100ml	-3.26667	3.62218	.370	-10.4840	3.9507
	Pectin0.1%150ml	-2.20000	3.62218	.545	-9.4173	5.0173
	Pectin0.05%75ml	-2.33333	3.62218	.521	-9.5507	4.8840
	Pectin0.05%100ml	-2.26667	3.62218	.533	-9.4840	4.9507
	Pectin0.05%150ml	-1.56667	3.62218	.667	-8.7840	5.6507
	Tween800.5%75ml	-1.26667	3.62218	.728	-8.4840	5.9507
	Tween800.5%100ml	7.43333*	3.62218	.044	.2160	14.6507
	Tween800.5%150ml	10.33333*	3.62218	.006	3.1160	17.5507
	Tween800.1%75ml	-4.13333	3.62218	.258	-11.3507	3.0840
	Tween800.1%100ml	3.36667	3.62218	.356	-3.8507	10.5840
	Tween800.1%150ml	1.26667	3.62218	.728	-5.9507	8.4840

	Tween800.05%75ml	1.20000	3.62218	.741	-6.0173	8.4173
	Tween800.05%100ml	16.26667*	3.62218	.000	9.0493	23.4840
	Tween800.05%150ml	6.20000	3.62218	.091	-1.0173	13.4173
	A75	5.43333	3.62218	.138	-1.7840	12.6507
	A100	18.90000*	3.62218	.000	11.6827	26.1173
	A150	10.90000*	3.62218	.004	3.6827	18.1173
	B75	21.60000*	3.62218	.000	14.3827	28.8173
	B100	1.93333	3.62218	.595	-5.2840	9.1507
	B150	2.13333	3.62218	.558	-5.0840	9.3507
	C75	1.20000	3.62218	.741	-6.0173	8.4173
	C100	5.06667	3.62218	.166	-2.1507	12.2840
	C150	9.06667*	3.62218	.015	1.8493	16.2840
	D75	2.53333	3.62218	.486	-4.6840	9.7507
	D100	5.06667	3.62218	.166	-2.1507	12.2840
	D150	.90000	3.62218	.804	-6.3173	8.1173
	E100	-2.40000	3.62218	.510	-9.6173	4.8173
	E150	.53333	3.62218	.883	-6.6840	7.7507
	Water100	-2.03333	3.62218	.576	-9.2507	5.1840
	Water150	7.13333	3.62218	.053	-.0840	14.3507
E100	Control	23.20000*	3.62218	.000	15.9827	30.4173
	Water75	3.93333	3.62218	.281	-3.2840	11.1507
	Pectin0.5%75ml	1.43333	3.62218	.693	-5.7840	8.6507
	Pectin0.5%100ml	-12.53333*	3.62218	.001	-19.7507	-5.3160
	Pectin0.5%150ml	8.73333*	3.62218	.018	1.5160	15.9507
	Pectin0.1%75ml	-.66667	3.62218	.854	-7.8840	6.5507
	Pectin0.1%100ml	-.86667	3.62218	.812	-8.0840	6.3507
	Pectin0.1%150ml	.20000	3.62218	.956	-7.0173	7.4173
	Pectin0.05%75ml	.06667	3.62218	.985	-7.1507	7.2840
	Pectin0.05%100ml	.13333	3.62218	.971	-7.0840	7.3507
	Pectin0.05%150ml	.83333	3.62218	.819	-6.3840	8.0507
	Tween800.5%75ml	1.13333	3.62218	.755	-6.0840	8.3507
	Tween800.5%100ml	9.83333*	3.62218	.008	2.6160	17.0507
	Tween800.5%150ml	12.73333*	3.62218	.001	5.5160	19.9507
	Tween800.1%75ml	-1.73333	3.62218	.634	-8.9507	5.4840
	Tween800.1%100ml	5.76667	3.62218	.116	-1.4507	12.9840
	Tween800.1%150ml	3.66667	3.62218	.315	-3.5507	10.8840
	Tween800.05%75ml	3.60000	3.62218	.324	-3.6173	10.8173
	Tween800.05%100ml	18.66667*	3.62218	.000	11.4493	25.8840

	Tween800.05%150ml	8.60000*	3.62218	.020	1.3827	15.8173
	A75	7.83333*	3.62218	.034	.6160	15.0507
	A100	21.30000*	3.62218	.000	14.0827	28.5173
	A150	13.30000*	3.62218	.000	6.0827	20.5173
	B75	24.00000*	3.62218	.000	16.7827	31.2173
	B100	4.33333	3.62218	.235	-2.8840	11.5507
	B150	4.53333	3.62218	.215	-2.6840	11.7507
	C75	3.60000	3.62218	.324	-3.6173	10.8173
	C100	7.46667*	3.62218	.043	.2493	14.6840
	C150	11.46667*	3.62218	.002	4.2493	18.6840
	D75	4.93333	3.62218	.177	-2.2840	12.1507
	D100	7.46667*	3.62218	.043	.2493	14.6840
	D150	3.30000	3.62218	.365	-3.9173	10.5173
	E75	2.40000	3.62218	.510	-4.8173	9.6173
	E150	2.93333	3.62218	.421	-4.2840	10.1507
	Water100	.36667	3.62218	.920	-6.8507	7.5840
	Water150	9.53333*	3.62218	.010	2.3160	16.7507
E150	Control	20.26667*	3.62218	.000	13.0493	27.4840
	Water75	1.00000	3.62218	.783	-6.2173	8.2173
	Pectin0.5%75ml	-1.50000	3.62218	.680	-8.7173	5.7173
	Pectin0.5%100ml	-15.46667*	3.62218	.000	-22.6840	-8.2493
	Pectin0.5%150ml	5.80000	3.62218	.114	-1.4173	13.0173
	Pectin0.1%75ml	-3.60000	3.62218	.324	-10.8173	3.6173
	Pectin0.1%100ml	-3.80000	3.62218	.298	-11.0173	3.4173
	Pectin0.1%150ml	-2.73333	3.62218	.453	-9.9507	4.4840
	Pectin0.05%75ml	-2.86667	3.62218	.431	-10.0840	4.3507
	Pectin0.05%100ml	-2.80000	3.62218	.442	-10.0173	4.4173
	Pectin0.05%150ml	-2.10000	3.62218	.564	-9.3173	5.1173
	Tween800.5%75ml	-1.80000	3.62218	.621	-9.0173	5.4173
	Tween800.5%100ml	6.90000	3.62218	.061	-.3173	14.1173
	Tween800.5%150ml	9.80000*	3.62218	.008	2.5827	17.0173
	Tween800.1%75ml	-4.66667	3.62218	.202	-11.8840	2.5507
	Tween800.1%100ml	2.83333	3.62218	.437	-4.3840	10.0507
	Tween800.1%150ml	.73333	3.62218	.840	-6.4840	7.9507
	Tween800.05%75ml	.66667	3.62218	.854	-6.5507	7.8840
	Tween800.05%100ml	15.73333*	3.62218	.000	8.5160	22.9507
	Tween800.05%150ml	5.66667	3.62218	.122	-1.5507	12.8840
	A75	4.90000	3.62218	.180	-2.3173	12.1173

A100		18.36667*	3.62218	.000	11.1493	25.5840
A150		10.36667*	3.62218	.005	3.1493	17.5840
B75		21.06667*	3.62218	.000	13.8493	28.2840
B100		1.40000	3.62218	.700	-5.8173	8.6173
B150		1.60000	3.62218	.660	-5.6173	8.8173
C75		.66667	3.62218	.854	-6.5507	7.8840
C100		4.53333	3.62218	.215	-2.6840	11.7507
C150		8.53333*	3.62218	.021	1.3160	15.7507
D75		2.00000	3.62218	.583	-5.2173	9.2173
D100		4.53333	3.62218	.215	-2.6840	11.7507
D150		.36667	3.62218	.920	-6.8507	7.5840
E75		-.53333	3.62218	.883	-7.7507	6.6840
E100		-2.93333	3.62218	.421	-10.1507	4.2840
Water100		-2.56667	3.62218	.481	-9.7840	4.6507
Water150		6.60000	3.62218	.072	-.6173	13.8173
Water100	Control	22.83333*	3.62218	.000	15.6160	30.0507
	Water75	3.56667	3.62218	.328	-3.6507	10.7840
	Pectin0.5%75ml	1.06667	3.62218	.769	-6.1507	8.2840
	Pectin0.5%100ml	-12.90000*	3.62218	.001	-20.1173	-5.6827
	Pectin0.5%150ml	8.36667*	3.62218	.024	1.1493	15.5840
	Pectin0.1%75ml	-1.03333	3.62218	.776	-8.2507	6.1840
	Pectin0.1%100ml	-1.23333	3.62218	.734	-8.4507	5.9840
	Pectin0.1%150ml	-.16667	3.62218	.963	-7.3840	7.0507
	Pectin0.05%75ml	-.30000	3.62218	.934	-7.5173	6.9173
	Pectin0.05%100ml	-.23333	3.62218	.949	-7.4507	6.9840
	Pectin0.05%150ml	.46667	3.62218	.898	-6.7507	7.6840
	Tween800.5%75ml	.76667	3.62218	.833	-6.4507	7.9840
	Tween800.5%100ml	9.46667*	3.62218	.011	2.2493	16.6840
	Tween800.5%150ml	12.36667*	3.62218	.001	5.1493	19.5840
	Tween800.1%75ml	-2.10000	3.62218	.564	-9.3173	5.1173
	Tween800.1%100ml	5.40000	3.62218	.140	-1.8173	12.6173
	Tween800.1%150ml	3.30000	3.62218	.365	-3.9173	10.5173
	Tween800.05%75ml	3.23333	3.62218	.375	-3.9840	10.4507
	Tween800.05%100ml	18.30000*	3.62218	.000	11.0827	25.5173
	Tween800.05%150ml	8.23333*	3.62218	.026	1.0160	15.4507
	A75	7.46667*	3.62218	.043	.2493	14.6840
	A100	20.93333*	3.62218	.000	13.7160	28.1507
	A150	12.93333*	3.62218	.001	5.7160	20.1507

	B75	23.63333*	3.62218	.000	16.4160	30.8507
	B100	3.96667	3.62218	.277	-3.2507	11.1840
	B150	4.16667	3.62218	.254	-3.0507	11.3840
	C75	3.23333	3.62218	.375	-3.9840	10.4507
	C100	7.10000	3.62218	.054	-.1173	14.3173
	C150	11.10000*	3.62218	.003	3.8827	18.3173
	D75	4.56667	3.62218	.211	-2.6507	11.7840
	D100	7.10000	3.62218	.054	-.1173	14.3173
	D150	2.93333	3.62218	.421	-4.2840	10.1507
	E75	2.03333	3.62218	.576	-5.1840	9.2507
	E100	-.36667	3.62218	.920	-7.5840	6.8507
	E150	2.56667	3.62218	.481	-4.6507	9.7840
	Water150	9.16667*	3.62218	.014	1.9493	16.3840
Water150	Control	13.66667*	3.62218	.000	6.4493	20.8840
	Water75	-5.60000	3.62218	.126	-12.8173	1.6173
	Pectin0.5%75ml	-8.10000*	3.62218	.028	-15.3173	-.8827
	Pectin0.5%100ml	-22.06667*	3.62218	.000	-29.2840	-14.8493
	Pectin0.5%150ml	-.80000	3.62218	.826	-8.0173	6.4173
	Pectin0.1%75ml	-10.20000*	3.62218	.006	-17.4173	-2.9827
	Pectin0.1%100ml	-10.40000*	3.62218	.005	-17.6173	-3.1827
	Pectin0.1%150ml	-9.33333*	3.62218	.012	-16.5507	-2.1160
	Pectin0.05%75ml	-9.46667*	3.62218	.011	-16.6840	-2.2493
	Pectin0.05%100ml	-9.40000*	3.62218	.011	-16.6173	-2.1827
	Pectin0.05%150ml	-8.70000*	3.62218	.019	-15.9173	-1.4827
	Tween800.5%75ml	-8.40000*	3.62218	.023	-15.6173	-1.1827
	Tween800.5%100ml	.30000	3.62218	.934	-6.9173	7.5173
	Tween800.5%150ml	3.20000	3.62218	.380	-4.0173	10.4173
	Tween800.1%75ml	-11.26667*	3.62218	.003	-18.4840	-4.0493
	Tween800.1%100ml	-3.76667	3.62218	.302	-10.9840	3.4507
	Tween800.1%150ml	-5.86667	3.62218	.110	-13.0840	1.3507
	Tween800.05%75ml	-5.93333	3.62218	.106	-13.1507	1.2840
	Tween800.05%100ml	9.13333*	3.62218	.014	1.9160	16.3507
	Tween800.05%150ml	-.93333	3.62218	.797	-8.1507	6.2840
	A75	-1.70000	3.62218	.640	-8.9173	5.5173
	A100	11.76667*	3.62218	.002	4.5493	18.9840
	A150	3.76667	3.62218	.302	-3.4507	10.9840
	B75	14.46667*	3.62218	.000	7.2493	21.6840

B100	-5.20000	3.62218	.155	-12.4173	2.0173
B150	-5.00000	3.62218	.172	-12.2173	2.2173
C75	-5.93333	3.62218	.106	-13.1507	1.2840
C100	-2.06667	3.62218	.570	-9.2840	5.1507
C150	1.93333	3.62218	.595	-5.2840	9.1507
D75	-4.60000	3.62218	.208	-11.8173	2.6173
D100	-2.06667	3.62218	.570	-9.2840	5.1507
D150	-6.23333	3.62218	.089	-13.4507	.9840
E75	-7.13333	3.62218	.053	-14.3507	.0840
E100	-9.53333*	3.62218	.010	-16.7507	-2.3160
E150	-6.60000	3.62218	.072	-13.8173	.6173
Water100	-9.16667*	3.62218	.014	-16.3840	-1.9493

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ขวัญศินีย์ เบ็ญหิม
วัน เดือน ปี เกิด	22 สิงหาคม 2540
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล
ผลงานตีพิมพ์	ขวัญศินีย์ เบ็ญหิม, ทรรศนีย์ พฤษภาสัทธี, รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง, สุชาดา สุขหรั่ง และ นรุตตม์ สหนาวิน. (2564). ประสิทธิภาพของสาร ไบโอพอลิเมอร์ในการลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในห้องทดสอบ จำลองแบบปิด. เอกสารประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 33. (23-24 พฤศจิกายน 2564) : 83-89.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY