ระบบสนับสนุนการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับห้องสะอาด

นายอภินันท์ ชวดชุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

An air filter selection supporting system for a clean room

Mr. Apinan Chuadchum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบสนับสนุนการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับห้องสะอาด
โดย	นายอภินันท์ ชวดชุม
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อภินันท์ ชวดชุม : ระบบสนับสนุนการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับห้องสะอาด (An air filter selection supporting system for a clean room) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, 88 หน้า.

ปัจจุบันได้มีหลายอุตสาหกรรมที่จะต้องออกแบบพื้นที่การทำงานให้เป็นแบบห้องสะอาด เพื่อควบคุมฝุ่นและสิ่งปนเปื้อน การใช้ห้องสะอาดมีต้นทุนทั้งต้นทุนด้านพลังงานระหว่างการใช้งานและต้นทุนจากการลงทุนแผ่นกรองอากาศในการกรองฝุ่นและสิ่งปนเปื้อน ผู้ออกแบบในปัจจุบันได้ใช้คู่มือในการออกแบบจากหลายๆสถาบัน เช่น สถาบัน Environmental Sciences and Technology (IEST) and Food and Drug Administration (FDA) ในการออกแบบระบบห้องสะอาด แต่คู่มือการออกแบบทั้งสองสถาบันนี้ แนะนำเพียงแค่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในระบบที่เหมาะสมสำหรับสภาพอากาศต่างๆ โดยไม่ได้แนะนำประเภทของแผ่นกรองอากาศที่เหมาะในแต่ละอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ทำให้ผู้ออกแบบต้องเลือกใช้แผ่นกรองอากาศตามความชำนาญและประสบการณ์ที่เคยมี ทำให้บางครั้งเลือกใช้แผ่นกรองอากาศที่มีคุณสมบัติเกินกว่าความต้องการหรือใช้แผ่นกรองอากาศที่มีคุณภาพต่ำ ทำให้ต้องเสียค่าพลังงานมากขึ้นในระหว่างการใช้งานเพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองเชิงเส้นในการหาค่าความเหมาะสมที่สุดของการเลือกแผ่นกรองอากาศและกำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพื่อให้ต้นทุนรวมในการใช้ห้องสะอาดต่ำสุด และได้คุณภาพอากาศตามข้อกำหนดของผู้ใช้งาน ผลเฉลยที่ได้จากโปรแกรมนี้สามารถที่จะลดต้นทุนได้ประมาณ 20% เมื่อเทียบกับการเลือกใช้แผ่นกรองตามความชำนาญและประสบการณ์ นอกจากนี้เจ้าของโครงการหรือผู้รับเหมาสามารถที่จะใช้โปรแกรมนี้ในการเลือกแนวทางในการลดต้นทุนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนด รวมถึงเข้าใจหลักการออกแบบของห้องสะอาดมากขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5670987921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: CLEAN ROOM CLASS/AIR CHANGE RATE/FILTER EFFICIENCY/LINEAR PROGRAMMING

APINAN CHUADCHUM: An air filter selection supporting system for a clean room. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR.WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, 88 pp.

Nowadays many industries need to design a clean room in a working area to control dust and contamination. Using a clean room leads to higher cost in term of filter investment to treat dust and power consumption during operation. Currently, designers use guidelines from many institutes such as the Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST) and Food and Drug Administration (FDA) to design a clean room. However, these two institutes specify only guidelines of minimum air change rates for each specific level of cleanliness without recommending proper filter series for each air change rate. Clean room designers normally select filters that follow the guidelines based upon their skills and experiences. Many designers may select filter series which are over specification or low cost that leads to higher energy consumption cost during operation to increase the air change rate. This thesis proposes a linear programing model that selects proper filter series and determine air change rate to minimize the total cost based on the requirement of air quality from user. The solution from the program can reduce cost approximately 20% comparing to selecting filters based on skills and experiences. The owners or contractors can also use this program to consider the alternatives to reduce cost if the clean room regulation is changed. At the same time, this program provides a better understanding of a clean room design.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2014		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะไม่สำเร็จได้หากไม่ได้รับความร่วมมือที่ดีจากบริษัทที่ทำงานปัจจุบัน ที่ให้โอกาสนำข้อมูลที่เกี่ยวกับด้านแผ่นกรองอากาศรวมถึงราคาตลาดในปัจจุบัน ทางบริษัทยังได้ให้ข้อมูลที่สำคัญต่อการนำไปประยุกต์ต่อในการทำวิทยานิพนธ์ ไม่ว่าจะเป็นความรู้พื้นฐานด้านการออกแบบห้องสะอาด ทฤษฎีการกรองฝุ่น และการประยุกต์ใช้แผ่นกรองอากาศ ซึ่งถือได้ว่าเป็นความรู้ที่ผู้เขียนได้จากการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณลูกค้าผู้รับเหมาก่อสร้าง ที่ให้ข้อมูลการออกแบบห้องสะอาดละชี้แนวแนวทางปัญหาในปัจจุบันให้ และพร้อมให้คำปรึกษาและข้อมูลต่างๆอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณลูกค้าเจ้าของกิจการที่ให้ความร่วมมือในการเข้าไปเก็บข้อมูล และทดลองซื้อใช้แผ่นกรองอากาศจริงที่ทำให้ผลของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สามารถประยุกต์ใช้งานจริงได้

สุดท้ายกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศและกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ดูแลชี้แนะแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมปรับแต่งเนื้อหา สอนวิธีการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการให้สามารถใช้งานได้จริง ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีเนื้อหาที่สมบูรณ์ ที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่นำแนวทางไปศึกษาต่อและไปประยุกต์ใช้กับหน้างานชนิดอื่นได้

กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

อภินันท์ ชวดชุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ลักษณะห้องสะอาด 1

1.2 ปัญหาที่พบ 7

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 10

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 10

1.5 ผลที่ได้รับ 11

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับ 11

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย 11

บทที่ 2 12

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

2.1 ทฤษฎีการจับฝุ่นของแผ่นกรองอากาศ 12

2.2 มาตรฐานการทดสอบแผ่นกรองอากาศ [4] 15

2.3 กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) [9] 20

2.4 การทบทวนวรรณกรรม 22

บทที่ 3 26

วิธีดำเนินการวิจัย 26

3.1 วิเคราะห์รูปแบบการกรองฝุ่นในห้องสะอาด 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.2 ข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการออกแบบห้องสะอาด 27

3.3 ค่าเป้าหมายในการพิจารณาทำห้องสะอาด 31

3.4 ประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ 33

3.5 การสร้างข้อมูลนำเข้าสำหรับรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 47

3.6 การเขียนโปรแกรมคำนวณตามแบบจำลอง 53

บทที่ 4 58

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 58

4.1 ตัวอย่างการใช้งาน 58

4.2 ผลการเปรียบเทียบ 63

4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย 67

บทที่ 5 72

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 72

5.1 สรุปผลการวิจัย 72

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 74

5.3 ข้อเสนอแนะ 75

รายการอ้างอิง 76

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิด 3
ตารางที่ 2 ระดับชั้นที่ระบุปริมาณฝุ่นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน FED 209E และ ISO 14644 6
ตารางที่ 3 แนวทางการเลือกใช้ชนิดของแผ่นกรองอากาศแบบปัจจุบัน 8
ตารางที่ 4 กรณีศึกษาตัวอย่างการเปรียบเทียบการออกแบบห้องสะอาดของผู้รับเหมา..... 9
ตารางที่ 5 ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการทำงานของพนักงานในแต่ละลักษณะการเคลื่อนไหว 30
ตารางที่ 6 คุณสมบัติแผ่นกรองอากาศที่จะป้อนลงในแบบจำลอง 47
ตารางที่ 7 ตัวอย่างฐานข้อมูลที่เก็บในโปรแกรม 48
ตารางที่ 8 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมการคำนวณ..... 61
ตารางที่ 9 คำตอบที่แสดงชื่อรุ่นของแผ่นกรองอากาศ 63
ตารางที่ 10 เปรียบผลจากการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศก่อนหน้าเทียบกับโปรแกรม..... 63
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบรูปแบบแผ่นกรองที่ได้ทดลองการเปลี่ยนที่ลูกค้า..... 65
ตารางที่ 12 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและรูปแบบของแผ่นกรองกรณีที่ความเข้มข้นของฝุ่นขาเข้าที่เปลี่ยนแปลงไป..... 68
ตารางที่ 13 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและรูปแบบของแผ่นกรองกรณีที่ความเข้มข้นของฝุ่นในระบบเปลี่ยนแปลงไป..... 71
ตารางที่ 14 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการเลือกแบบก่อนหน้ากับการเลือกโดยใช้โปรแกรม 72
ตารางที่ 15 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโปรแกรมต่อผู้ใช้งานต่างๆ..... 73

Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1 ตัวอย่างแผ่นกรองละเอียดประสิทธิภาพสูง HEPA (High Efficiency Particle Air) กรองฝุ่นได้ที่ประสิทธิภาพ 99.9999% 1

รูปที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบห้องสะอาด 2

รูปที่ 3 แผ่นกรองหยาบ 5

รูปที่ 4 ตัวกรองละเอียดระดับกลาง 5

รูปที่ 5 แผ่นกรองขั้นสุดท้าย 5

รูปที่ 6 ข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบห้องสะอาด 6

รูปที่ 7 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลวิธีของแรงเฉื่อยไปติดกับเส้นใยของแผ่นกรองอากาศ 13

รูปที่ 8 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลจากการดูดจับด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ 14

รูปที่ 9 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลจากการแพร่ดูดติด 14

รูปที่ 10 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลจากหลักการไฟฟ้าสถิตในการ 15

รูปที่ 11 ท่อทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 52.1 16

รูปที่ 12 ตัวกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพแบบ Arrestance 85% 17

รูปที่ 13 การทดสอบแบบ Dust Spot Efficiency 17

รูปที่ 14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบ Arrestance และ Dust Spot Efficiency 18

รูปที่ 15 ลักษณะของลำดับการกรอง ตั้งแต่อัตราลมที่เข้าจนถึงการกรองฝุ่นให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ 26

รูปที่ 16 ปริมาณฝุ่นขาเข้าโดยทั่วไป ฝุ่นในเมืองในปริมาณ 1 ลูกบาศก์ฟุต 29

รูปที่ 17 การนำข้อมูลต่างๆของกำหนดการเชิงเส้นลงในเอ็กเซล 53

รูปที่ 18 การหาผลเฉลยโดยใช้เอ็ดเซลโซลเวอร์ 54

รูปที่ 19 การเขียนคำสั่งเพื่อป้อนข้อมูลลงใน Excel Solver 55

รูปที่ 20 ตัวอย่างการออกแบบหน้าจอสำหรับผู้ใช้งานป้อนข้อมูลนำเข้า 56

รูปที่ 21 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 22 ตัวอย่างหน้าตาโปรแกรมในการแสดงคำตอบ 59
รูปที่ 23 ค่า Z-Value เมื่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น 62
รูปที่ 24 แสดงค่า Z-Value เมื่อฝุ่นด้านขาเข้าที่แตกต่างกัน 68
รูปที่ 25 ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 69

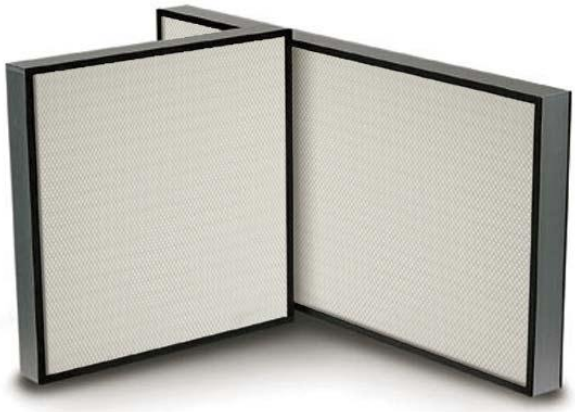
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

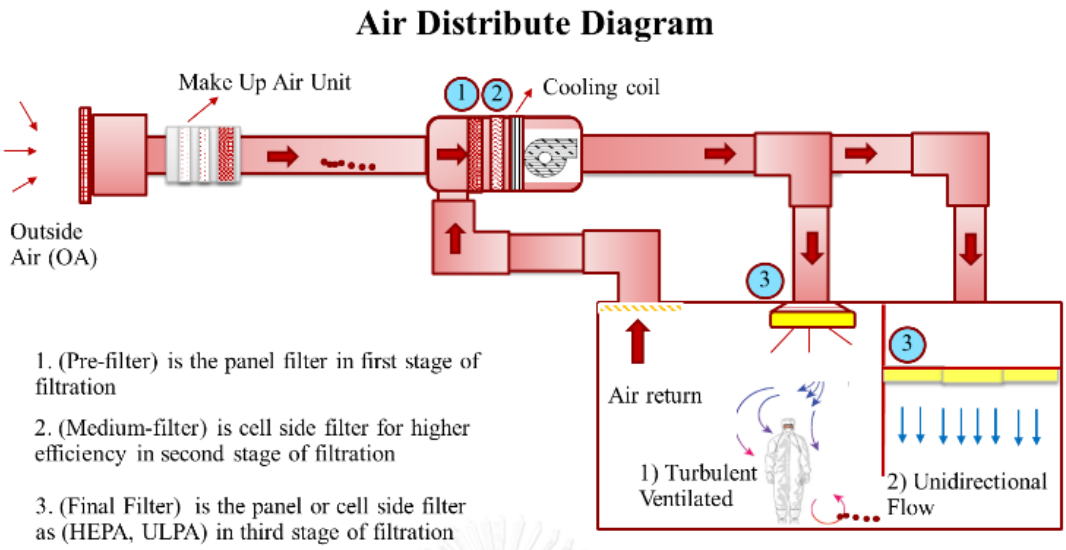
1.1 ลักษณะห้องสะอาด

ห้องสะอาด(Clean Room) คือห้องที่มีการควบคุมปริมาณฝุ่นในพื้นที่ มีมาตรการควบคุมตัวก่อกำเนิดฝุ่น ทั้งจากตัวคน เครื่องจักร อุปกรณ์ รวมถึงอากาศจากภายนอกที่จะเข้าสู่พื้นที่ควบคุมความสะอาด ไม่ว่าจะเป็นทางด้าน การเติมเต็มอากาศหรือการรั่วไหลเข้ามาของอากาศ การออกแบบห้องสะอาด โดยทั่วไปจะนิยมออกแบบให้เป็นแบบ แรงดันเป็นบวก (Positive Pressure) โดยการทำให้แรงดันอากาศภายในสูงกว่าห้องข้างเคียงเพื่อดันฝุ่นจากข้างในให้ออกข้างนอก หากระบบมีการเปิด ทั้งจากการเข้าออกของคน เครื่องจักรอุปกรณ์ หรือรอยรั่วต่างๆจากการก่อสร้างหรือชำรุดจากการใช้งาน [1] อุตสาหกรรมที่นิยมออกแบบพื้นที่การทำงานให้เป็นห้องสะอาดได้แก่ อุตสาหกรรมตู้ปลอดเชื้อ (Clean Benches) อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) อุตสาหกรรมยา (Pharmaceutical) อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารและชีวภาพ (Biotech Food processing) และโรงพยาบาล (Hospital)

เมื่อกล่าวถึงห้องสะอาดแล้วนั้น กระบวนการบำบัดอากาศโดยการกรองฝุ่นก่อนนำเข้ามาใช้งาน ถือว่าสำคัญอย่างมาก การที่จะดักกรองฝุ่นได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศในการใช้งาน ตามตัวอย่างใน รูปที่ 1 ซึ่งแผ่นกรองอากาศแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นที่แตกต่างกัน[1]



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผ่นกรองละเอียดประสิทธิภาพสูง HEPA (High Efficiency Particle Air) กรองฝุ่นได้ที่ประสิทธิภาพ 99.9999% [2]



รูปที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบห้องสะอาด [1]

โดยทั่วไปหลักการออกแบบห้องสะอาดจะมีด้วยกัน 2 ลักษณะแบ่งตามลักษณะของการไหลของอากาศที่วิ่งผ่านแผ่นกรองอากาศดังนี้ 1) Turbulent Ventilate คือการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศที่ผ่านแผ่นกรอง นิยมใช้กับห้องสะอาดที่ระดับเกณฑ์ของห้องสะอาดที่ไม่สูงมาก ฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบมีผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานที่ไม่สูงมาก และ 2) Unidirectional Flow (Laminar) คือการไหลของอากาศเป็นแบบกระแสตรงจากบนลงล่าง [3]นิยมออกแบบสำหรับห้องสะอาดที่มีระดับเกณฑ์ค่อนข้างสูง ฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบมีผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน ลักษณะของห้องสะอาดที่ดีนั้นจะต้องมีการเติมเต็มของอากาศที่มีการควบคุมปริมาณฝุ่นที่หลุดลอดมาให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ผ่านกระบวนการกรองฝุ่นตามลำดับ และฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบจะต้องนำไปบำบัดหมุนเวียนต่อ จนปริมาณฝุ่นลดลงเหลืออยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ลักษณะการกรองฝุ่นโดยทั่วไปจะมีการกรองฝุ่น ตามลำดับตามรูปที่ 2 ดังต่อไปนี้

1. ชุดกรองฝุ่นเบื้องต้น (Make Up Air Unit) เป็นการกรองฝุ่นเพื่อลดปริมาณฝุ่น ให้อยู่ในเกณฑ์การออกแบบสำหรับนำไปคำนวณการเลือกใช้ชุดแผ่นเพื่อทำห้องสะอาดในระดับต่างๆที่ต้องการ บางอุตสาหกรรมไม่มีการใช้ชุดกรองฝุ่นตัวนี้
2. การกรองฝุ่นเบื้องต้นโดยใช้แผ่นกรองหยาบ (Pre Filter) ใช้สำหรับกรองฝุ่นขนาดใหญ่ออกเบื้องต้น เพื่อลดภาระการกรองฝุ่นของตัวกรองในชั้นถัดไป แผ่นกรองหยาบจะนิยมบรรจุ

ในส่วนของเครื่องส่งลมเย็น AHU (Air Handling Unit) ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่กระบวนการทำลมเย็น โดยผ่านคอยล์เย็น นิยมออกแบบให้ใช้รับลมที่อัตราความเร็วลม 2.5 เมตรต่อนาที [4]

3. การกรองฝุ่นละเอียดขึ้นในระดับกลาง แผ่นกรองละเอียดระดับกลาง (Medium Filter) จะกรองฝุ่นขนาดที่เล็กขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงขึ้นกว่าแผ่นกรองเบื้องต้นโดยประมาณ 2 เท่า ตำแหน่งติดตั้งจะติดตั้งในชุดเป่าลมเย็น (AHU) หลังแผ่นกรองหยาบ ก่อนเข้าคอยล์เย็น ระยะห่างเว้นให้เพียงพอต่อการถอดเข้าออกเพื่อการติดตั้งและซ่อมบำรุง นิยมออกแบบให้ใช้รับลมที่อัตราความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที [4]
4. การกรองฝุ่นละเอียดขั้นสุดท้าย (Final Filter) หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า แผ่นกรองละเอียดระดับสูง (HEPA) หรือ แผ่นกรองฝุ่นละเอียดระดับสูงสุด ULPA Filter (Ultra Low Particle Air) เป็นแผ่นกรองอากาศที่ประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานนานนิยมติดตั้งที่บริเวณท่อส่งอากาศขั้นสุดท้ายหรือ ฝ้าเพดานพื้นที่การทำงาน ความเร็วลมที่ใช้งานอยู่ที่ 0.45 เมตรต่อวินาที [5]

ด้วยปัจจุบันแผ่นกรองอากาศที่มีอยู่จำนวนมากในแต่ละชนิดมีทั้งขนาดและประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไป ราคาก็แตกต่างกันตามประสิทธิภาพในแต่ละระดับตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิด [2]

Type of Filter	Product Name	Class	Efficiency Dust Spot (%)	Air Flow (CFM)	Pressure Drop (Pascal)	Price (THB)
Pre-Filter	AmAir100E	G3	20-25	2,000	17	200
	AmAir 200E	G4	25-30	2,000	28	210
	AmAir 300E	G4	30-35	2,000	38	230
Medium Filter	Dripak	F5	50-60	1,000	40	1,900
	VariCel I	F6	60-70	1,000	40	2,000
	VariCel I	F6	70-80	1,000	40	2,100
	VariCel I	F7	80-90	1,000	78	2,200
	VariCel I	F8	90-95	1,000	95	2,400

	BioCel	F8	>95	2,000	145	2,600
HEPA & ULPA Filter	AstroCel I	H10	98	1,050	320	5,200
	AstroCel I	H13	99.99	1,050	350	7,600
	AstroCel I	H14	99.997	1,050	370	6,000
	AstroCel I	H14	99.999	1,050	390	6,500
	AstroCel I	H14	99.9995	1,050	410	7,000
	AstroCel II	U15	99.99995	1050	430	7,500
	AstroCel II	U16	99.999995	1,050	450	8,000

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีชนิดของแผ่นกรองอากาศ ให้เลือกค่อนข้างหลากหลาย แต่ละชนิดคุณสมบัติก็แตกต่างกัน โดยชนิดของแผ่นกรองอากาศ (Type of filter) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดได้แก่แผ่นกรองหยาบ แผ่นกรองละเอียดระดับกลาง และแผ่นกรองละเอียดระดับสูง ซึ่งในแต่ละชนิดของแผ่นกรองจะมีชื่อรุ่นผลิตภัณฑ์ (Product Name) ที่แตกต่างกันตามการตั้งชื่อของผู้ผลิตแผ่นกรอง ซึ่งแผ่นกรองคนละผู้ผลิตจะตั้งชื่อที่แตกต่างกันไป แผ่นกรองอากาศสามารถที่จะแบ่งระดับ (Class) ตามมาตรฐานการระบุในสถาบันรับรองแผ่นกรองอากาศที่เหมือนกันทั่วโลก ซึ่งระดับตัวนี้จะสอดคล้องกับประสิทธิภาพของแผ่นกรอง (Efficiency Dust Spot) ที่สามารถเรียกใช้แทนกันได้ เพื่อป้องกันความผิดพลาดหรือความสับสนในการระบุตัวเลขได้ แผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิดและรุ่นจะมีความสามารถในการรับลม (Air Flow) ที่แตกต่างกันมีหน่วยที่ระบุเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ในขณะเดียวกันคุณสมบัติที่สำคัญของแผ่นกรองอากาศที่นำมาพิจารณาสำหรับการเลือกใช้คือ ค่าแรงดันตกคร่อมสูญเสีย (Pressure Drop) ในแต่ละแผ่นกรองเมื่อนำไปติดตั้งการใช้งานแล้วนั้น แรงดันอากาศเมื่อผ่านแผ่นกรองจะลดลง ผลต่างระหว่างแรงดันก่อนเข้าแผ่นกรองกับหลังที่ออกจากแผ่นกรองจะเรียกว่าค่า แรงดันตกคร่อมสูญเสียมีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pascal) และหัวข้อสุดท้ายที่สำคัญยิ่งของแผ่นกรองคือ ราคา (Price) ซึ่งมีผลต่อการลงทุน ราคาจะแตกต่างตามคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นกรอง

ตัวอย่างแผ่นกรองอากาศแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 3-5

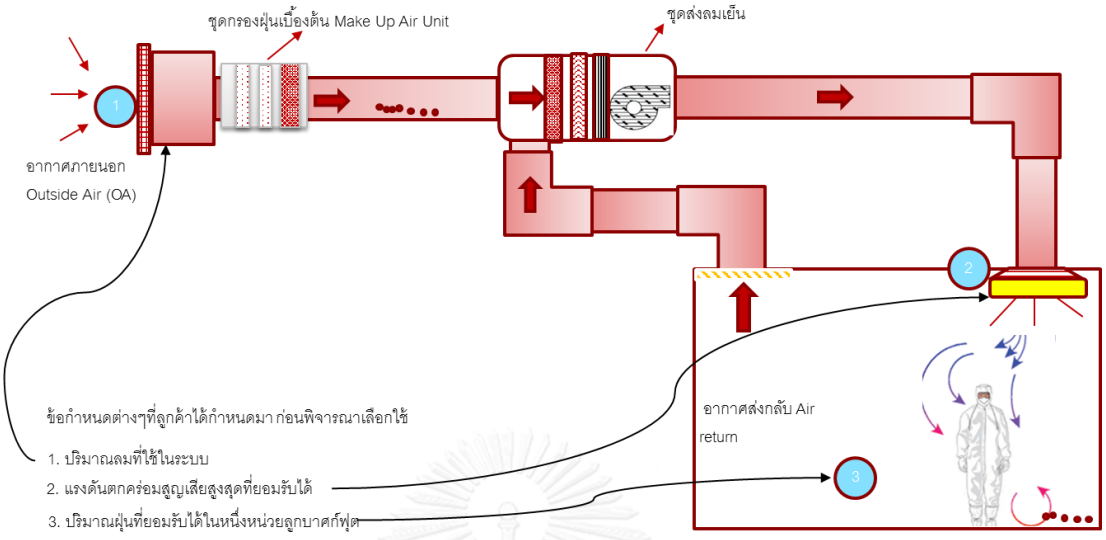
รูปที่ 3 แผ่นกรองหยาบ [2]

รูปที่ 4 ตัวกรองละเอียดระดับกลาง [2]

รูปที่ 5 แผ่นกรองขั้นสุดท้าย [2]

ด้วยชนิดของแผ่นกรองอากาศที่ให้เลือกใช้งานมีเป็นจำนวนมาก การเลือกเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการหลักที่ลูกค้าให้มา ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการนำมาพิจารณา เพื่อให้ได้มาซึ่งต้นทุนที่ต่ำที่สุดบนพื้นฐานที่ต้องสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

ตำแหน่งข้อกำหนดต่างๆที่ลูกค้ากำหนดมา



รูปที่ 6 ข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบห้องสะอาด

รูปที่ 6 แสดงข้อกำหนดในการออกแบบห้องสะอาดโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปริมาณลมที่ใช้ในระบบ ในที่นี้คืออัตราการไหลของลมในระบบ โดยลูกค้าจะระบุกำลังของชุดพัดเป่าลมเย็นที่สามารถทำได้สูงสุด แผ่นกรองอากาศที่เลือกใช้จะต้องรับลมได้เพียงพอต่อปริมาณอากาศที่วิ่งผ่านแผ่นกรองใน 1 ชั่วโมงได้ ปริมาณลมในระบบที่วิ่งผ่านแผ่นกรองจะขึ้นกับรอบของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่กำหนดจากการออกแบบ

2. แรงดันตกคร่อมสูญเสีย (Pressure Drop) สูงสุดที่ยอมรับได้ ลูกค้าจะระบุค่าเผื่อแรงดันที่สูญเสียจากการใส่แผ่นกรองอากาศเข้าไป ซึ่งถูกคำนวณเผื่อไว้ในระบบโดยรวม ค่าแรงดันตัวนี้หากเกินค่ากำหนดจะทำให้ อัตราลมที่นำไปใช้งานมีไม่เพียงพอได้

3. ปริมาณฝุ่นที่ยอมรับได้ ซึ่งระบุเป็นระดับชั้นห้องสะอาด (Clean Room Class) ตามตารางที่ 2 ในที่นี้ลูกค้าจะกำหนดระดับมาให้ ความหมายของห้องสะอาด ระดับชั้นใดๆในตารางคือ จำนวนอนุภาคฝุ่นที่ยอมรับได้ใน 1 ลูกบาศก์ฟุตในห้องระดับนั้นๆ

ตารางที่ 2 ระดับชั้นที่ระบุปริมาณฝุ่นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน FED 209E และ ISO 14644 [6]

FED	ISO	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm*	1 µm	5 µm
----	Class 1	10	2				
	Class 2	100	24	10	----		
1	Class 3	1,000	237	102	(1)	8	
10	Class 4	10,000	2,370	1,020	(10)	83	

100	Class 5	100,000	23,700	10,200	(100)	832	29
1000	Class 6	1,000,000	237,00	102,000	(1,000)	8,320	293
10000	Class 7				(10,000)	83,200	2,930
100000	Class 8				(100,000)	832,000	29,300
	Class 9				(1,000,000)	8,320,000	293,000
*Particle count for this particular size is per ft^3 (for illustration purposes) while all others are							

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดเรียกในห้องสะอาด เพื่อให้รู้ว่าระดับความสะอาดนั้นนั้น สามารถเปรียบเทียบของ 2 มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับได้ ดังตัวอย่างหากต้องการทำห้องสะอาดตามมาตรฐาน FED-209E ที่ระดับ Class 1000 แล้วสามารถที่จะเทียบได้เท่ากับการทำห้องสะอาดตามมาตรฐาน ISO 14644 ที่ระดับ Class 6

โดยปริมาณฝุ่นที่ยอมรับได้สูงสุดของขนาดฝุ่นที่ 0.5 ไมครอน คือ 1,000 อนุภาคใน 1 ลูกบาศก์ฟุต ขนาดฝุ่นที่นิยมนำมาคำนวณหรือนับจำนวนในห้องสะอาดคือขนาด 0.5 ไมครอน ซึ่งตัวเลขที่ยอมรับได้นั้นจะสอดคล้องตามมาตรฐานของ FED-209E

1.2 ปัญหาที่พบ

จากตารางที่ 3 แนวทางการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับการทำห้องสะอาดตามมาตรฐาน ISO และ FED 209E ถูกระบุการเลือกใช้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศแบบกว้างๆสำหรับการเลือกใช้งานที่จะให้สอดคล้องกับแผ่นกรองอากาศที่ถูกระบุไว้ จึงทำให้ผู้เลือกใช้ ไม่สามารถรู้ได้ว่า การเลือกใช้แผ่นกรองอากาศชนิดไหนจะเหมาะสมมากที่สุดเมื่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป การปรับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศหรือชนิดแผ่นกรองอากาศที่เพิ่มลดไป 1 ระดับจะมีผลต่อปริมาณฝุ่นในระบบหรือไม่อย่างไร อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น จะมีผลกระทบต่อพลังค่าไฟฟ้าที่จะต้องปรับรอบมอเตอร์พัดลมส่งอากาศให้สูงขึ้นตาม ดังนั้นการเลือกใช้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมที่สุดจึงเป็นสิ่งสำคัญ และยังไม่สามารถที่จะระบุได้ตามตารางที่แนะนำมา

ตารางที่ 3 แนวทางการเลือกใช้ชนิดของแผ่นกรองอากาศแบบปัจจุบัน [7]

ISO Class	Fed 209E Class	Pre-Medium-Final Filter Efficiency	Air Velocity at table level in FPM	Air Changes Rate per Hour
1	-		72 - 130	>750
2	-		72 - 130	>750
3	1	30%, 90-95%, 99.99995%	72 - 130	>750
4	10	30%, 90-95%, 99.9995%	72 - 110	500 - 600
5	100	30%, 90-95%, 99.999%	72 - 90	150 - 400
6	1,000	30%, 90-95%, 99.999%	25 - 40	60 - 100
7	10,000	25%, 80-90%, 99.99%	10 - 15	25 - 40
8	100,000	25%, 80-90%, 95%	3 - 5	5-10

ตัวอย่าง หากลูกค้าต้องการทำห้องสะอาด ที่ห้องระดับชั้นที่ยอมรับฝุ่นได้ 1,000 อนุภาคในหนึ่งลูกบาศก์ฟุต หากใช้ตารางนี้สามารถที่จะเลือกใช้แผ่นกรองอากาศที่รับลมได้ตั้งแต่ 25-40 ฟุตต่อนาทีและสามารถที่จะปรับเปลี่ยนอัตราการแลกเปลี่ยนลมได้ตั้งแต่ 60-100 รอบต่อชั่วโมง ซึ่งวิธีการปัจจุบันจะนำข้อมูลเพียงส่วนนี้ไปเลือกชนิดแผ่นกรองตามที่ระบุในตาราง โดยจะเลือกใช้รูปแบบแผ่นกรองตามลำดับดังนี้ แผ่นกรองหยาบประสิทธิภาพ 35% แผ่นกรองระดับกลาง 95% และแผ่นกรองระดับสูง 99.999% และคำนวณจำนวนแผ่นกรองให้สอดคล้องตามข้อกำหนดลูกค้า ซึ่งจะต้องเสียเวลาในการคำนวณหาต่อไป และเมื่อได้จำนวนมาแล้ว ยังไม่สามารถรู้ได้ว่าชนิดแผ่นกรองอากาศที่เลือกให้ลูกค้า เหมาะสมที่สุดแล้วหรือไม่เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนดของคุณภาพอากาศ

ตัวอย่างกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นจริง จากขั้นตอนการประมูลงานรับเหมาห้องสะอาด ซึ่งมีผู้รับเหมาเข้าประมูล พร้อมส่งราคาและหลักการการออกแบบห้องสะอาดเบื้องต้นให้เจ้าของกิจการเป็นผู้พิจารณา โดยมีข้อกำหนดตามที่เจ้าของกิจการดังต่อไปนี้

เจ้าของกิจการต้องทำห้องสะอาดระดับ Class 1000 (ยอมรับฝุ่นที่ไม่เกิน 1,000 อนุภาคใน 1 ลูกบาศก์ฟุต)

ระดับฝุ่นปนเปื้อนด้านข้าเข้า 1,000,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต

ระดับฝุ่นปนเปื้อนที่เกิดขึ้นภายในระบบ 500,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง

ขนาดห้องสะอาดที่ต้องการทำที่ 202,500 ลูกบาศก์ฟุต

ผู้รับเหมาทั้งสองเจ้าได้ออกแบบและส่งแบบลักษณะห้องสะอาดเบื้องต้นพร้อมราคาแผ่นกรองอากาศตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 กรณีศึกษาตัวอย่างการเปรียบเทียบการออกแบบห้องสะอาดของผู้รับเหมา

การออกแบบ	อัตราการแลกเปลี่ยน	รูปแบบแผ่นกรอง	ต้นทุนแผ่นกรอง (บาท)
1	75	Pre-20% Medium-60% HEPA-99.999%	2,575,000
2	80	Pre-20% Medium-60% HEPA-99.99%	2,475,000

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเจ้าระบุชนิดของแผ่นกรองอากาศไม่ได้ตรงตามมาตรฐานที่ได้แนะนำและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ใช้ก็แตกต่างกัน ถ้าหากพิจารณาเพียงแค่เงินลงทุนด้านแผ่นกรองอย่างเดียวแล้ว เจ้าของกิจการจะต้องเลือกผู้รับเหมาเจ้าที่ 2 แต่หากมองในส่วนของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงแล้วอาจมีผลกระทบต่อค่าการดำเนินงานในเรื่องค่าไฟฟ้า จากกรณีศึกษานี้ เจ้าของกิจการไม่สามารถที่จะพิสูจน์ได้ว่า ผู้รับเหมาเจ้าไหนออกแบบห้องสะอาดได้คุ้มค่ามากที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับห้องสะอาด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยแบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้ ขอบเขตของโปรแกรมคำนวณระบบสนับสนุนการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศ สามารถที่จะตัดสินใจหัวข้อต่างๆ และขอบเขตของรูปแบบห้องสะอาด ขอบเขตของโปรแกรมคำนวณมีดังต่อไปนี้

1.4.1 คำนวณจำนวนแผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิดตามความต้องการของคุณภาพอากาศและปริมาณลมที่จะกำหนดใช้ในกระบวนการตามข้อกำหนดที่ลูกค้าให้มาในรูปแบบของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและสามารถที่จะแสดงผลในการประเมินต้นทุนแผ่นกรองอากาศเบื้องต้นสำหรับการประมูลงานได้

1.4.2 โปรแกรมคำนวณสามารถที่จะระบุรูปแบบของแผ่นกรองอากาศ จำนวนและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ต้นทุนในการใช้ห้องสะอาดต่ำที่สุดเพื่อให้ได้คุณภาพอากาศตามที่ลูกค้าต้องการ

1.4.3 แสดงผลวิเคราะห์ความไว เมื่ออัตราฝุ่นด้านขาเข้าและอัตราการเกิดฝุ่นขึ้นในระบบมีการเปลี่ยนแปลง มีผลกระทบอย่างไรต่อรูปแบบการเลือกแผ่นกรองอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

1.4.4 ประสิทธิภาพ, แรงดันตกคร่อมสูญเสียและอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศที่ใช้ในการคำนวณจะไม่เปลี่ยนแปลงถึงแม้ว่าจะปรับลดหรือเพิ่มอัตราแลกเปลี่ยนอากาศภายในระบบ

1.4.5 ปริมาณฝุ่นด้านขาเข้าในระบบและฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ ไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ

1.4.6 หน่วยค่าพลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้คำนวณคงที่ไม่แปรผันตามช่วงเวลา

ขอบเขตของรูปแบบห้องสะอาด

1.4.7 รูปแบบของห้องสะอาดที่มีการออกแบบให้ใช้แผ่นกรองหยาบและแผ่นกรองระดับกลางในเครื่องส่งลมเย็น Air Handling Unit และมีแผ่นกรองขั้นสุดท้ายบริเวณปลายท่อส่งอากาศหรือฝ้าเพดานในห้องปฏิบัติงาน

1.4.8 รูปแบบของห้องสะอาดมีออกแบบสำหรับการส่งกลับลมเย็นกลับเข้าสู่เครื่องส่งลมเย็น AHU เพื่อกรองฝุ่นที่หลงเหลือในระบบ โดยสามารถที่จะปรับรอบอัตราการส่งกำลังได้

1.5 ผลที่ได้รับ

1.5.1 โปรแกรมสามารถเลือกใช้จำนวนและประเภทแผ่นกรองอากาศได้อย่างรวดเร็ว โดยข้อมูลที่ลูกค้าจะต้องป้อนเข้าคือ ปริมาณลมใช้งาน แรงดันตกคร่อมสูญเสียที่รับได้ ระดับความสะอาดของห้อง ปริมาณฝุ่นขาเข้าในระบบ ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในพื้นที่การทำงาน

1.5.2 โปรแกรมสามารถใช้งานง่าย และนำเสนอข้อมูลการตัดสินใจเลือกได้อย่างถูกต้อง โดยโปรแกรมสามารถที่จะแสดงผลความไว กรณีที่ข้อมูลนำเข้าในส่วนของปริมาณฝุ่นด้านขาเข้าและอัตราการเกิดฝุ่นภายในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง

1.5.3 ผลจากโปรแกรมเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าที่สุดต่อการลงทุนโดยพิจารณาต้นทุนด้านแผ่นกรองอากาศและต้นทุนด้านค่าพลังงานไฟฟ้า และแสดงทางเลือกที่เป็นไปได้ในการพิจารณาการลงทุน

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.6.1 เพิ่มการแข่งขันของบริษัทในการประมูล (Bidding) ราคาแผ่นกรองอากาศ

1.6.2 ความรู้จากการออกแบบเลือกใช้ สามารถที่จะถ่ายทอดให้กับผู้ใช้งานหน้างานได้

1.6.3 การเลือกใช้แผ่นกรองอากาศที่เหมาะสมช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้แก่ประเทศได้

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

1.7.1 กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจเลือกใช้แผ่นกรองอากาศ

1.7.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่ควบคุมการออกแบบในห้องสะอาด

1.7.3 จำแนกคุณสมบัติของแผ่นกรองอากาศแต่ละชนิดที่มีอยู่

1.7.4 พิจารณาข้อกำหนดของลูกค้าที่มีผลต่อปัจจัยในการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศ

1.7.5 นำปัจจัยที่สำคัญมาเขียนเป็นโมเดลแล้วประยุกต์ลงในโปรแกรม MS Excel Solver และทดลองประมวลผลจากโปรแกรม

1.7.6 นำโปรแกรมที่ได้จัดทำแล้วไปทดลองการใช้งานจริง

1.7.7 ทบทวนแก้ไขระบบตามข้อจำกัดต่างๆที่เกิดขึ้นจริง

1.7.8 สรุปการใช้งานและแนวทางการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถที่จะแบ่งหัวข้อออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. ทฤษฎีการจับฝุ่นของแผ่นกรองอากาศ
2. มาตรฐานการทดสอบแผ่นกรองอากาศ
3. ทฤษฎีกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์
4. การทบทวนวรรณกรรม

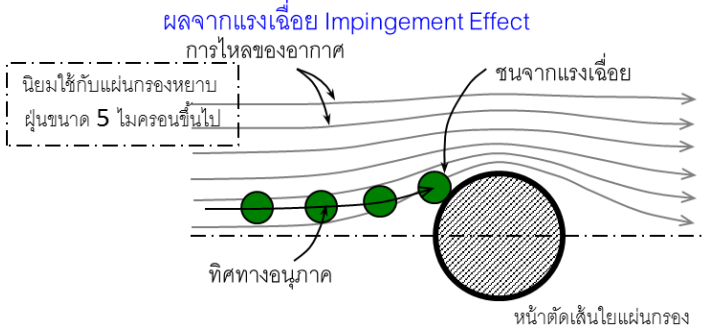
2.1 ทฤษฎีการจับฝุ่นของแผ่นกรองอากาศ

2.1.1 **หลักทางกล (Mechanical)** สามารถแยกย่อยได้อีก 4 วิธี ดังนี้ [4]

2.1.1.1 Straining การดักจับฝุ่นโดยวิธีการดักจับหรือวิธีการกรองทั่วๆไป เมื่อสิ่งปนเปื้อนหรือฝุ่นที่มีมีขนาดใหญ่กว่าไม่สามารถวิ่งผ่านช่องว่างระหว่างเส้นใยของแผ่นกรองกั้น หรืออธิบายหลักการง่ายๆของวิธีคือ ฝุ่นขนาดใหญ่จะไม่สามารถวิ่งผ่านสิ่งขว้างกั้นที่มีขนาดเล็กกว่าได้ สำหรับการกรองฝุ่นวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพในการกรองที่ต่ำมาก เนื่องจากขนาดของฝุ่นและสิ่งปนเปื้อนที่แขวนลอยในอากาศส่วนใหญ่ จะมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างเส้นใยของแผ่นกรอง และวิธีนี้จะสามารถดักกรองได้ดีก็ต่อเมื่อสิ่งปนเปื้อน มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนขึ้นไป ตัวอย่างแผ่นกรองอากาศที่อาศัยหลักการนี้ ในการกรองฝุ่นละออง เช่น แผ่นกรองอากาศเส้นใยทำมาจากอลูมิเนียมและแผ่นกรองอากาศชนิดตาข่ายเส้นด้ายไนล่อนในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กทั่วไป

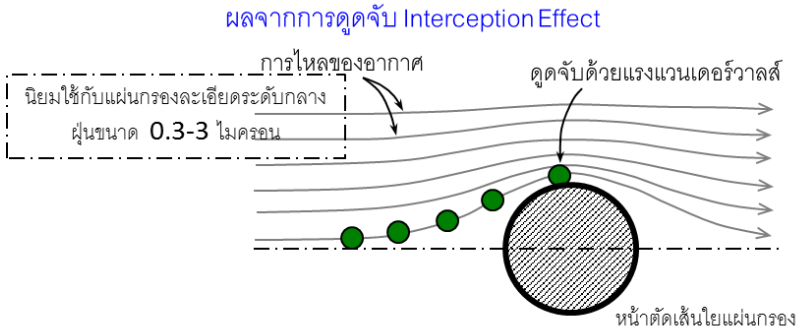
2.1.1.2 Impingement หลักวิธีนี้วิธีนี้จะใช้กับฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป อากาศที่มีฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนแฝงตัวอยู่จะถูกส่งให้ไหลผ่านแผ่นกรองด้วยความเร็วระหว่าง 1.5 ถึง 3 เมตรต่อวินาที ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่นี้ จะเคลื่อนที่ไปตามกระแสแรงดันส่งของอากาศ และเมื่ออากาศที่มีฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนแฝงตัวอยู่นี้ เคลื่อนที่ถึงเส้นใยของแผ่นกรอง ส่วนที่เป็นอากาศจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านหลบเส้นใยของแผ่นกรองที่ทำหน้าที่กั้นอยู่ได้ แต่ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่เป็นอนุภาคและมีน้ำหนักมากกว่าอากาศและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่น้อยลง และจะมีแรงเฉื่อยในตัวเอง ไม่สามารถเปลี่ยนเส้นทางการเคลื่อนที่เพื่อหลบเส้นใยของแผ่นกรองได้เช่นเดียวกับอากาศ ดังนั้นอนุภาคเหล่านั้นจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจึงเข้ากระทบและติดอยู่กับเส้นใยของแผ่นกรองอากาศ การเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองของแผ่นกรองอากาศที่ผลิตขึ้นโดยอาศัยหลักการนี้ สามารถทำได้โดยการเคลือบแผ่นกรองอากาศชนิดนี้ด้วยของเหลว

เพื่อเพิ่มการยึดเกาะที่มีคุณสมบัติเหนียวที่เรียกว่ากาวในการดูดซับ Adhesive ซึ่งจะช่วยยึดจับอนุภาคของฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่เข้ากระทบ และติดอยู่บนเส้นใยของแผ่นกรอง ไม่ให้อนุภาคดีดหลุดออกมาได้ หลักการนี้ มักถูกใช้ในแผ่นกรองอากาศชนิดแผ่นกรองหยาบเบื้องต้น (Pre-Filters)



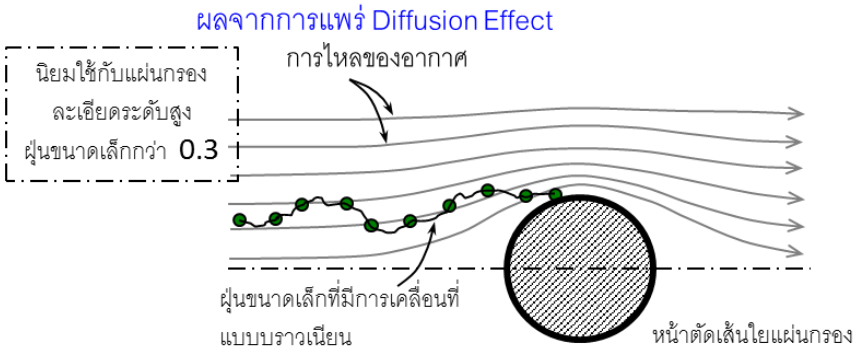
รูปที่ 7 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลวิธีของแรงเฉื่อยไปติดกับเส้นใยของแผ่นกรองอากาศ [5]

2.1.1.3 Interception วิธีนี้จะประยุกต์ใช้กับฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดประมาณ 0.3-3 ไมครอน และมีหลักวิธีการจับฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนจะใกล้เคียงกับวิธีImpingement คือฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนจะเคลื่อนที่ตามการไหลของแรงส่งอากาศและด้วยอนุภาคขนาดที่มีขนาดเล็ก ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนนี้จะสามารถเคลื่อนที่หลบเส้นใยของแผ่นกรองได้บางส่วน อีกบางส่วนฝุ่นละอองก็จะมีโอกาสสัมผัสกับเส้นใยของแผ่นกรองอากาศตามวิธีการพุ่งชนในทฤษฎี Impingement ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่สัมผัสกับเส้นใยของแผ่นกรอง จะถูกดูดติดอยู่กับแผ่นกรองด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เรียกว่า VanderWaals Force (แรง วาน เดอร์ วาลส์) ซึ่งแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลนี้ จะมีค่าน้อยมาก แต่ถ้าอนุภาคนั้นมีประจุอยู่ด้วยก็จะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพของการดูดจับสูงขึ้นไปอีก ดังนั้นความเร็วของอากาศที่วิ่งผ่านแผ่นกรอง จะต้องเป็นความเร็วที่ต่ำด้วย ประมาณ 0.1-0.2 เมตรต่อวินาที เพื่อไม่ให้แรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศที่มากระทบมีค่าสูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ซึ่งจะทำให้อนุภาคของฝุ่นสิ่งปนเปื้อนหลุดออกจากแผ่นกรองได้หลักการนี้ได้นำมาใช้ออกแบบกับแผ่นกรองอากาศชนิดแผ่นกรองระดับกลาง ปกติแล้วแผ่นกรองอากาศควรออกแบบให้สามารถใช้กับความเร็วอากาศเท่ากับ ความเร็วอากาศที่หน้าตัดของคอยล์เย็น (Coil Face Velocity) ดังนั้นแผ่นกรองที่ใช้หลักการ Interception นี้ จึงต้องมีประยุกต์การเพิ่มพื้นที่ของเนื้อกรอง (Media Area) ภายในตัวแผ่นกรอง (Filters) ให้มีมากพอ เพื่อชะลอความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านเนื้อกรอง มีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดหรือประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที โดยทั่วไปแผ่นกรองละเอียดระดับกลางจะมีความหนามากกว่าแผ่นกรองหยาบเบื้องต้น โดยภายในตัวแผ่นกรองละเอียดระดับกลาง จะมีเนื้อกรองเรียงขึ้นรูปเป็นชั้นเรียงซ้อนกัน (pleat)



รูปที่ 8 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลจากการดูดจับด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ [5]

2.1.1.4 Diffusion ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนในอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมครอน จะมีคุณสมบัติการเคลื่อนที่คล้ายกับอากาศมากกว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยทั่วไป ซึ่งการเคลื่อนที่นี้ จะไม่มีทิศทางแน่นอน และไม่เคลื่อนที่ตามการเคลื่อนทีของอากาศ โดยเรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า Brownian Movement (หรือการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน) การออกแบบเผ่นกรองอากาศให้มีขนาดเส้นใยเล็กๆ และมีความหนาแน่นมากๆ เพื่อเพิ่มโอกาสที่สิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กๆนี้ จะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสและดูดติดอยู่กับแผ่นกรอง ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ตามหลักทฤษฎี Interception จากหลักการนี้ ผู้ผลิตแผ่นกรองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองของแผ่นกรองได้ ถ้าออกแบบให้แผ่นกรองมีความเร็วลมขณะใช้งานต่ำและให้ขนาดเส้นใยแผ่นกรองมีขนาดเล็กมากๆ และเพิ่มความหนาแน่นที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มโอกาสที่จะให้ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนในอากาศสัมผัสกับเส้นใยของแผ่นกรองอากาศและดูดติดกับแผ่นกรองด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ดังกล่าวข้างต้น หลักการนี้ได้นำมาใช้ออกแบบให้กับแผ่นกรองละเอียดระดับสูง (HEPA) และ และแผ่นกรองละเอียดระดับสูงสุด(ULPA Filters)

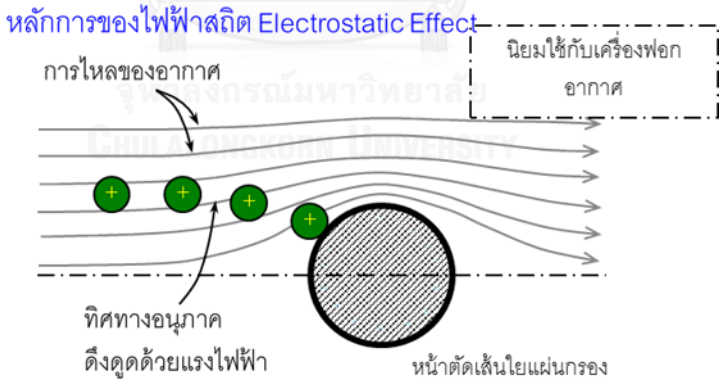


รูปที่ 9 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลจากการแพร่ดูดติด [5]

2.1.2 **วิธีทางไฟฟ้า** (Electrical Method) แบ่งย่อยได้เป็นอีก 2 วิธีดังนี้ [5]

2.1.2.1 Electrostatic ประยุกต์ใช้หลักการของไฟฟ้าสถิตเป็นพื้นฐานการทำงาน โดยการให้อากาศที่มีฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนอยู่ ไหลผ่านส่วนตัวกระจายประจุ Ionizer ซึ่งมีลักษณะเป็นลวดโลหะและถูกจ่ายด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันศักดาบวก ประมาณ 12,000 โวลต์ บริเวณที่มีแรงดันศักดาบวกนี้ จะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง ดังนั้น เมื่อฝุ่นสิ่งปนเปื้อนไหลผ่านบริเวณนี้ ก็จะถูกอัดด้วยประจุบวก จึงทำให้ฝุ่นสิ่งปนเปื้อนมีคุณสมบัติเป็นบวกทางไฟฟ้า และเมื่อฝุ่นสิ่งปนเปื้อนนี้ เคลื่อนที่ผ่านเข้ามายังส่วน Collector Plates ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะและถูกจ่ายด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงศักดาบวกและลบสลับกัน (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่คอยจ่ายให้กับ Collector Plates จะมีค่าประมาณ 6,000 โวลต์) ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนก็จะถูกดูดติดกับ Collector Plates แผ่นที่มีศักดาตรงกันข้ามคือแผ่นลบ และฝุ่นและสิ่งปนเปื้อนจะถูกดูดติดอยู่กับแผ่น Collector นี้ จนกว่าจะนำไปทำความสะอาด

2.1.2.2 Negative Ion Generator วิธีจะใช้หลักการปล่อยประจุลบเข้าไปจับกับฝุ่นขนาดเล็ก โดยการใช้แท่งโลหะมีลักษณะคล้ายเข็มเพื่อทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในอากาศมีประจุเป็นลบ เพื่อทำให้ฝุ่นมีคุณสมบัติในการดูดจับรวบกับวัตถุอื่นได้ง่าย รวมถึงฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนด้วยกันเองได้ดี ดังนั้น จะทำให้ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนบางส่วนสามารถดูดเกาะติดกับผนัง พื้น ม่าน หรือพื้นผิวอื่นๆ ที่ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนสัมผัสถูก และบางส่วนก็จะเกาะติดกันเองจนรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากจนตกลงบนพื้นได้



รูปที่ 10 การดักจับฝุ่นโดยใช้ผลจากหลักการไฟฟ้าสถิตในการ [5]

2.2 มาตรฐานการทดสอบแผ่นกรองอากาศ [4]

มาตรฐานการทดสอบแผ่นกรองอากาศที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางคือมาตรฐานการทดสอบแผ่นกรองอากาศที่จัดทำขึ้นโดยสมาคม American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc [8] ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งแบ่งมาตรฐานการทดสอบหลักๆ

ออกเป็น 2 มาตรฐาน ดังนี้ 1) ASHRAE Standard 52.1-1992 และ 2) ASHRAE Standard 52.1-1999

มาตรฐาน ASHRAE 52.1-1992, Gravimetric and Dust Spot Procedures for Testing Air Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกรองอากาศในด้าน ประสิทธิภาพ ความสามารถในการเก็บฝุ่นละอองและความต้านทานการไหลของอากาศ โดยจะทำการทดสอบในท่อทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 ท่อทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 52.1 [4]

สำหรับคุณสมบัติหลักของแผ่นกรองอากาศที่ใช้ในการพิจารณา จะมีด้วยกัน 2 หัวข้อ คือ คุณสมบัติด้านสมรรถนะและคุณสมบัติด้านกายภาพ

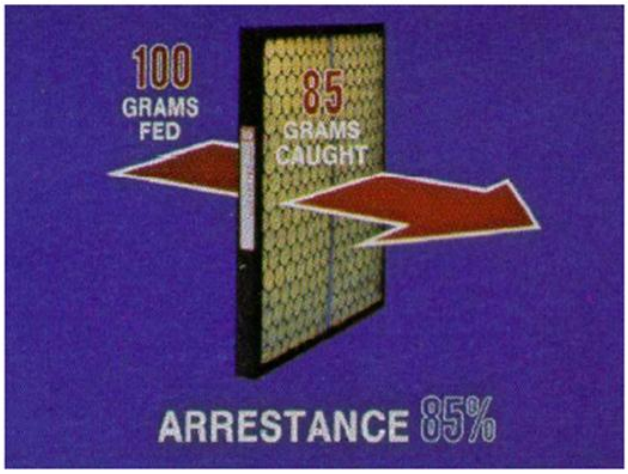
1. คุณสมบัติด้านสมรรถนะ (Performance) ประกอบด้วย

1.1 ประสิทธิภาพในการกรอง (Efficiency) วัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่จะถูกจับยึดหรือแยกออกจากอากาศที่เคลื่อนที่ผ่าน

ประสิทธิภาพในการกรองอากาศตามมาตรฐานของ ASHRAE 52.1-1992 ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

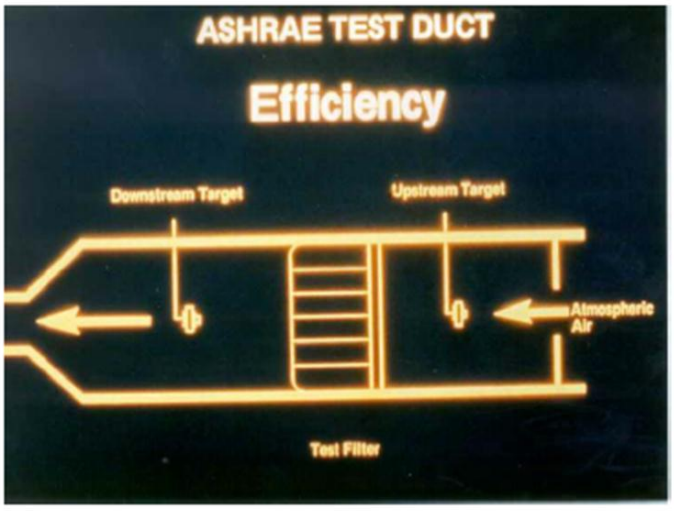
1) ประสิทธิภาพแบบ Arrestance และ 2) แบบ Atmospheric Dust Spot Efficiency (หรือบางครั้งเรียกย่อๆ ว่าEfficiency, Dust Spot Efficiency) ซึ่งทั้ง 2 แบบมีข้อแตกต่างในเรื่องวิธีการทดสอบหาประสิทธิภาพ การทดสอบประสิทธิภาพแบบ Arrestance เป็นการหาประสิทธิภาพโดยวิธีชั่งน้ำหนักโดยวัดน้ำหนักของฝุ่นละอองจำลองตามมาตรฐาน ที่แผ่นกรองดักไว้ได้ เช่น หากปล่อยฝุ่นจำลอง

เข้าในท่อทดสอบ 100 กรัม และแผ่นกรองอากาศสามารถดักไว้ได้ 85กรัม สรุปได้ว่าแผ่นกรองอากาศนี้มี ประสิทธิภาพเป็น 85% Arrestance ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตัวกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพแบบ Arrestance 85% [4]

ในส่วน Atmospheric Dust Spot Efficiency หรือที่เรียกสั้นๆว่า Efficiency ประสิทธิภาพของกรองอากาศจะถูกวัดโดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเป้า (Target) สองแผ่นในชุดสุ่มตัวอย่าง แผ่นเป้าแผ่นแรกจะติดตั้งด้านหน้ากรองอากาศที่จะทำการทดสอบ ส่วนแผ่นที่สองจะติดตั้งทางด้านหลังแผ่นกรองเนื่องจากกรองอากาศจะทำการดักอนุภาคที่ติดมากับอากาศออก แผ่นเป้าแผ่นที่สองจึงมีการเปลี่ยนแปลงสี (สกปรก) ช้ากว่าแผ่นแรก ผลเวลาการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเป้าที่ได้ จะสามารถนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของกรองอากาศได้ รูปที่ 13 แสดงการทดสอบแบบ Dust Spot Efficiency



รูปที่ 13 การทดสอบแบบ Dust Spot Efficiency [4]

จากวิธีการทดสอบดังกล่าวข้างต้น หากต้องนำแผ่นกรองอากาศชนิดประสิทธิภาพ Arrestance 75% ไปทดสอบหาประสิทธิภาพตามวิธี Dust Spot Efficiency จะพบว่าแผ่นกรองอากาศดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกรองแบบ Dust Spot Efficiency ต่ำกว่า 20% ทั้งนี้ เนื่องจากวิธีการทดสอบแบบ Arrestance เป็นวิธีการทดสอบสำหรับหาประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศขั้นต้น (ชนิดกรองหยาบ) ส่วนวิธีการทดสอบแบบ Dust Spot Efficiency เป็นวิธีการทดสอบสำหรับแผ่นกรองอากาศขั้นกลาง(ชนิดกรองละเอียด)และขั้นสุดท้าย(กรองละเอียดระดับสูง) ซึ่งใช้กรองฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบ Arrestance และ Dust Spot Efficiency[4]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 ความสามารถในการดักเก็บฝุ่นละออง (Dust Holding Capacity) คือปริมาณฝุ่นที่กรองอากาศสามารถที่จะดักเก็บได้ตั้งแต่เริ่มใช้งาน จนกระทั่งแผ่นกรองอากาศตัน ความสามารถในการกักเก็บฝุ่น จะทำการทดสอบโดยการปล่อยฝุ่นทดสอบจำลองเรียกว่า ASHRAE test dust ซึ่งจะปล่อยเข้าไปในสัดส่วน 2 กรัม ต่อ 1,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ 472 ลิตรต่อวินาที ในท่อทดสอบ และทำการวัดปริมาณของฝุ่นเป็นกรัมที่ถูกดักจับโดยแผ่นกรองอากาศมาตรฐาน ASHRAE 52.1-1992 ณ เวลาหนึ่ง ค่าปริมาณฝุ่นที่เก็บกักได้จากการทดสอบนี้ ไม่สามารถบอกอายุการใช้งานที่แท้จริงเป็นจำนวนชั่วโมงใช้งานของแผ่นกรองอากาศที่ทำการทดสอบได้ แต่อาจใช้ในการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปได้ เนื่องจากฝุ่นที่ใช้ในการทดสอบเป็นฝุ่นสังเคราะห์ไม่ใช่ฝุ่นจริงในบรรยากาศ และการทดสอบนี้เป็นการทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐานเท่านั้น

1.3 ความต้านทานการไหลของอากาศ (Resistance to Air Flow) นิยมใช้หน่วยวัดเป็นนิ้วน้ำ (inches of water gage) หรือปาสคาล (Pa) ความต้านทานต่อการไหลของอากาศ (Resistance to Airflow) จะแบ่งเป็น ความต้านทานเริ่มต้น (Initial resistance) ของแผ่นกรองอากาศในขณะที่ยังสะอาดอยู่ ปกติจะทำการวัดที่ความเร็วของอากาศ 500 ฟุตต่อนาที หรือ 2.5 เมตรต่อวินาที และส่วนความต้านทานสุดท้ายการใช้งานได้ (Final resistance) จะทำการวัดในตอนท้ายของการทดสอบซึ่งมักเป็นค่าที่ผู้ผลิตแผ่นกรองอากาศกำหนดขึ้น ในการทดสอบแผ่นกรองอากาศจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องระบุอัตราการไหลของอากาศและความต้านทานสุดท้ายของแผ่นกรองอากาศทุกครั้ง ทั้งนี้ เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศและความต้านทานสุดท้ายของแผ่นกรองมีผลอย่างมาก ต่อประสิทธิภาพและความสามารถในการกักเก็บฝุ่นของกรองอากาศ เพื่อพิจารณาอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ มาตรฐาน ASHRAE 52.1-1992 เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบแผ่นกรองอากาศแต่ละชนิด แต่สิ่งที่ยังไม่ครอบคลุมในมาตรฐานนี้คือ ไม่ได้มีการระบุถึงประสิทธิภาพที่แต่ละขนาดของอนุภาค ซึ่งเป็นข้อมูลที่นับว่ามีความสำคัญยิ่ง ในการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศ ในปี 1999 สมาคม ASHRAE จึงได้กำหนดมาตรฐานการทดสอบแผ่นกรองอากาศใหม่ขึ้นคือ ASHRAE Standard 52.2-1999, Method of Testing General Ventilation Air Cleaning Devices for Removal Efficiency by particle Size เป็นการเพิ่มมาตรฐานการทดสอบแผ่นกรองอากาศที่รายงานประสิทธิภาพการกรองอากาศที่แต่ละย่านขนาดอนุภาคกรรมวิธีในการทดสอบนี้ โดยการใช้อนุภาคที่สังเคราะห์ขึ้นจากโปแตสเซียมครอไรด์ (Potassium Chloride, KCl) ปล่อยเข้าไปในกระแสการไหลของอากาศ เครื่องมือนับจำนวนอนุภาคจะทำการวัดจำนวนของอนุภาคที่ 12 ย่านขนาด ทั้งด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) ของแผ่นกรองที่ทดสอบ เพื่อใช้คำนวณหาค่าประสิทธิภาพ มาตรฐานนี้ยังได้ นิยามวิธีจำลองสภาวะการใช้งานจริงเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศ ด้วยฝุ่นสังเคราะห์ (Synthetic Dust) เพื่อหาประสิทธิภาพที่แต่ละย่านขนาดอนุภาคจะถูกวัดในขณะเครื่องฟอกอากาศสะอาด และจะถูกวัดอีกหลายครั้ง ระหว่างที่เครื่องฟอกอากาศเริ่มจับฝุ่นสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นนำค่าประสิทธิภาพที่ได้ในแต่ละย่านขนาดอนุภาค (Particle Size Removal Efficiency: PSE) ทั้งหมดมาเขียนเป็นกราฟ จุดต่างๆบนกราฟที่ได้จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้นี้ จะนำมาใช้กำหนดระดับชั้นของเครื่องฟอกอากาศที่ทำการทดสอบ

2. คุณสมบัติด้านกายภาพ

เป็นคุณสมบัติที่พิจารณาวัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นกรองอากาศที่ควรจะมีความปลอดภัยสำหรับใช้งาน โดยวัสดุที่ใช้ผลิตควรเป็นชนิดที่ไม่ติดไฟ หรือไม่ลามไฟ แผ่นกรองอากาศที่ดี ควรผลิตขึ้นโดยใช้วัสดุที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง และได้รับการรับรองตามมาตรฐานความปลอดภัย เช่น มาตรฐานด้านอัคคีภัย Underwriter's Laboratories (UL) หรือ มาตรฐานการประกันภัยอุตสาหกรรม Factory Mutual (FM)

2.3 กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) [9]

กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สามารถแบ่งเป็นประเภทหลายรูปแบบดังนี้

2.3.1 กำหนดการเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น

กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) คือกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่ฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Objective Function) สำหรับกำหนดการไม่เชิงเส้น คือกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่ฟังก์ชันจุดประสงค์ไม่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Non-Linear Objective Function) หรือสมการหรืออสมการเงื่อนไขแสดงในรูปแบบที่ไม่ใช่เงื่อนไขเชิงเส้น

ส่วนประกอบของกำหนดการเชิงเส้น

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) คือ ผลเฉลยที่เราต้องการจากกำหนดการเชิงเส้น
2. ฟังก์ชันจุดประสงค์เชิงเส้น (Linear Objective Function) คือจุดประสงค์ในการตัดสินใจสำหรับกำหนดการเชิงเส้น ฟังก์ชันจุดประสงค์ต้องเป็นฟังก์ชันเส้นตรง และต้องระบุว่าต้องการหาค่าจุดประสงค์ที่สูงที่สุด (Maximization) หรือต้องการหาค่าจุดประสงค์ที่ต่ำที่สุด (Minimization)
3. ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขบังคับเชิงเส้น (Linear Constraint) คือข้อจำกัดหรือเงื่อนไขบังคับในการตัดสินใจ โดยระบุเป็นสมการหรืออสมการที่เป็นฟังก์ชันเส้นตรง

2.3.2 กำหนดการเชิงจำนวนเต็มและไม่เชิงจำนวนเต็ม

หากมองในส่วนของตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจบางตัวหรือทั้งหมดมีค่าเป็นจำนวนเต็มเรียกว่า กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) ในกรณีที่ตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดในกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เป็นจำนวนเต็ม เรียกว่ากำหนดการเชิงจำนวนเต็มบริสุทธิ์ (Pure Integer Programming) ในกรณีที่ตัวแปรตัดสินใจบางตัวเป็นจำนวนเต็ม เรียกว่ากำหนดการเชิงจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Program)

ส่วนกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่ไม่มีการกำหนดตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนเต็มเลย เรียกว่า กำหนดการไม่เชิงจำนวนเต็ม (Non-integer Programming)

2.3.3 แบบจำลองเชิงกำหนดและแบบจำลองเฟ้นสุ่ม

หากพิจารณาเรื่องข้อมูลนำเข้า ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจในฟังก์ชันจุดประสงค์ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจในเงื่อนไข รวมถึงปริมาณทรัพยากรที่มีทั้งหมดเป็นข้อมูลที่ทราบค่าแน่นอนและเป็นค่าคงที่แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์นี้เรียกว่า แบบจำลองเชิงกำหนด (Deterministic Model) หากข้อมูลบางค่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ทราบค่าแน่นอน หรือข้อมูลไม่อยู่ในรูปแบบของค่าคงที่ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ดังกล่าวเรียกว่า แบบจำลองเฟ้นสุ่ม (Stochastic Model)

ขั้นตอนการสร้างและการใช้งานกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเพื่อกำหนดกรอบปัญหาและขอบเขตของปัญหา เพื่อให้สามารถระบุลักษณะของผลเฉลยที่ต้องการได้ครบถ้วน ให้ทราบถึงจุดประสงค์ในการตัดสินใจปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 เก็บข้อมูลจากระบบจริง รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ทั้งหมด ตรวจทานข้อมูลเพื่อความถูกต้อง และเก็บข้อมูลเพิ่มเติมกรณีไม่มีข้อมูลนั้นอยู่ และทำการจัดรูปแบบข้อมูลนำเข้าให้เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 สร้างกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ โดยนำข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 และ 2 นำมากำหนดตัวแปรตัดสินใจ จุดประสงค์ในการตัดสินใจ และเงื่อนไขการตัดสินใจให้อยู่ในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบความถูกต้องของกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น โดยทวนสอบตัวแปรตัดสินใจกับลักษณะผลเฉลยที่ต้องการ ตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อฟังก์ชันจุดประสงค์ ตรวจสอบความถูกต้องในการกำหนดเงื่อนไข จากนั้นนำกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มาหาผลเฉลย และตรวจสอบความถูกต้องของผลเฉลยที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 5 เลือกแนวทางที่เหมาะสมสำหรับปัญหา โดยปกติทางเลือกที่เหมาะสมจะมีหนึ่งทางเลือกเท่านั้น แต่ในบางกรณีทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เป็นไปได้หลายแนวทาง ซึ่งสามารถเลือกใช้แนวทางที่ต้องการได้ ในขั้นตอนนี้ควรวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ร่วมด้วย เพื่อศึกษาว่าหากข้อมูลนำเข้าเกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อแนวทางเลือกหรือไม่ อย่างไร

ขั้นตอนที่ 6 เสนอผลที่ได้รับและข้อเสนอแนะในการตัดสินใจต่อผู้บริหาร เพื่อรับข้อแนะนำและนโยบายในการนำผลไปปฏิบัติ

ขั้นตอนที่ 7 นำผลที่ได้ไปทดลองปฏิบัติ ต้องสื่อสารให้พนักงานที่มีส่วนร่วมเข้าใจ ตรวจสอบและสนับสนุนการทำงาน และแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อพัฒนาวิธีการให้เหมาะสมยิ่งขึ้นไป

2.4 การทบทวนวรรณกรรม

ด้วยระบบห้องสะอาดที่มีความจำเป็นในการบำบัดฝุ่นทั้งจากภายนอกและฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเองนั้น **Shang** [6] ได้ทำการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต้องบำบัดอันเกิดมาจากฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ได้สรุปการคำนวณ Air Chang Rate ไว้ดังนี้คือ

$A=G/(X-S)$

A= Air Change Rate per Hour

G=อัตราการเกิดฝุ่นจากกระบวนการภายใน อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง

X=ระดับ Class ห้องสะอาดที่ยอมรับ

S=ปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือจากการกรองต่อครั้งใน 1 ลูกบาศก์

ซึ่งสามารถที่จะกำหนดค่าของ S ปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือได้ดังต่อไปนี้

$s = S_{MAU} \times (1-E_{Pre}) \times (1-E_{Medium}) \times (1-E_{HEPA})$ [10]

s =ปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือจากการกรองต่อครั้งใน 1 ลูกบาศก์ฟุต

S_{MAU} = ปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือจากการกรองต่อครั้งใน 1 ลูกบาศก์ฟุต

E_{Pre} = ประสิทธิภาพของแผ่นกรองเบื้องต้น (%)

E_{Medium} =ประสิทธิภาพของแผ่นกรองระดับกลาง (%)

E_{HEPA} = ประสิทธิภาพของแผ่นกรองระดับสูง (%)

โดยหลักการออกแบบห้องสะอาดโดยการอ้างถึงระดับปริมาณฝุ่นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน ISO ซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ต่อในอุตสาหกรรมอื่นได้ ช่วยทำให้ง่ายต่อการออกแบบ หรือเลือกใช้สมรรถนะของพัดลมส่งอากาศ จากสมการนี้ จึงมีประโยชน์โดยตรง ต่องานวิจัยในการเขียนสมการการคำนวณการเลือกใช้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate) ในโปรแกรม เมื่อได้ศึกษาหนังสือคู่มือการออกแบบจาก **Pacific Gas and Electric Company** [7] แล้วพบว่าปัจจัยสำคัญเพิ่มเติมที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบห้องสะอาดก็คือ พลังงานไฟฟ้าที่จะใช้ในการส่งอากาศ รวมไปถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าตัวอย่างเช่นค่าแรงดันสูญเสียจากแผ่นกรองอากาศ, ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของพัดลมส่งอากาศ เป็นต้น

การเลือกใช้แผ่นกรองอากาศถือได้ว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อค่าพลังงานไฟฟ้า เพราะลักษณะคุณสมบัติเฉพาะทางด้าน คุณภาพการกรองฝุ่นและคุณสมบัติทางด้านการผ่านได้ของอากาศ Rudnick [11]ได้หาวิธีการออกแบบขนาดของแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสมที่สุดในการทำให้แผ่นกรองอากาศมีประสิทธิภาพและรองรับอากาศที่วิ่งผ่านได้อย่างสูงสุด งานวิจัยนี้ได้อธิบายวิธีการออกแบบและทดลองแผ่นกรองอากาศตามหลักทฤษฎีการกรองฝุ่น จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าโครงสร้างของแผ่นกรองอากาศที่ต่างกัน ประสิทธิภาพการกรองก็แตกต่างกันด้วย การเลือกใช้ลักษณะแผ่นกรองอากาศจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณารูปแบบและลักษณะการติดตั้งพร้อมกันไปด้วย

จากงานวิจัยของ Tschudi [10] ได้สรุปว่าการออกแบบห้องสะอาดให้ประหยัดพลังงานจะต้องคำนึงถึง Air Change Rate ถ้าหาก Air Change Rate สูงขึ้นความเร็วลมในระบบก็จะสูงขึ้นด้วย ระบบการทำงานของพัดลมในการเติมลมเข้า ก็จะสูงขึ้นตามด้วย การเลือกใช้รอบการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมกับปริมาณการเติมอากาศเข้าไปในระบบเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในด้านพลังงานถูกเขียนไว้ในงานวิจัยนี้ด้วย และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu [12]ที่ได้ศึกษาการกำหนด Air Change rate ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่การทำงานที่ควบคุมโดยเฉพาะตามมาตรฐาน ISO Class 3 ได้สรุปแนวทางการเลือกใช้ Air Change Rate ที่ขนาดของพื้นที่แตกต่างกันออกไป โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ออกมาเป็นรูปแบบของตาราง ง่ายต่อการนำไปออกแบบห้องสะอาดในระดับชั้นนี้ได้อย่างรวดเร็ว

สำหรับห้องสะอาดโดยทั่วไปนั้น ประเด็นในส่วนของแรงดันอากาศภายในห้องถือว่ามีส่วนสำคัญในการป้องกันฝุ่นจากภายนอกเข้ามา Naughtan [13]ได้นำประเด็นของเส้นทางการไหลของอากาศที่เข้าสู่ระบบเข้ามาเป็นประเด็นการพิจารณา โดยหลักเบื้องต้นคือการพิจารณาแรงดันลมที่สูญหายระหว่างเส้นทาง รวมถึงงานวิจัยนี้ยังได้สรุป การเลือกใช้แผ่นกรอง รูปแบบการเดินท่อ การทำแอร์บาลานซ์ (Air Balance) และอุปกรณ์ในห้องสะอาด รวมถึงลักษณะการออกแบบพื้นที่ในการทำลมส่งกลับ (Air Return) ซึ่งข้อมูลนี้สามารถที่นำไปเทียบเคียงผลเฉลยของการเลือกแผ่นกรองอากาศว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่

ในส่วนของเครื่องมือด้านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือก **วิโรจน์ ตันติภัทโร** [14] ได้ใช้เทคนิคของเครื่องมือ เส้นกรอบล้อมข้อมูล DEA (Data Envelopment Analysis) ในการพิจารณาคัดเลือกผู้ค้าที่ดีที่สุด 4 ลำดับแรกจาก 7 ลำดับ โดยการสร้างแบบจำลองปัญหาด้วยโมเดลคณิตศาสตร์เชิงเส้น พร้อมระบุปัจจัยนำเข้าที่ใช้เป็นเกณฑ์ ในการพิจารณาประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งเกณฑ์ประกอบไปด้วย ปัจจัยนำเข้าด้านราคา

คุณภาพ และความสามารถในการส่งมอบ พร้อมทั้งการหาค่า เหมาะสมในเรื่องการต่อรองปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมในแต่ละคู่ค้า โดยจำลองเป็นกลยุทธ์ปริมาณการสั่งซื้อ งานวิจัยตัวนี้สามารถที่จะทำให้คู่ค้ารู้สถานะของตัวเองว่า ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบของตัวเอง ด้อยตรงจุดไหน เพื่อการนำไปพัฒนาปรับปรุงต่อไป ซึ่งเป็นตัวอย่างการเลือกที่ต้องพิจารณาตามเกณฑ์ ที่คล้ายกับงานวิจัยที่จะทำ

สำหรับกรณีการเลือกเพื่อพิจารณาด้านเงินลงทุนที่ต่ำที่สุด ได้ศึกษาตัวอย่างงานวิจัย **Torabi, Khaleghi** และ **Zakerinia** [15] ที่ได้ใช้กำหนดการทางคณิตศาสตร์ mixed-integer multi objective Model ในการเลือกสถานที่ ที่จะขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยการใช้ เชื้อเพลิงจากฟอสซิลหรือการลงทุนเพิ่มเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มตัวกำเนิดไฟฟ้า งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมการเป้าหมายเป็น 2 ส่วนคือ เงินลงทุนที่ต่ำที่สุด และปริมาณคาร์บอนไดออกไซที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งกำหนดตัวแปรในการตัดสินใจเป็น ชนิดเทคโนโลยี โซนติดตั้ง เชื้อเพลิงที่ใช้ จากสมการเป้าหมายได้แปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซไปเป็นต้นทุนในการบำบัด แล้วหาค่าเหมาะสมออกมา งานวิจัยนี้ได้เลือกชนิดที่จะเพิ่มกำลังไฟฟ้าบนต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยการนำตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมในที่นี้คือคาร์บอนไดออกไซที่ต้องบำบัดมาเป็นต้นทุนในการคำนวณด้วย จะเห็นได้ว่าเป็นตัวอย่างการแปลงลักษณะของเป้าหมายที่หลากหลายให้มาอยู่ในหน่วยเดียวกันได้ สำหรับตัวอย่างโปรแกรมทางคณิตศาสตร์อื่นเพิ่มเติมที่สามารถประยุกต์ใช้ในโจทย์ปัญหาลักษณะนี้คือ งานวิจัยของ **Sun, et al.** [16] ได้ใช้วิธี Analytic Hierarchy Process (AHP) และ Gray Theory ในการวิเคราะห์เลือกเครื่องจักรในแต่ละผู้ผลิต โดยมีเกณฑ์ในการเลือกคือ Machine Precision Task, Machine degree, Machine Dimension, Machine Cost, Creditability Factor, Production Time เป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้กำหนดการทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่เป็น Non-linear Programming ลักษณะของข้อจำกัดที่ซับซ้อน Gray Theory สามารถที่จะประยุกต์ใช้ได้อย่างดี

ตัวอย่างกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่จะทำ คืองานวิจัยของ **Aukara-aree** [17] งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์และสร้างโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมและแบบทวิภาค ในการแก้ปัญหา เพื่อหาจุดจัดตั้งรวบรวมวัตถุดิบยางพารา เพื่อเป้าหมายกำไรสูงสุด รวมถึงเส้นทางการขนส่ง ภายใต้ระบบแรงจูงใจในการคัดเลือกผู้ขาย เนื่องจากมีความซับซ้อนจึงได้พัฒนาระบบฮิวริสติก ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก การจัดตั้งและจัดสรรจุดรวบรวมวัตถุดิบกับผู้ขาย เป็นการสร้างคำตอบที่เป็นไปได้หนึ่งคำตอบ ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทาง เพื่อพัฒนาคำตอบในเชิงการลดต้นทุน และขั้นตอนที่สาม การคัดกรองผู้ขายเพื่อหาผู้ขายที่มีศักยภาพ ซึ่งสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าปัญหาต้นฉบับที่ร้อยละ 99.8 ในส่วนของ

งานวิจัยของ Maheswari และVijayalakshmi [18] ได้ทำการศึกษาในการนำกำหนดการทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น Linear Programing ไปแก้ปัญหาในการเลือกขายจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จะขายภายใน 1 ปีที่ทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานมากที่สุด แต่ด้วยสมการเป้าหมายข้อกำกัดมีหลากลายจึงได้ใช้เทคนิค Lagrangian Relaxation Method ในการลดสมการข้อจำกัดไปทดแทนในสมการเป้าหมายแทน เป็นตัวอย่างการที่ดีในการประยุกต์ใช้วิธีนี้

ตัวอย่างการนำกำหนดการทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น ไปประยุกต์ใช้กับแนวทางการเลือกใช้หรือเลือกผลิตอย่างเช่นงานวิจัยของ Siriariyaporn และ Robinson [19] ที่ประยุกต์ใช้กำหนดการทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นในการเลือกจำนวนตัวกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อนำส่งพลังงานไฟฟ้าให้เพียงตามความต้องการ และพอสำหรับการสำรองพลังงาน แต่ต้องคำนึงถึงราคาค่าไฟฟ้าในตลาดด้วย การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับต้นทุนในด้านการเพิ่มตัวกำเนิดไฟฟ้ากับราคาค่าไฟฟ้าที่ขายได้ในตลาดว่าจะต้องเลือกที่จะเปิดการทำงานที่จำนวนกี่เครื่อง โดยได้สร้างโปรแกรมของการเลือกเชื่อมต่อกับข้อมูลที่เป็นปัจจุบันสามารถที่จะตัดสินใจได้ภายใน 5 นาทีนอกจากนี้งานวิจัยของ Zhen [20] ได้ประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการหาจุดติดตั้งบริการด้านการขนส่งน้ำมันปิโตรเลียมทางท่อ ที่จะต้องรองรับกับความต้องการของลูกค้าได้อย่างทั่วถึง จำนวนและทำเลของจุดติดตั้งบริการมีผลต่อต้นทุนด้านการลงทุน แบบจำลองตัวนี้ได้เสนอแนวทางการเลือก เพื่อให้ได้มาซึ่งต้นทุนที่ต่ำที่สุดแต่สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้อย่างครบถ้วน

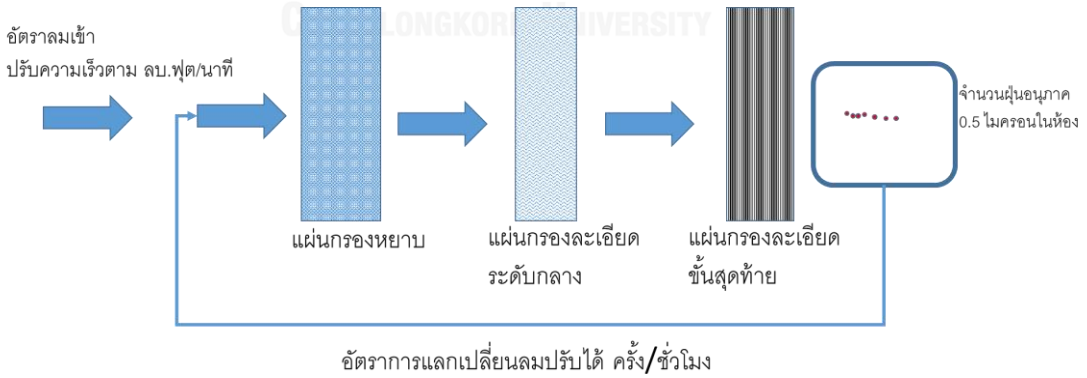
ลักษณะของงานวิจัยที่สามารถเขียนรูปแบบโปรแกรมการเลือกใช้ให้แก่ผู้ใช้งานได้ ดังตัวอย่างของ **รศ.ดร. อิทธิสุนทร นันทกิจ** [21] ได้เขียนโปรแกรมการเลือกและคำนวณการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชโดยใช้ Excel meให้เกษตรกรสามารถคำนวณและผสมสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อใช้ปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดินขึ้นใช้เองได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับธาตุอาหารพืชมากนักกับสิ่งที่ต้องใส่ให้กับโปรแกรม และตัวอย่างที่ดีในการประยุกต์เพิ่มเติมในการเชื่อมต่อฐานข้อมูลกับโปรแกรมคือ งานวิจัยของ **ทศพล ชัชวาลพาณิชย์** [22] ได้พัฒนาออกแบบระบบงานท่อที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ฐานข้อมูลเชิงวัตถุ ผู้เขียนได้ใช้เทคนิคการสร้างโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) โดยโปรแกรมได้สร้างการเลือกขนาดท่อ โดยพิจารณาต้นทุนรวมรายปีที่น้อยที่สุด ในสมการเงื่อนไขจะพิจารณา ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดท่อคือ ค่าลงทุนเริ่มแรก ค่าใช้จ่ายของปั๊มลมตามขนาดท่อ ค่าไฟฟ้า ปริมาณลมต่อขนาดท่อ โดยการเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลที่ใช้ในการเลือกออกแบบ ทำให้ฐานข้อมูลล่าสุดของท่อถูกนำไปใช้โดยตรงในการคำนวณ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยนี้ผู้เขียนจะเริ่มต้นด้วยการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการกรองฝุ่นของห้องสะอาดว่าลักษณะรูปแบบการกรองเป็นอย่างไร จากนั้นจะวิเคราะห์หาตัวแปรตัดสินใจในการเลือกแนวทางการทำห้องสะอาด ในขณะเดียวกันจะต้องวิเคราะห์ถึงเงื่อนไขข้อกำหนดต่างๆที่ลูกค้ากำหนดมาและสิ่งที่มีอยู่ในฐานข้อมูล เมื่อได้เงื่อนไขแล้วจะกำหนดค่าเป้าหมายในการนำมาพิจารณาเลือกใช้สำหรับการทำห้องสะอาด สุดท้ายจะนำในส่วนที่วิเคราะห์ได้นี้ประยุกต์ลงในรูปแบบการคำนวณทางคณิตศาสตร์และสรุปแนวทางการป้อนข้อมูลนำเข้าสำหรับการคำนวณ

3.1 วิเคราะห์รูปแบบการกรองฝุ่นในห้องสะอาด

ห้องสะอาดที่มีการควบคุมจะมีแผ่นกรองอากาศทำหน้าที่ในการกรองฝุ่นเพื่อไม่ให้เข้าสู่ในระบบแผ่นกรองอากาศจะมีลักษณะลำดับการกรองเริ่มตั้งแต่การกรองฝุ่นหยาบเบื้องต้นการกรองฝุ่นละเอียดระดับกลางและการกรองฝุ่นละเอียดระดับสูงห้องสะอาดที่ต้องควบคุมฝุ่นให้อยู่ในเกณฑ์จำนวนอนุภาคที่กำหนดนั้นหลังจากอากาศไหลผ่านแผ่นกรองทั้ง 3 แล้ว จะมีฝุ่นที่หลงเหลือจากการกรองส่วนหนึ่งรวมกับฝุ่นที่เกิดขึ้นจากภายในระบบเองถ้าหากมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ฝุ่นที่หลงเหลืออยู่ในนั้นจะต้องนำไปผ่านแผ่นกรองทั้ง 3 ชั้นใหม่ตามรูปที่ 15



รูปที่ 15 ลักษณะของลำดับการกรอง ตั้งแต่อัตราลมที่เข้าจนถึงการกรองฝุ่นให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จากรูปที่15 จะเห็นได้ว่า อนุภาคฝุ่นเมื่อเข้ามาในระบบจะถูกกรองด้วยแผ่นกรอง 3 ชั้น เรียงลำดับตามประสิทธิภาพที่กรองได้จากน้อยไปมาก ฝุ่นที่หลงเหลือจากการกรองแล้ว จะเข้าไปอยู่ในพื้นที่การทำงาน และในขณะเดียวกันก็จะมีฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการทำงานและกระบวนการผลิตด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำฝุ่นในพื้นที่การทำงานนั้นกลับเข้ามากรองใหม่จนกว่าจะหลงเหลือปริมาณฝุ่นที่ยอบรับได้ในเกณฑ์ของระดับห้องสะอาด ซึ่งหากฝุ่นที่หลุดลอดมีปริมาณมากจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้แผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น หรือเพิ่มรอบการแลกเปลี่ยนนำอากาศไปกรองใหม่ต่อชั่วโมงให้สูงขึ้น[23]

3.2 ข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการออกแบบห้องสะอาด

3.2.1 คุณสมบัติแผ่นกรองอากาศ

แผ่นกรองอากาศแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน คุณสมบัติหลักของแผ่นกรองอากาศที่นำมาพิจารณาเลือกใช้ได้แก่

3.2.1.1 ประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศ

ประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศคือ ค่าความสามารถในการกรองฝุ่นได้ของแผ่นกรองอากาศ ซึ่งระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณฝุ่นด้านขาเข้าที่สามารถกรองได้ ตัวอย่างเช่น แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพ 95% ความหมายคือ หากฝุ่นด้านขาเข้ามีจำนวน 100 อนุภาค ฝุ่นที่สามารถกรองได้ที่ 95 อนุภาค และหลุดลอดไปได้เพียงแค่ 5 อนุภาค ประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศขึ้นอยู่กับการออกแบบเนื้อแผ่นกรองเพื่อการดักจับฝุ่นตามทฤษฎีการดักจับฝุ่น

3.2.1.2 ปริมาณลมที่รับได้ของแผ่นกรองอากาศ

แผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิดจะออกแบบเพื่อการรองรับปริมาณลมได้ที่แตกต่างกัน ทั้งขึ้นอยู่กับพื้นที่ของเนื้อแผ่นกรองอากาศที่บรรจุในกรอบของแผ่นกรองอากาศ ปริมาณเนื้อแผ่นกรองที่มากขึ้น หน้าสัมผัสการรับลมก็จะมากขึ้น ปริมาณลมที่วิ่งผ่านได้ก็จะมากขึ้นตาม ดังนั้นการออกแบบแผ่นกรองอากาศที่ให้หนามากขึ้นเพื่อเพิ่มเนื้อแผ่นกรอง สามารถทำให้แผ่นกรองรับปริมาณลมได้มากขึ้น

3.2.1.3 แรงดันตกคร่อมของแผ่นกรองอากาศ

แรงดันตกคร่อมของแผ่นกรองอากาศสามารถวัดได้จากค่าผลต่างของแรงดันอากาศด้านขาเข้ากับด้านขาออก แผ่นกรองอากาศที่เลือกใช้ชนิดและรูปแบบของเนื้อที่แตกต่างกัน ทำให้แรงดันลมที่ไหลผ่านแผ่นกรองลดต่ำแตกต่างกัน แรงดันนี้มีผลโดยตรงต่อความเร็วของลมที่ลดลง ทำให้ปริมาณอากาศที่เติมเข้าไปในระบบมีไม่เพียงพอ ความดันในห้องปฏิบัติงานลดต่ำกว่าห้องข้างเคียง ซึ่งจะทำให้ฝุ่นจากภายนอกไหลเข้าสู่ในระบบได้

3.2.1.4 ราคาแผ่นกรองอากาศ

ราคาแผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แผ่นกรองหยาบจะมีราคาที่ต่ำที่สุด แผ่นกรองที่ละเอียดขึ้นราคาก็จะเพิ่มสูงขึ้น สำหรับการนำราคาของแผ่นกรองอากาศเพื่อนำไปคำนวณการเปรียบเทียบ ได้นำปัจจัยในส่วนของอายุการใช้งานเข้ามาคิดด้วย โดยทั่วไปแผ่นกรองอากาศเบื้องต้นจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 3 เดือนดังนั้นต้นทุนใน 1 ปีจะเป็น 4 เท่าของราคาแผ่นกรองอากาศนั้น ส่วนแผ่นกรองระดับกลางอายุการใช้งานอยู่ที่ 6 เดือนต้นทุนใน 1 ปีจะเป็น 2 เท่าของราคาแผ่นกรองอากาศนั้น ส่วนแผ่นกรองระดับสูงอายุการใช้งานอยู่ที่ 1 ปีดังนั้นต้นทุนต่อปีสามารถคิดที่ราคาของแผ่นกรองนั้นๆได้

3.2.2 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง เป็นจำนวนรอบที่จะแสดงถึงจำนวนรอบการนำอากาศที่มีอยู่ทั้งหมดในห้องไปกรองใหม่ เพื่อให้ฝุ่นที่หลงเหลือในระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ การนำฝุ่นไปกรองใหม่นี้จุดประสงค์เพื่อที่จะต้องการนำฝุ่นที่เกิดขึ้นในห้องไปกรองก่อนที่จะนำอากาศมาใช้ใหม่ ดังนั้นจำนวนรอบตัวนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบและความสามารถของการกรองได้ของแผ่นกรองอากาศ

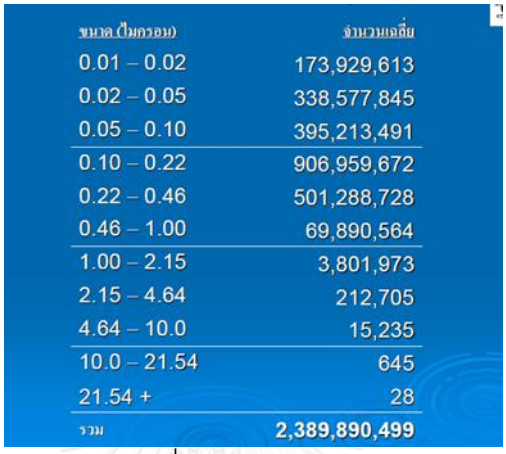
3.2.3 ข้อกำหนดห้องสะอาดจากผู้ใช้งาน

3.2.3.1 ระดับความสะอาดของห้องสะอาด

ระดับความสะอาดของห้องสะอาดจะถูกกำหนดมาจากลูกค้า ในที่นี้จะระบุมาในรูปแบบของระดับของห้องสะอาด (Clean Room Class) ดังนั้นฝุ่นที่หลงเหลือมาภายในระบบจะต้องมีค่าไม่เกินกว่าเกณฑ์ระดับห้องสะอาด โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อฝุ่นที่อยู่ระบบมาจาก 2 ส่วนดังนี้คือ ฝุ่นที่เข้ามาจากภายนอกและฝุ่นที่เกิดขึ้นจากภายในระบบ

1) ฝุ่นจากภายนอก

ในแต่ละพื้นที่หรือชุมชนขนาดฝุ่นและปริมาณฝุ่นจะแตกต่างกัน การออกแบบห้องสะอาดจะนำเอาข้อมูลนี้ ไปเป็นข้อมูลการอ้างอิงในการคำนวณต่อไป ซึ่งบางครั้งผู้ออกแบบจะมีการเก็บสำรวจที่พื้นที่จริง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลา หากมีข้อจำกัดด้านนี้ ทางผู้ออกแบบนิยมที่จะเลือกใช้ขนาดและปริมาณฝุ่นตามที่เคยมีอ้างอิงตามตัวอย่างในรูปที่ 16



ขนาด (ไมครอน)	จำนวนเฉลี่ย
0.01 – 0.02	173,929,613
0.02 – 0.05	338,577,845
0.05 – 0.10	395,213,491
0.10 – 0.22	906,959,672
0.22 – 0.46	501,288,728
0.46 – 1.00	69,890,564
1.00 – 2.15	3,801,973
2.15 – 4.64	212,705
4.64 – 10.0	15,235
10.0 – 21.54	645
21.54 +	28
รวม	2,389,890,499

รูปที่ 16 ปริมาณฝุ่นขาเข้าโดยทั่วไป ฝุ่นในเมืองในปริมาณ 1 ลูกบาศก์ฟุต [1]

จากรูปที่ 16 ในชุมชนเมืองโดยตัวไปจะมีปริมาณฝุ่นตามแต่ละขนาดที่แตกต่างกัน อ้างอิงจากการเก็บตัวอย่างของมาตรฐาน ASHERE โดยฝุ่นที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาในระดับ (Class) ตามมาตรฐานของห้องสะอาดจะนับจำนวนอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.5 ไมครอน ใน 1 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งจำนวนอนุภาคฝุ่นด้านขาเข้าโดยทั่วไปที่ในรูปที่ 16 อยู่ที่ประมาณ 2.389 ล้านตัวต่อลูกบาศก์ฟุต จากรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าขนาดฝุ่นที่นำเข้ามาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาในแต่ระดับชั้นของห้องสะอาดนั้นจำนวนในแต่ละขนาดจะแตกต่างกันออกไป แต่จำนวนอนุภาคฝุ่นที่สอดคล้องกับระดับของห้องสะอาด จะเป็นฝุ่นที่ขนาดใหญ่ตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไป กล่าวคือ ถ้าระดับชั้นของห้องสะอาด (Class) 1000 จะยอมรับที่ขนาดฝุ่นที่ใหญ่กว่า 0.5 ไมครอน ไม่เกินกว่า 1,000 อนุภาค ดังนั้นการคำนวณปริมาณฝุ่นขาเข้ามาในระบบ คือฝุ่นที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไป ซึ่งมีอยู่ประมาณ 74 ล้านตัวต่อลูกบาศก์ฟุต โดยฝุ่นที่เล็กกว่า 0.5 ไมครอนไม่ได้นำมาพิจารณาในการกำหนดระดับชั้นของห้องสะอาด จึงไม่ได้นำมาคำนวณเป็นจำนวนอนุภาคฝุ่นด้านขาเข้าเริ่มต้นในระบบ แต่ด้วยฝุ่นด้านขาเข้านี้มีปริมาณฝุ่นจำนวนมากหากปล่อยเข้ามาในระบบโดยตรงจะมีผลต่ออายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ ซึ่งแผ่นกรองอากาศจะหมดอายุการใช้งานเร็วขึ้น ดังนั้นทางผู้ใช้งานหรือผู้ออกแบบจะมีการติดตั้งชุดกรองฝุ่นเบื้องต้น (Make Up Air Unit) เพื่อกรองฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่ เช่น ขนนก แมลง ดอกหญ้า เป็นต้น ให้น้อยลงก่อนที่

จะนำอากาศเข้ามาหมุนเวียนในระบบ ค่าปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือจากชุดกรองเบื้องต้นนี้ทางผู้ใช้งานหรือผู้ออกแบบจะเป็นคนกำหนดมาให้

2) ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากภายในระบบ

ฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นจากในระบบเองในที่นี้คือฝุ่นเกิดจากกระบวนการผลิตหรือเกิดจากผู้ปฏิบัติงานเอง ฝุ่นในส่วนนี้จะถูกนำมากรองโดยใช้วิธีของการดูดกลับอากาศภายใน ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบกระบวนการผลิตนั้น ลูกค้าสามารถสำรวจได้ตามหน้างานจริง ลักษณะของกระบวนการผลิตและกิจกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจะมีผลทำให้ฝุ่นเกิดขึ้นจากภายในระบบ ที่แตกต่างกัน บางครั้งทางผู้ออกแบบสามารถที่จะประเมินจากตารางที่ 5 หรือเทียบเคียงกับโครงการที่มีการผลิตแล้วก่อนหน้าก็ได้

ตารางที่ 5 ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการทำงานของพนักงานในแต่ละลักษณะการเคลื่อนไหว[3]

กิจกรรม	ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้น (ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ไมครอน อนุภาคต่อชั่วโมง)
นั่งนิ่งหรือยืนนิ่งอยู่กับที่	100,000
นั่งทำงาน มีการเคลื่อนไหวเล็กน้อย ของ	500,000
นั่งทำงาน มีการเคลื่อนไหวเล็กน้อย ของ	1,000,000
ยืนทำงาน	2,500,000
เดินช้าๆ	5,000,000
เดินปกติ	7,500,000
เดินที่ความเร็ว 2.5 เมตรต่อวินาที	10,000,000
เคลื่อนไหวแบบออกกำลังกาย	15,000,000-30,000,000

3.2.3.2 ขนาดของห้องสะอาด

ขนาดของห้องสะอาดจะมีผลต่อปริมาณของอากาศที่จะป้อนเข้าภายในระบบมีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที โดยหน่วยของขนาดของห้องจะระบุเป็น กว้าง ยาว สูง หน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต

3.2.3.3 แรงดันตกคร่อมสูญเสียสูงสุด

ค่าแรงดันตกคร่อมสูญเสียสูงสุดที่จะรับได้ในระบบ ลูกค้าหรือผู้ออกแบบจะเป็นคนกำหนดมา โดยค่าแรงดันตกคร่อมตัวนี้จะมีผลกระทบโดยตรงต่อมอเตอร์พัดลมส่งอากาศ แรงตกคร่อมสูญเสียที่สูงขึ้นทำให้ความเร็วรอบของลมที่ส่งต่ำลง ดังนั้นถ้าหากต้องการทำรอบให้ได้ความเร็วลมที่เท่าเดิมจะต้อง เพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้น

3.2.3.4 อัตราการไหลของอากาศสูงสุดภายในระบบ

อัตราการไหลของอากาศภายในระบบสามารถที่จะคำนวณได้จาก ปริมาตรของห้องสะอาดคูณด้วยจำนวนรอบของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ จะได้ปริมาตรอากาศต่อหน่วยชั่วโมง ดังนั้นค่าปริมาตรอากาศนี้จะได้มาโดยตรงจากความสามารถในการทำรอบอัตราการส่งอากาศ จากกำลังของพัดลมส่งอากาศที่เลือกใช้ ซึ่งในการคำนวณจะระบุเป็นรอบของอัตราการแลกเปลี่ยนที่สูงที่สุดที่สามารถทำได้

3.3 ค่าเป้าหมายในการพิจารณาทำห้องสะอาด

ค่าเป้าหมายในการพิจารณาทำห้องสะอาดในที่นี้คือต้นทุนในการทำห้องสะอาดสามารถแบ่งที่มาได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

3.3.1 ค่าต้นทุนแผ่นกรองอากาศที่ใช้งาน โดยคุณสมบัติของแผ่นกรองอากาศมีผลต่อราคาดังนี้

- แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูงจะมีราคาสูง
- แผ่นกรองอากาศที่รับลมได้มากขึ้น ราคาจะสูงขึ้น
- แผ่นกรองอากาศที่แรงดันตกคร่อมต่ำราคาจะสูงขึ้น

3.3.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้ามีที่มาจาก 2 ปัจจัยหลักดังนี้คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และแรงดันตกคร่อมสูญเสีย

3.3.2.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air Change Rate) สูงค่าไฟเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าจากค่ากำลังของพัดลมส่งอากาศสามารถคำนวณในรูปของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ดังนี้

กำหนด

$A =$ อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (ต่อชั่วโมง)

$RoomSize =$ ขนาดห้อง (ลูกบาศก์ฟุต)

$EnergyEfficiencyRaito =$ ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องส่งลมเย็น (กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) กำหนดเท่ากับ 0.8 [7]

$UnitPowerCost =$ หน่วยค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) กำหนดเท่ากับ 3

$WorkingTime =$ ชั่วโมงทำงาน (ชั่วโมงต่อปี) กำหนดเท่ากับ 7,120

ค่าพลังงานไฟฟ้าจากค่ากำลังของพัดลมส่งอากาศ (บาทต่อปี) [7]

$$= \frac{A}{60} \times \text{RoomSize} \times EnergyEfficiencyRaito \times UnitPowerCost \times WorkingTime$$

3.3.2.2. แรงดันที่ตกคร่อมสูงขึ้นทำให้ต้องปรับรอบมอเตอร์ ให้สูงขึ้น ค่าไฟฟ้าเพิ่มจึงเพิ่มขึ้นต้นทุนส่วนต่างจากค่าไฟฟ้าอันเนื่องมาจากแรงดันตกคร่อมสูญเสียของแผ่นกรองอากาศสามารถที่จะคำนวณได้ดังนี้

กำหนด

- $PressureDrop =$ ค่าแรงดันตกคร่อมสูญเสีย (ปาสคาล หรือ นิวตันต่อตารางเมตร)
- $A =$ อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (ต่อชั่วโมง)
- $RoomSize =$ ขนาดห้อง (ลูกบาศก์ฟุต)
- $SystemFlow = \frac{A}{60} \times RoomSize$ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) หรือ $\frac{A}{60} \times RoomSize * 1.7$ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
- $FanCoefficiency =$ ประสิทธิภาพสมรรถนะเครื่องส่งลมเย็นกำหนด 1.22 [1]
- $FanEfficiency =$ ประสิทธิภาพมอเตอร์เครื่องส่งลมเย็นกำหนด 0.55 [1]
- $Unit\ Power\ Cost =$ หน่วยค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) กำหนดเท่ากับ 3
- $Working\ time =$ ชั่วโมงทำงาน (ชั่วโมงต่อปี) กำหนดเท่ากับ 7,120

พลังงานไฟฟ้าจากที่เกิดจากแรงดันตกคร่อมสูญเสีย(*กิโลวัตต์)* [7]

พลังงานไฟฟ้า

$$= \frac{PressureDrop\,\frac{N}{M^2} \times SystemFlow\,\frac{M^3}{Hour} \times Fan\ Coefficiency}{Fan\ Efficiency \times \frac{1000W}{KW} \times \frac{60Minute}{Hour} \times \frac{60Second}{Minute}}$$

(พลังงานไฟฟ้า 1 วัตต์มีค่าเท่ากับ 1 นิวตันเมตรต่อวินาที)

ซึ่งสามารถคำนวณต้นทุนส่วนต่างจากค่าไฟฟ้าต่อปีได้ดังนี้ (บาทต่อปี)

$$= \frac{PressureDrop\,\frac{N}{M^2} \times SystemFlow\,\frac{M^3}{Hour} \times Fan\ Coefficiency}{Fan\ Efficiency \times \frac{1000W}{KW} \times \frac{60Minute}{Hour} \times \frac{60Second}{Minute}}$$

$$\times UnitPowerCost\ \times\ WorkingTime$$

จากค่าเป้าหมายที่ได้กำหนดนั้น จะต้องเลือกตัวแปรตัดสินใจ ในที่นี้คือชนิดของแผ่นกรองอากาศและจำนวนรอบของการแลกเปลี่ยนอากาศ ที่จะทำให้ค่าเป้าหมายในในการลงทุนทำห้องสะอาดให้น้อยที่สุด

3.4 ประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์

วิธีการคำนวณการใช้แผ่นกรองอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในปัจจุบันผู้ใช้งานจะกำหนดเงื่อนไขในการทำห้องสะอาดดังนี้

- ระดับของห้องสะอาด (Clean room Class) (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)
- ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (Supply Concentrate) (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)
- ค่าแรงดันตกคร่อมสูงสุด (Max Pressure Drop) (ปาสคาล)
- อัตราการเกิดฝุ่นภายในระบบ (Internal Generate) (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)
- ขนาดห้องสะอาด (ลูกบาศก์ฟุต)

ซึ่งจะต้องสร้างแบบจำลองการคำนวณหาค่าความเหมาะสมที่สุดของแผ่นกรองอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ที่สอดคล้องตามเงื่อนไขที่กำหนด

3.4.1 กำหนดเซตของตัวแปร

$I =$ เซตของแผ่นกรองอากาศเบื้องต้น $i = 1, \dots, n$

$J =$ เซตของแผ่นกรองอากาศระดับกลาง $j = 1, \dots, m$

$K =$ เซตของแผ่นกรองอากาศระดับสูง $k = 1, \dots, l$

3.4.2 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ

- X_i = *จำนวนแผ่นกรองอากาศเบื้องต้นที่จะเลือกใช้ในแต่ละชนิด* i
- Y_j = *จำนวนแผ่นกรองอากาศละเอียดระดับกลางที่จะเลือกใช้ในแต่ละชนิด* j
- Z_k = *จำนวนแผ่นกรองอากาศละเอียดระดับสูงที่จะเลือกใช้ในแต่ละชนิด* k
- XX_i = *ชนิดแผ่นกรองอากาศเบื้องต้นที่จะเลือกใช้*

$$\mathrm{XX}_i = \begin{cases} 1, & \text{หากเลือกแผ่นกรองระดับต้น } i \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

- YY_j = *ชนิดแผ่นกรองอากาศละเอียดระดับกลางที่จะเลือกใช้*

$$\mathrm{YY}_j = \begin{cases} 1, & \text{หากเลือกแผ่นกรองระดับกลาง } j \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

- ZZ_k = *ชนิดแผ่นกรองอากาศละเอียดระดับสูงที่จะเลือกใช้*

$$\mathrm{ZZ}_k = \begin{cases} 1, & \text{หากเลือกแผ่นกรองระดับสูง } k \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

- A = *จำนวนรอบในการแลกเปลี่ยนอากาศ (ต่อชั่วโมง)*
- $EnergyCost1$ = *ต้นทุนของค่าไฟฟ้าจากกำลังของพัดลมส่งอากาศ (บาทต่อปี)*
- $EnergyCost2$ = *ต้นทุนส่วนต่างจากค่าไฟฟ้าอันเนื่องมาจากแรงดันตกคร่อมสูญเสียของแผ่นกรองอากาศ (บาทต่อปี)*

3.4.3 พารามิเตอร์

1) ต้นทุนของแผ่นกรองอากาศแต่ละชนิดในสมการเป้าหมาย

- $Pcost_i$ =ต้นทุนแผ่นกรองเบื้องต้น i (บาทต่อชิ้นต่อปี)
- $Mcost_j$ =ต้นทุนแผ่นกรองระดับกลาง j (บาทต่อชิ้นต่อปี)
- $Hcost_k$ =ต้นทุนแผ่นกรองระดับสูง k (บาทต่อชิ้นต่อปี)

2) *ประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศแต่ละชนิดในสมการข้อจำกัด*

- $Peff_i$= *ประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศเบื้องต้น* i
- $Meff_j$= *ประสิทธิภาพกรองอากาศละเอียดระดับกลาง* j
- $Heff_k$= *ประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศละเอียดระดับสูง* k

3) แรงดันตกคร่อมของแผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิดในสมการข้อจำกัด

- P$pressureDrop_i$= *แรงดันตกคร่อมแผ่นกรองอากาศเบื้องต้น* i *(ปาสคาล)*
- $MpressureDrop_j$= *แรงดันตกคร่อมแผ่นกรองอากาศละเอียดระดับกลาง* j *(ปาสคาล)*
- $HpressureDrop_k$= *แรงดันตกคร่อมแผ่นกรองอากาศละเอียดระดับสูง* k *(ปาสคาล)*

4) *ความสามารถในการรับอัตราความเร็วลมของแผ่นกรองแต่ละชนิด*

- $Pflow_i$ =*อัตราการไหลที่สามารถรับได้ของแผ่นกรองระดับต้น* i *(ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*
- $Mflow_j$ =*อัตราการไหลที่สามารถรับได้ของแผ่นกรองระดับกลาง* j *(ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*
- $Hflow_k$ =*อัตราการไหลที่สามารถรับได้ของแผ่นกรองระดับสูง* k *(ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*

4) ข้อกำหนดจากผู้ใช้งาน

- $CustomerPressureDrop$ = *แรงดันตกคร่อมสูงสุดที่ลูกค้ากำหนด (ปาสคาล)*
- $CustomerFlow$ = *อัตราการไหลของอากาศที่ลูกค้ากำหนดมา (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*
- $CustomerClass$ =*ระดับห้องสะอาดที่ลูกค้ากำหนด(อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)*
- $InternalGenerate$ =*ปริมาณฝุ่นภายในห้องที่เกิดขึ้น (*อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง*)*
- S_{mau} = *ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (*อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต*)*
- $RoomSize$ =*ขนาดของห้องในหน่วย (ลูกบาศก์ฟุต)*
- $MinAirChange$ =*จำนวนรอบในการแลกเปลี่ยนที่ต่ำที่สุด (ต่อชั่วโมง)*
- $Max\ Air\ Change$ =*จำนวนรอบในการแลกเปลี่ยนที่สูงที่สุด (ต่อชั่วโมง)*

5) ค่ากำหนดเพื่อการคำนวณ

- $EnergyEfficiencyRaito$ =*ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องส่งลมเย็น กิโลวัตต์ต่อ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) กำหนดให้เท่ากับ 0.8* [6]

- $FanCoefficiency$ =*ประสิทธิภาพสมรรถนะเครื่องส่งลมเย็น กำหนดให้เท่ากับ 1.22* [1]
- $FanEfficiency$ =*ประสิทธิภาพมอเตอร์เครื่องส่งลมเย็น กำหนดให้เท่ากับ 0.55* [1]
- $UnitPowerCost$ =*หน่วยค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) กำหนดให้เท่ากับ 3*
- $WorkingTime$ =*ชั่วโมงทำงาน (ชั่วโมงต่อปี) กำหนดให้เท่ากับ 7,120*

3.4.4 กำหนดฟังชันค่าเป้าหมาย

$Minimize\ Z$ = *เงินลงทุนเริ่มแรกของแผ่นกรองและต้นทุนในการดำเนินการในค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อปี)*

$$= \sum_{i=1}^{n} X_i * Pcost_i + \sum_{j=1}^{m} Y_j * Mcost_j + \sum_{k=1}^{l} Z_k * Hcost_k + EnergyCost1 + EnergyCost2 \quad (1)$$

กำหนด (1) คือฟังก์ชันการหาค่าต้นทุนในการทำห้องสะอาดที่ต่ำที่สุดจากราคาต้นทุนในการเลือกใช้แผ่นกรองแต่ละชนิด

โดยต้นทุนมาจาก 2 ส่วนคือ ต้นทุนแผ่นกรองและต้นทุนด้านพลังงาน ต้นทุนของแผ่นกรองอากาศมาจากจำนวนแผ่นกรองที่ต้องใช้งาน รองรับปริมาณลมได้อย่างเพียงพอตามที่ลูกค้ากำหนดมา โดยปริมาณลมนั้นลูกค้าจะกำหนดตามความสามารถของพัดลมส่งอากาศที่สามารถทำได้ ในส่วนของต้นทุนด้านพลังงานนั้นมีผลโดยตรงจากอัตราของกำลังไฟที่เพิ่มสูงขึ้นจากการปรับเปลี่ยนอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและแรงดันตกคร่อมสูญเสียที่ทำให้ปริมาณการไหลของลมที่ลดน้อยลง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

1) ค่าพลังงานเกิดจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ [7]

$$EnergyCost1 = \frac{A}{60} \times \text{RoomSize} \times EnergyEfficiencyRaito \times UnitPowerCost \times WorkingTime$$

2) ค่าพลังงานจากแรงดันตกคร่อมสูญเสีย [7]

$$EnergyCost2 = \left(\sum_{i=1}^{n} XX_i \times \text{P}pressureDrop_i + \sum_{j=1}^{m} YY_j \times \text{M}pressureDrop_j\right.$$

$$+\sum_{k=1}^{l} ZZ_k \times \mathrm{H}pressureDrop_k) \frac{\frac{A}{60} \times RoomSize \times 1.7 \times FanCoefficiency}{FanEfficiency \times 1000 \times 60 \times 60}$$

$$\times UnitPowerCost \times WorkingTime$$

3.4.5 กำหนดเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{n} XX_i \times \mathrm{P}pressureDrop_i + \sum_{j=1}^{m} YY_j \times \mathrm{M}pressureDrop_j + \sum_{k=1}^{l} ZZ_k$$

$$\times \mathrm{H}pressureDrop_k \leq CustomerPressureDrop \quad (2)$$

กำหนด (2) คือเงื่อนไขการคำนวณแรงดันตกคร่อมสูงสุดที่ลูกค้ากำหนด

แรงดันตกคร่อมสูญเสียรวมของระบบสามารถคำนวณได้โดยการนำเอาแรงดันตกคร่อมสูญเสียจากแผ่นกรองอากาศในแต่ละชั้นบวกกัน[6] โดยมีค่ารวมกันต้องไม่เกินกว่าที่ลูกค้ากำหนดมา

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \times Pflow_i \geq \sum_{i=1}^{n} XX_i \times CustomerFlow \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{m} Y_j \times Mflow_j \geq \sum_{j=1}^{m} YY_j \times CustomerFlow \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{l} Z_k \times Hflow_k \geq \sum_{k=1}^{l} ZZ_k \times CustomerFlow \quad (5)$$

กำหนด (3) คือเงื่อนไขความสามารถในการรองรับอัตราการไหลของแผ่นกรองระดับต้น

กำหนด (4) คือเงื่อนไขความสามารถในการรองรับอัตราการไหลของแผ่นกรองระดับกลาง

กำหนด (5) คือเงื่อนไขความสามารถในการรองรับอัตราการไหลของแผ่นกรองระดับสูง

แผ่นกรองอากาศที่มีคุณสมบัติรับลมได้ในแต่ละตัวที่แตกต่างกัน ชนิดและจำนวนแผ่นกรองที่ถูกเลือกใช้งานนั้นจะต้องรองรับลมได้ไม่น้อยกว่าที่ลูกค้ากำหนดทั้ง 3 ชั้นของแผ่นกรองอากาศ

$$\frac{InternalGenerate}{A} + S_{mau} \times \left(1 - \sum_{i=1}^{n} XX_i \times \mathrm{P}eff_i\right) \times \left(1 - \sum_{j=1}^{m} YY_j \times \mathrm{M}eff_j\right) \times \left(1 - \sum_{k=1}^{l} ZZ_k \times \mathrm{H}eff_k\right) \leq CustomerClass \quad (6)$$

กำหนด (6) คือเงื่อนไขปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือเทียบกับระดับของห้องสะอาด

ฝุ่นที่หลงเหลือจากการกรองด้วยแผ่นกรองอากาศทั้ง 3 ชั้น ณ เวลาที่ฝุ่นในระบบมีสภาวะนิ่ง ค่าปริมาณฝุ่นที่เหลือในห้องนั้นจะต้องไม่เกินกว่าระดับของห้องสะอาดตามที่ลูกค้ากำหนดมา โดยสามารถคำนวณในจากสมการตามงานเขียนของ Sang [6]

$$\sum_{i=1}^{n} XX_i = 1 \quad (7)$$

กำหนด (7) คือเงื่อนไขแผ่นกรองอากาศเบื้องต้นบังคับเลือกที่ 1 ชนิด

$$\sum_{j=1}^{m} YY_j = 1 \quad (8)$$

กำหนด (8) คือเงื่อนไขแผ่นกรองอากาศระดับกลางบังคับเลือกได้ 1 *ชนิด*

$$\sum_{k=1}^{l} ZZ_k \leq 1 \quad (9)$$

กำหนด (9) คือเงื่อนไขแผ่นกรองขั้นสุดท้าย เลือกได้ไม่เกิน 1 ชนิด หรือไม่เลือกก็ได้

ห้องสะอาดโดยพื้นฐานจะต้องมีแผ่นกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่นขั้นต้นด้วยแผ่นกรองหยาบ ซึ่งห้องสะอาดตามระดับมาตรฐานที่ชั้นที่ผ่อนคลายที่สุด *Class 100000* มีความจำเป็นขั้นต่ำที่จะต้องมีการใช้แผ่นกรองระดับกลางในชั้นที่ *2* แผ่นกรองอากาศขั้นสุดท้ายขึ้นอยู่กับระดับของห้องสะอาด ซึ่งสามารถที่จะไม่เลือกใช้งานก็ได้หากปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือจากแผ่นกรองอากาศชั้นที่ 2 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

$$\sum_{j=1}^{m} YY_j - \sum_{k=1}^{n} ZZ_k \leq 0 \tag{10}$$

กำหนด (10) คือเงื่อนไขบังคับหากเลือกแผ่นกรองระดับสูงแล้วจะต้องเลือกแผ่นกรองระดับกลางด้วย

$$X_i \leq M \times XX_i \quad \forall\, i \tag{11}$$

$$Y_j \leq M \times YY_j \quad \forall\, j \tag{12}$$

$$Z_k \leq M \times ZZ_k \quad \forall\, k \tag{13}$$

กำหนด (11) คือเงื่อนไขใช้เพื่อหาจำนวนแผ่นกรองอากาศระดับต้นกรณีที่ถูกเลือก กรณีที่ไม่เลือกใช้งานจะบังคับให้จำนวนแผ่นกรองอากาศมีค่าเท่ากับศูนย์
กำหนด (12) คือเงื่อนไขใช้เพื่อหาจำนวนแผ่นกรองอากาศระดับกลางกรณีที่ถูกเลือก กรณีที่ไม่เลือกใช้งานจะบังคับให้จำนวนแผ่นกรองอากาศมีค่าเท่ากับศูนย์
กำหนด (13) คือเงื่อนไขใช้เพื่อหาจำนวนแผ่นกรองอากาศระดับสูงกรณีที่ถูกเลือก กรณีที่ไม่เลือกใช้งานจะบังคับให้จำนวนแผ่นกรองอากาศมีค่าเท่ากับศูนย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$A \geq MinAirChange \tag{14}$$

$$A \leq MaxAirChange \tag{15}$$

กำหนด (14) คือเงื่อนไขอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ระบบสามารทำได้น้อยสุด
กำหนด (15) คือเงื่อนไขอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ระบบสามารทำได้สูงสุด

$$X_i \geq 0 \quad \forall\, i \tag{16}$$

$$Y_j \geq 0 \quad \forall\, j \tag{17}$$

$$Z_k \geq 0 \quad \forall\, k \tag{18}$$

$$XX_i \in 0,1 \quad \forall\, i \tag{19}$$

$$YY_j \in 0,1 \quad \forall\, j \tag{20}$$

$$ZZ_k \in 0,1 \quad \forall\, k \tag{21}$$

กำหนด (16) คือเงื่อนไขจำนวนแผ่นกรองอากาศระดับต้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

กำหนด (17) คือเงื่อนไขจำนวนแผ่นกรองอากาศระดับกลางมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

กำหนด (18) คือเงื่อนไขจำนวนแผ่นกรองอากาศระดับสูงมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

กำหนด (19) คือเงื่อนไขชนิดของแผ่นกรองอากาศระดับต้นที่จะเลือกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกแผ่นกรองนั้น และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่เลือกแผ่นกรองชนิดนั้น

กำหนด (20) คือเงื่อนไขชนิดของแผ่นกรองอากาศระดับกลางที่จะเลือกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกแผ่นกรองนั้น และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่เลือกแผ่นกรองชนิดนั้น

กำหนด (21) คือเงื่อนไขชนิดของแผ่นกรองอากาศระดับสูงที่จะเลือกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกแผ่นกรองนั้น และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่เลือกแผ่นกรองชนิดนั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากเงื่อนไขที่ (6) ตัวแปรตัดสินใจจะไม่สอดคล้องกับหลักการหาความเหมาะสมที่ดีที่สุดในรูแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming)

$$\frac{InternalGenerate}{A} + S_{mau} \times \left(1 - \sum_{i=1}^{n} XX_i \times \mathrm{P}eff_i\right) \times \left(1 - \sum_{j=1}^{m} YY_j \times \mathrm{M}eff_j\right) \times \left(1 - \sum_{k=1}^{l} ZZ_k \times \mathrm{H}eff_k\right) \leq CustomerClass$$

ซึ่งเห็นได้จากตัวแปรตัดสินใจแต่ละชนิดของแผ่นกรองจะติดอยู่ในรูปของผลคูณแต่ละตัวแปร ในขณะเดียวตัวแปรตัดสินใจในส่วน ของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะอยู่ในรูปของเลขยกกำลังที่ติดลบในรูปผลหาร รวมถึงฟังชั่นเป้าหมาย (1) ที่มีการหาค่าจากผลคูณของตัวแปรในการคำนวณค่าพลังงานจากแรงดันตกคร่อมสูญเสียดังนี้

$$EnergyCost2 = \left(\sum_{i=1}^{n} XX_i \times \mathrm{P}pressureDrop_i + \sum_{j=1}^{m} YY_j \times \mathrm{M}pressureDrop_j + \sum_{k=1}^{l} ZZ_k \times \mathrm{H}pressureDrop_k\right) \frac{\frac{A}{60} \times RoomSize \times 1.7 \times FanCoefficiency}{FanEfficiency \times 1000 \times 60 \times 60} \times UnitPowerCost \times WorkingTime$$

ซึ่งจาก 2 ฟังชันไม่สามารถที่จะหาค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดตามรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นได้ ผู้เขียนจึงได้ปรับรูปแบบของการกำหนดตัวแปรตัดสินใจใหม่ดังต่อไปนี้

3.4.6 แบบจำลองที่แก้ไขใหม่

3.4.6.1 กำหนดเซตของตัวแปร

$I =$ เซตของแผ่นกรองอากาศเบื้องต้น $i = 1, \dots, n$

$J =$ เซตของแผ่นกรองอากาศระดับกลาง $j = 1, \dots, m$

$K =$ เซตของแผ่นกรองอากาศระดับสูง $k = 0, \dots, l$

(เป็น 0 ในกรณีที่ไม่มีการใช้ชนิดแผ่นกรองละเอียดระดับสูงในรูปแบบนั้นๆ)

3.4.6.2 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ

- $Y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{หากเลือกแผ่นกรองระดับต้น } i \\ & \text{แผ่นกรองระดับกลาง } j \\ & \text{และแผ่นกรองระดับสูง } k \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$

- $EnergyCost2$ *: ต้นทุนส่วนต่างจากค่าไฟฟ้าอันเนื่องมาจากแรงดันตกคร่อมสูญเสียของแผ่นกรองอากาศ(บาทต่อปี)*

3.4.6.3 พารามิเตอร์

1) ต้นทุนของแผ่นกรองอากาศแต่ละชนิดในสมการเป้าหมาย

- $Pcost_i$ *=ต้นทุนแผ่นกรองเบื้องต้น* i *(บาทต่อชิ้นต่อปี)*
- $Mcost_j$ *=ต้นทุนแผ่นกรองระดับกลาง* j *(บาทต่อชิ้นต่อปี)*

- $Hcost_k$ =*ต้นทุนแผ่นกรองระดับสูง* k *(บาทต่อชิ้นต่อปี)*

2) ค่าแรงดันตกคร่อมสูญเสียของแผ่นกรองในแต่ละรูปแบบ

- $Pressure\ Drop_{ijk}$ =*แรงดันตกคร่อมสูญเสียของแผ่นกรองในแต่ละรูปแบบ* แผ่นกรองหยาบ i, แผ่นกรองละอียดระดับกลาง j, แผ่นกรองระดับสูง k *(ปาสคาล)*

3) ความสามารถในการรับอัตราความเร็วลมของแผ่นกรองแต่ละชนิด

- $Pflow_i$: *อัตราการไหลที่สามารถรับได้ของแผ่นกรองระดับต้น* i *(ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*
- $Mflow_j$ =*อัตราการไหลที่สามารถรับได้ของแผ่นกรองระดับกลาง* j *(ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*
- $Hflow_k$ =*อัตราการไหลที่สามารถรับได้ของแผ่นกรองระดับสูง* k *(ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*

4) ประสิทธิภาพของแผ่นกรองในแต่ละรูปแบบ

- Eff_{ijk} =*ประสิทธิภาพของการกรองของแผนกรองในแต่ละรูปแบบ แผ่นกรองหยาบ* i, *แผ่นกรองละเอียดระดับกลาง* j, แผ่นกรองระดับสูง k *(%)*

5) ข้อกำหนดผู้ใช้งาน

- $CustomerPressure$ =*ค่าแรงดันตกคร่อมสูงสุดที่ลูกค้ากำหนดมา (ปาสคาล)*
- $CustomerFlow$ =*ค่าปริมาณอากาศภายในระบบ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*
- $CustomerClass$ =*ระดับของห้องสะอาดที่ลูกค้ากำหนดมา (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)*
- $InternalGenerate$ =*อัตราการเกิดอนุภาคฝุ่นขึ้นในระบบ (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)*
- S_{mau} =*ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)*
- $RoomSize$ =*ขนาดของห้องในหน่วย (ลูกบาศก์ฟุต)*

6) ค่ากำหนดเพื่อการคำนวณ

- $EnergyCost1$ =*ต้นทุนของค่าไฟฟ้าจากกำลังของพัดลมส่งอากาศ (บาทต่อปี)*

- A =*อัตราการแลกเปลี่ยนปริมาณอากาศในห้องทั้งหมด (รอบต่อชั่วโมง)*
- $EnergyEfficiencyRaito$ =*ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องส่งลมเย็น (กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) กำหนดให้เท่ากับ 0.8* [7]
- $FanCoefficiency$ =*ประสิทธิภาพสมรรถนะเครื่องส่งลมเย็น กำหนดให้เท่ากับ 1.22* [1]
- $FanEfficiency$ =*ประสิทธิภาพมอเตอร์เครื่องส่งลมเย็น กำหนดให้เท่ากับ 0.55* [1]
- $UnitPowerCost$ =*หน่วยค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) กำหนดให้เท่ากับ 3*
- $WorkingTime$ =*ชั่วโมงทำงาน (ชั่วโมงต่อปี) กำหนดให้เท่ากับ 7,120*

3.4.6.4 กำหนดฟังชันค่าเป้าหมาย:

$Minimize\ Z$ =*เงินลงทุนเริ่มแรกของแผ่นกรองและต้นทุนในการดำเนินการในค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อปี)*

$$= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l}\left(\frac{Customer\ Flow}{Pflow_i} \times Pcost_i + \frac{Customer\ Flow}{Mflow_j} \times Mcost_j + \frac{Customer\ Flow}{Hflow_k} \times Hcost_k\right) \times Y_{ijk} + EnergyCost1 + EnergyCost2 \quad (22)$$

กำหนด (22) คือฟังก์ชันการหาค่าต้นทุนในการทำห้องสะอาดที่ต่ำที่สุดจากราคาต้นทุนในการเลือกใช้แผ่นกรองแต่ละชนิด

จากสมการเป้าหมาย ต้นทุนของห้องสะอาดในการนำมาคำนวณ มาจาก 2 ส่วน คือ ต้นทุนแผ่นกรองอากาศตามรูปแบบที่เลือกใช้งาน โดยสามารถคำนวณจำนวนแผ่นกรองอากาศได้จาก ปริมาณลมทั้งหมดที่ลูกค้ากำหนดหารปริมาณที่แผ่นกรองอากาศรับได้ต่อแผ่น ในแต่ละชั้นของแผ่นกรองอากาศ และในส่วนต้นทุนด้านพลังงานเกิดจากการปรับเปลี่ยนรอบการแลกเปลี่ยนอากาศและแรงดันตกคร่อมสูญเสียจากแผ่นกรองอากาศ ซึ่งสามารถคำนวณดั้งนี้

1) ค่าพลังงานเกิดจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ [7]

$$EnergyCost1 = \frac{A}{60} \times RoomSize \times EnergyEfficiencyRaito \times UnitPowerCost \times WorkingTime$$

2) ค่าพลังงานสูญเสียจากแรงดันตกคร่อมสูญเสีย [7]

$$EnergyCost2 = \left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l} Y_{ijk} \times PressureDrop_{ijk}\right) \times \frac{A}{60} \times RoomSize \times 1.7 \times \frac{FanCoefficiency \times UnitPowerCost \times WorkingTime}{FanEfficiency \times 1000 \times 60 \times 60}$$

3.4.6.5 *กำหนดเงื่อนไขข้อจำกัด*

1) *แรงดันตกคร่อมสูญเสียต้องมีค่าไม่เกินที่ลูกค้ากำหนดมา*

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l} Y_{ijk} \times PressureDrop_{ijk} \leq CustomerPressureDrop \quad (23)$$

กำหนด (23) คือเงื่อนไขการคำนวณแรงดันตกคร่อมสูงสุดที่ลูกค้ากำหนด

แรงดันตกคร่อมสูญเสียรวมของระบบสามารถคำนวณได้โดยการนำเอาแรงดันตกคร่อมสูญเสียจากแผ่นกรองอากาศในแต่ละชั้นบวกกัน [7]ค่าแรงดันตกคร่อมสูญเสียในแต่ละรูปแบบสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$PressureDrop_{ijk} = PpressureDrop_{\,i} + MpressureDrop_{\,j} + HpressureDrop_{\,k}$$

โดยมีค่ารวมกันต้องไม่เกินกว่าที่ลูกค้ากำหนดมา

2) *ปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือในห้อง ณ สภาวะที่นิ่ง เทียบกับระดับความสะอาดที่ยอมรับได้ของห้องสะอาด* [6]

$$\frac{InternalGenerate}{A} + S_{mau} \times \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l} Y_{ijk} \times Eff_{ijk} \leq Customer\ Particle \quad (24)$$

กำหนด (24) คือเงื่อนไขปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือเทียบกับระดับของห้องสะอาด

ประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศที่ใช้นำมาคำนวณนั้น จะอยู่ในรูปแบบชนิดที่มีการคำนวณแล้วเสร็จของแผ่นกรองอากาศทั้ง *3* ชั้น ค่าประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศในแต่ละรูปแบบสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ [10]

$$Eff_{ijk} = (1 - Peff_i) \times (1 - Meff_j) \times (1 - Heff_k)$$

สำหรับกรณีที่ไม่มีการใช้แผ่นกรองในขั้นสุดท้าย การการคำนวณประสิทธิภาพจะใช้เพียงแค่แผ่นกรองระดับต้นและระดับกลางเท่านั้น

ซึ่งประสิทธิภาพแผ่นกรองจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละตัวแปรตัดสินใจ จากนั้นก็นำไปคำนวณตามหลักการหาความเข้มข้นของฝุ่นในสภาวะที่นิ่ง ค่าที่ได้จะต้องไม่เกินไปกว่าค่าที่ลูกค้ากำหนดมา

3) *แผ่นกรองอากาศสามารถเลือกได้เพียง* 1 *รูปแบบ*.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l} Y_{ijk} = 1 \qquad (25)$$

กำหนด (25) คือเงื่อนไขแผ่นกรองอากาศเมื่อมีการคำนวณประสิทธิภาพรวมของทั้ง *3* ชั้นแล้วนั้นจะถูกเลือกได้เพียง 1 รูปแบบ

4) *ตัวแปรตัดสินใจจะอยู่ในรูปแบบ* 0 *หรือ* 1

$$Y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall\, i,j,k \qquad (26)$$

กำหนด (26) คือเงื่อนไขชนิดของแผ่นกรองอากาศในแต่ละรูปแบบที่จะเลือกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกแผ่นกรองนั้น และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่เลือกแผ่นกรองชนิดนั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรุปแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณที่สมบูรณ์ได้ดังนี้

Objective Function

$$Minimize\ Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l}\left(\frac{CustomerFlow}{Pflow_i}\times Pcost_i + \frac{CustomerFlow}{Mflow_j}\times Mcost_j + \frac{CustomerFlow}{Hflow_k}\times Hcost_k\right)\times Y_{ijk} + EnergyCost1 + EnergyCost2$$

Subject to

$$EnergyCost1 = \frac{A}{60}\times RoomSize\times EnergyEfficiencyRaito\times UnitPowerCost\times WorkingTime$$

$$EnergyCost2 = \left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l}Y_{ijk}\times PressureDrop_{ijk}\right)\times\frac{A}{60}\times RoomSize\times 1.7\times\frac{FanCoefficiency\times UnitPowerCost\times WorkingTime}{FanEfficiency\times 1000\times 60\times 60}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l}Y_{ijk}\times PressureDrop_{ijk}\leq CustomerPressureDrop$$

$$\frac{InternalGenerate}{A} + S_{mau}\times\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l}Y_{ijk}\times Eff_{ijk}\leq CustomerParticle$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l}Y_{ijk} = 1$$

$$Y_{ijk}\in\{0,1\}\quad\forall\, i,j,k$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 การสร้างข้อมูลนำเข้าสำหรับรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ข้อมูลนำเข้าสำหรับการนำไปคำนวณต่อสามารถที่จะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ข้อมูลนำเข้าตามข้อกำหนดของผู้ใช้งานและข้อมูลในฐานข้อมูลที่เตรียมไว้ในโปรแกรมดังนี้

3.5.1 ข้อมูลนำเข้าตามข้อกำหนดของผู้ใช้งาน

- ระดับของห้องสะอาด (Clean room Class) หน่วยอนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต
- ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (Supply Concentrate) หน่วยอนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต
- ค่าแรงดันตกคร่อมสูงสุด (Max Pressure Drop) หน่วยปาสคาล
- อัตราการเกิดฝุ่นภายในระบบ (Internal Generate) หน่วยอนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต
- ขนาดห้องสะอาด (กว้าง x ยาว x สูง) หน่วยลูกบาศก์ฟุต

3.5.2 ข้อมูลในฐานข้อมูลที่เตรียมไว้ในโปรแกรม

ฐานข้อมูลที่เตรียมไว้ในโปรแกรมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้คือ ฐานข้อมูลคุณสมบัติของแผ่นกรองอากาศและฐานข้อมูลการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ปรับเปลี่ยน

3.5.2.1 คุณสมบัติแผ่นกรองอากาศที่มีให้เลือกใช้สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติแผ่นกรองอากาศที่จะป้อนลงในแบบจำลอง

Type of Filter	Efficiency Dust Spot (%)	Air Flow (ft3/min)	Pressure Drop (Pascal)	Price (THB)
Y_{ijk}	$Peff_i$ $Meff_j$ $Heff_k$	$Pflow_i$ $Mflow_j$ $Hflow_k$	$PpressureDrop_i$ $MpressureDrop_j$ $HpressureDrop_k$	$Pcost_i$ $Mcost_j$ $Hcost_k$
Pre-Filter	20-25	2,000	17	200
	25-30	2,000	28	210
	30-35	2,000	38	230
Medium Filter	50-60	1,000	40	1,900
	60-70	1,000	40	2,000
	70-80	1,000	40	2,100
	80-90	1,000	78	2,200
	90-95	1,000	95	2,400

	>95	1,000	145	2,600
HEPA& ULPA Filter	98	1,050	320	5,200
	99.99	1,050	350	7,600
	99.997	1,050	370	6,000
	99.999	1,050	390	6,500
	99.9995	1,050	410	7,000
	99.99995	1050	430	7,500
	99.999995	1,050	450	8,000

จากตารางที่ 6 สามารถที่จะคำนวณสมบัติของแผ่นกรองอากาศเพื่อเป็นฐานข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ตามตารางที่ 7

3.5.3 การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติแผ่นกรอง

การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติแผ่นกรองอากาศสามารถที่แก้ไขลงในฐานข้อมูลตารางที่ 7 ได้โดยการป้อนข้อมูลลงเซลล์ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงได้โดยตรง ส่วนในกรณีที่ต้องการเพิ่มชนิดแผ่นกรอง สามารถที่จะทำได้โดยการแทรกเพิ่มจำนวนคอลัมน์ลงในชนิดของแผ่นกรองที่ต้องการเพิ่มแล้วระบุค่าต่างๆตามคุณสมบัติของแผ่นกรองอากาศที่จะใช้ในการคำนวณ เมื่อเพิ่มแผ่นกรองชนิดใหม่แล้วก็สามารถที่จะเพิ่มรูปแบบของแผ่นกรองให้ครบตามรูปแบบที่เป็นไปได้ลงในคอลัมน์ของรูปแบบแผ่นกรองที่จะต้องเพิ่มให้ครบ จากนั้นป้อนค่าตามรูปแบบการคำนวณลงในเซลล์ที่ต้องเพิ่มหรือคัดลอกจากสูตรที่มีการเขียนไว้ก่อนหน้า เมื่อเพิ่มจำนวนรูปแบบแผ่นกรองลงในตารางครบถ้วนแล้ว จะต้องแก้ไขจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่เพิ่มขึ้นในขั้นตอนการหาผลเฉลย ให้ครบตามตัวแปรตัดสินใจที่มีการเพิ่มขึ้นมา

ตารางที่ 7 ตัวอย่างฐานข้อมูลที่เก็บในโปรแกรม

ตารางที่ 7 ตัวอย่างฐานข้อมูลที่เก็บในโปรแกรม

Filter Series Data base

	P1	P2	P3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	1x1x1	1x1x2	1x1x3	1x1x4	1x1x5	1x1x6	1x1x7	1x1x0	1x2x1	1x2x2	1x2x3	1x2x4
Price	800	840	920	3800	4000	4200	4400	4800	5200	5200	5600	6000	6500	7000	7500	8000	9800	10200	10600	11100	11600	12100	12600	4600	10000	10400	10800	11300
Pressure Drop	17	28	38	40	40	40	78	95	145	320	350	370	390	410	430	450	377	407	427	447	467	487	507	57	377	407	427	447
Flow Pre	2000	2000	2000														2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Flow Medium				1000	1000	1000	1000	1000	1000								2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Flow HEPA										1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
Efficiency(%)	20	25	30	50	60	70	80	90	95	98.0000	99.9800	99.9970	99.9990	99.9995	99.99995	99.999995	0.008	4E-05	1E-05	4E-06	2E-06	2E-07	2E-08	0.4	0.006	3E-05	1E-05	3E-06

1x2x5	1x2x6	1x2x7	1x2x0	1x3x1	1x3x2	1x3x3	1x3x4	1x3x5	1x3x6	1x3x7	1x3x0	1x4x1	1x4x2	1x4x3	1x4x4	1x4x5	1x4x6	1x4x7	1x4x0	1x5x1	1x5x2	1x5x3	1x5x4	1x5x5	1x5x6	1x5x7	1x5x0	1x6x1	1x6x2	1x6x3	1x6x4	1x6x5
11800	12300	12800	4800	10200	10600	11000	11500	12000	12500	13000	5000	10400	10800	11200	11700	12200	12700	13200	5200	10800	11200	11600	12100	12600	13100	13600	5600	11200	11600	12000	12500	13000
467	487	507	57	377	407	427	447	467	487	507	57	415	445	465	485	505	525	545	95	432	462	482	502	522	542	562	112	482	512	532	552	572
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
2E-06	2E-07	2E-08	0.32	0.005	2E-05	7E-06	2E-06	1E-06	1E-07	1E-08	0.24	0.003	2E-05	5E-06	2E-06	8E-07	8E-08	8E-09	0.16	0.002	8E-06	2E-06	8E-07	4E-07	4E-08	4E-09	0.08	8E-04	4E-06	1E-06	4E-07	2E-07

1x6x6	1x6x7	1x6x0	2x1x1	2x1x2	2x1x3	2x1x4	2x1x5	2x1x6	2x1x7	2x1x0	2x2x1	2x2x2	2x2x3	2x2x4	2x2x5	2x2x6	2x2x7	2x2x0	2x3x1	2x3x2	2x3x3	2x3x4	2x3x5	2x3x6	2x3x7	2x3x0	2x4x1	2x4x2	2x4x3	2x4x4	2x4x5	2x4x6
13500	14000	6000	9840	10240	10640	11140	11640	12140	12640	4640	10040	10440	10840	11340	11840	12340	12840	4840	10240	10640	11040	11540	12040	12540	13040	5040	10440	10840	11240	11740	12240	12740
592	612	162	388	418	438	458	478	498	518	68	388	418	438	458	478	498	518	68	388	418	438	458	478	498	518	68	426	456	476	496	516	536
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
2E-08	2E-09	0.04	0.008	4E-05	1E-05	4E-06	2E-06	2E-07	2E-08	0.375	0.006	3E-05	9E-06	3E-06	2E-06	2E-07	2E-08	0.3	0.005	2E-05	7E-06	2E-06	1E-06	1E-07	1E-08	0.225	0.003	2E-05	4E-06	2E-06	8E-07	8E-08

3x2x0	4920	78	2000	2000	2000	1050	0.28
3x3x1	10320	398	2000	2000	2000	1050	0.004
3x3x2	10720	428	2000	2000	2000	1050	2E-05
3x3x3	11120	448	2000	2000	2000	1050	6E-06
3x3x4	11620	468	2000	2000	2000	1050	2E-06
3x3x5	12120	488	2000	2000	2000	1050	1E-06
3x3x6	12620	508	2000	2000	2000	1050	1E-07
3x3x7	13120	528	2000	2000	2000	1050	1E-08
3x3x0	5120	78	2000	2000	2000	1050	0.21
3x4x1	10520	436	2000	2000	2000	1050	0.003
3x4x2	10920	466	2000	2000	2000	1050	1E-05
3x4x3	11320	486	2000	2000	2000	1050	4E-06
3x4x4	11820	506	2000	2000	2000	1050	1E-06
3x4x5	12320	526	2000	2000	2000	1050	7E-07
3x4x6	12820	546	2000	2000	2000	1050	7E-08
3x4x7	13320	566	2000	2000	2000	1050	7E-09
3x4x0	5320	116	2000	2000	2000	1050	0.14
3x5x1	10920	453	2000	2000	2000	1050	0.001
3x5x2	11320	483	2000	2000	2000	1050	7E-06
3x5x3	11720	503	2000	2000	2000	1050	2E-06
3x5x4	12220	523	2000	2000	2000	1050	7E-07
3x5x5	12720	543	2000	2000	2000	1050	4E-07
3x5x6	13220	563	2000	2000	2000	1050	4E-08
3x5x7	13720	583	2000	2000	2000	1050	4E-09
3x5x0	5720	133	2000	2000	2000	1050	0.07
3x6x1	11320	503	2000	2000	2000	1050	7E-04
3x6x2	11720	533	2000	2000	2000	1050	4E-06
3x6x3	12120	553	2000	2000	2000	1050	1E-06
3x6x4	12620	573	2000	2000	2000	1050	4E-07
3x6x5	13120	593	2000	2000	2000	1050	2E-07
3x6x6	13620	613	2000	2000	2000	1050	2E-08
3x6x7	14120	633	2000	2000	2000	1050	2E-09
3x6x0	6120	183	2000	2000	2000	1050	0.035

2x4x7	13240	556	2000	2000	2000	1050	8E-09
2x4x0	5240	106	2000	2000	2000	1050	0.15
2x5x1	10840	443	2000	2000	2000	1050	0.002
2x5x2	11240	473	2000	2000	2000	1050	8E-06
2x5x3	11640	493	2000	2000	2000	1050	2E-06
2x5x4	12140	513	2000	2000	2000	1050	8E-07
2x5x5	12640	533	2000	2000	2000	1050	4E-07
2x5x6	13140	553	2000	2000	2000	1050	4E-08
2x5x7	13640	573	2000	2000	2000	1050	4E-09
2x5x0	5640	123	2000	2000	2000	1050	0.075
2x6x1	11240	493	2000	2000	2000	1050	8E-04
2x6x2	11640	523	2000	2000	2000	1050	4E-06
2x6x3	12040	543	2000	2000	2000	1050	1E-06
2x6x4	12540	563	2000	2000	2000	1050	4E-07
2x6x5	13040	583	2000	2000	2000	1050	2E-07
2x6x6	13540	603	2000	2000	2000	1050	2E-08
2x6x7	14040	623	2000	2000	2000	1050	2E-09
2x6x0	6040	173	2000	2000	2000	1050	0.038
3x1x1	9920	398	2000	2000	2000	1050	0.007
3x1x2	10320	428	2000	2000	2000	1050	4E-05
3x1x3	10720	448	2000	2000	2000	1050	1E-05
3x1x4	11220	468	2000	2000	2000	1050	4E-06
3x1x5	11720	488	2000	2000	2000	1050	2E-06
3x1x6	12220	508	2000	2000	2000	1050	2E-07
3x1x7	12720	528	2000	2000	2000	1050	2E-08
3x1x0	4720	78	2000	2000	2000	1050	0.35
3x2x1	10120	398	2000	2000	2000	1050	0.006
3x2x2	10520	428	2000	2000	2000	1050	3E-05
3x2x3	10920	448	2000	2000	2000	1050	8E-06
3x2x4	11420	468	2000	2000	2000	1050	3E-06
3x2x5	11920	488	2000	2000	2000	1050	1E-06
3x2x6	12420	508	2000	2000	2000	1050	1E-07
3x2x7	12920	528	2000	2000	2000	1050	1E-08

จากตารางที่ 7 สามารถสรุปการคำนวณฐานข้อมูลของคุณสมบัติแผ่นกรองอากาศได้ดังนี้

1) ราคาของแผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิด ฐานข้อมูลจะเก็บเป็นราคาต่อ 1 แผ่นแล้วคูณด้วยจำนวนครั้งในการเปลี่ยนใช้งานใน 1 ปี โดยแผ่นกรองเบื้องจะเปลี่ยน 4 ครั้งต่อปี แผ่นกรองระดับกลางเปลี่ยน 2 ครั้งต่อปีและแผ่นกรองระดับสูงจะเปลี่ยน 1 ครั้งต่อปี [2] ในตารางคำนวณราคาแผ่นกรองอากาศได้คิดราคารวมจำนวนครั้งในการเปลี่ยนต่อปีแล้ว สำหรับการคำนวณราคารวมแผ่นกรองคือการนำแผ่นกรองทั้ง 3 มารวมกันตามรูปแบบแผ่นกรองที่เลือกใช้ (Filter Series) ซึ่งจำนวนแผ่นขึ้นกับปริมาณลมที่ลูกค้าใช้งาน
2) ค่าแรงดันตกคร่อมของแผ่นกรองอากาศในแต่ละรูปแบบ คำนวณโดยการนำค่าแรงดันตกคร่อมสูญเสียในแต่ละชั้นแผ่นกรองอากาศมารวมกัน [7] จำนวนแผ่นกรองอากาศในแต่ละชั้นไม่มีผลต่อแรงดันตกคร่อมสูญเสีย เพราะแผ่นกรองจะใส่เป็นระนาบเดียวกันในแต่ละชั้นของแผ่นกรอง
3) ค่าปริมาณลมที่รับได้ของแผ่นกรองอากาศในแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน ข้อมูลนี้จะนำไปคำนวณจำแผ่นกรองที่จะต้องใช้ในแต่ละชั้นของแผ่นกรองอากาศ
4) ค่าประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศในแต่ละรูปแบบสามารถคำนวณได้ดังนี้ [10] $Eff_{ijk} = (1 - Peff_i) \times (1 - Meff_j) \times (1 - Heff_k)$ ซึ่งค่าที่เก็บในฐานข้อมูลจะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นขาเข้าที่เล็ดลอดเข้าได้ในระบบในแต่ละรูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่จะเลือกใช้

3.5.2.2 ฐานข้อมูลการคำนวณช่วงระยะอัตราการแลกเปลี่ยนที่ปรับเปลี่ยนในโปรแกรม

สำหรับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ(*Air Change Rate)*ที่กำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์นั้น จะเห็นได้ว่าค่าที่แนะนำให้เลือกใช้จะมีช่วงการปรับรอบอัตราแลกเปลี่ยนตามตารางที่ 3 ซึ่งหากต้องการเปรียบเทียบค่าในสมการเป้าหมายในแต่ละค่าของอัตราแลกเปลี่ยนนั้น จะต้องแทนค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำได้ลงในสมการข้อจำกัด จากนั้นก็ปรับค่าอัตราแลกเปลี่ยนที่สูงขึ้นไปทีละหนึ่งอัตราเพื่อหารูปแบบแผ่นกรองที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าสมการเป้าหมาย (*Z-Value)*ต่ำที่สุด นำค่าที่เหมาะที่สุดในแต่ละอัตราแลกเปลี่ยนมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของค่าสมการเป้าหมาย (*Z-Value)*เป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด

สำหรับวิธีการหาค่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต้นในการแทนค่านั้น สามารถแบ่งออกเป็น *2* กลุ่มประเภทห้องสะอาดดังนี้

1) ห้องสะอาดระดับ Class 100000, 10000, 1000 สามารถที่จะแทนค่าได้จากนำค่าประสิทธิภาพของรูปแบบแผ่นกรองอากาศที่ดีที่สุด ในที่นี้คือเลือกแทนค่าจากแผ่นกรองอากาศจากประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในแต่ละชั้นลงในสมการดังนี้

$$\frac{InternalGenerate}{A} + S_{mau} \times \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=0}^{l} Y_{ijk} \times Eff_{ijk} \leq CustomerParticle$$

จากสมการนี้สามารถที่จะหาค่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำที่สุดได้จากการแทนค่าตามข้อกำหนดผู้ใช้งานและค่าประสิทธิภาพของรูปแบบแผ่นกรองที่ดีที่สุด

2) ห้องสะอาดระดับ Class 100, Class 10 *นั้นจะถูกกำหนดที่ความเร็วลมขั้นต่ำตาม* หลักการการทำ Unidirectional Flow ที่ 72 ฟุตต่อนาที [6] ซึ่งสามารถที่จะคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต้นได้จาก *2* สมการการคำนวณปริมาณลมดังนี้

ปริมาณลมทั้งระบบ =อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ×ขนาดห้อง (กว้าง)×(ยาว)×(สูง)/60

=ความเร็วลมที่ผ่านฝ้าเพดาน×พื้นที่แผ่นกรองอากาศที่ฝ้าเพดาน(80% ฝ้าเพดานของห้อง)

จาก *2* สมการที่สามารถหาปริมาณลมได้ ระบบเดียวกันค่าปริมาณลมเท่ากัน สามารถแก้สมการหาค่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศได้ดังนี้

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

=ความเร็วลมที่ผ่านฝ้าเพดาน×พื้นที่แผ่นกรองอากาศที่ฝ้าเพดาน (80% ฝ้าเพดานของห้อง กว้าง×ยาว) × 60 / (ขนาดห้อง (กว้าง) × (ยาว) × (สูง) [5]

เมื่อแทนค่าความเร็วตามหลักข้อกำหนดและค่าขนาดของห้องที่ผู้ใช้งานป้อนเข้า สามารถที่จะกำหนดอัตราแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต้นได้ เพื่อนำไปปรับเปลี่ยนให้สูงขึ้นเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดต่อไป

จากทั้ง 2 กลุ่มของการหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศข้างต้น โปรแกรมจะปรับเปลี่ยนค่าอัตราการแลกเปลี่ยนที่สูงที่สุดที่สามารถทำได้ของพัดลมส่งอากาศในที่นี้กำหนดไว้ 750 รอบต่อชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงระหว่างรอบที่ต่ำที่สุดและรอบที่สูงสุดของการปรับเปลี่ยนอัตราแลกเปลี่ยนเพื่อพิจารณาค่าเป้าหมายนั้น ช่วงจะกว้างกว่าแนวทางการเลือกใช้ช่วงอัตราแลกเปลี่ยนอากาศปัจจุบัน

3.6 การเขียนโปรแกรมคำนวณตามแบบจำลอง

เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานสำหรับผู้ใช้ จึงได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Excel Solver ในการหาค่าความเหมาะในการเลือกใช้ ซึ่งจากแบบจำลองดังกล่าวนี้จำเป็นที่จะต้องประยุกต์ใช้เครื่องมือในการหาค่าความเหมาะสมที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้งานที่รวมถึงผู้ที่ยังไม่เคยใช้งานเครื่องมือนี้ ให้สามารถใช้งานได้ จึงออกแบบโปรแกรมให้มีการคำนวณอัตโนมัติผ่านทางคำสั่งในการเขียนโปรแกรม ในที่นี้คือการประยุกต์ใช้ภาษา VBA ในโปรแกรมในการรับค่าที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าและรันค่าตามรูปแบบสมการที่ได้กำหนดขึ้น ตามลำดับดังนี้

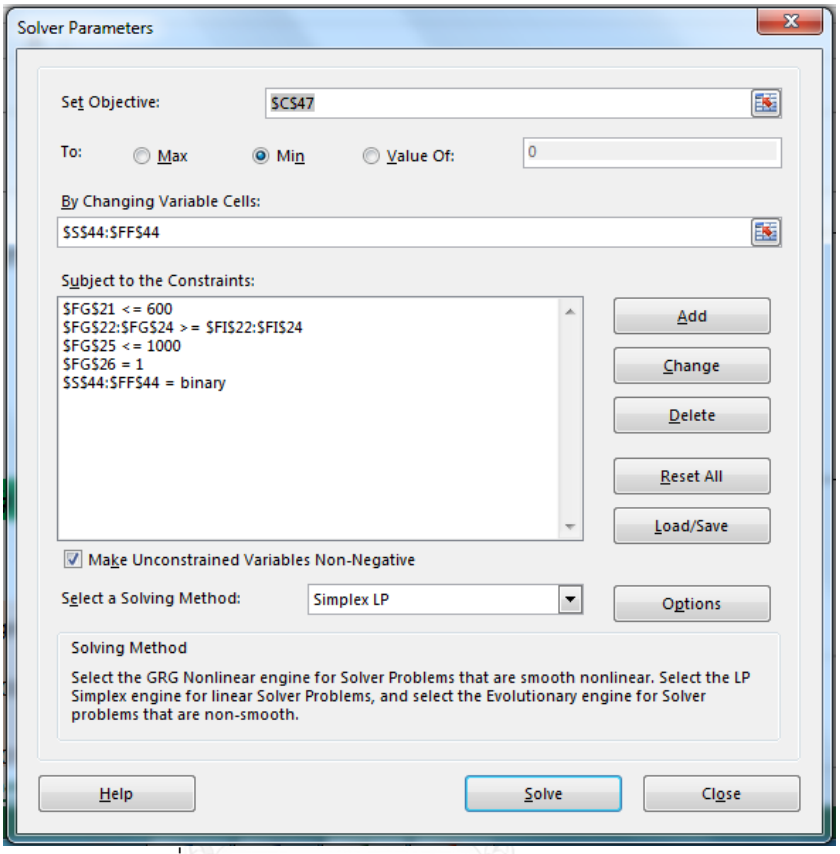
3.6.1 ออกแบบตารางการนำข้อมูลกำหนดการเชิงเส้นลงในเอ็กเซล

	A	B	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM
17	Series		3x4x3	3x4x4	3x4x5	3x4x6	3x4x7	3x4x0	3x5x1	3x5x2	3x5x3	3x5x4	3x5x5	3x5x6	3x5x7	3x5x0	3x6x1	3x6x2	3x6x3	3x6x4	3x6x5	3x6x6	3x6x7	3x6x0							
18			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
19	Objective	Min	3552965	3712966	3872966	4032966	4192966	1632962	3431365	3559365	3687366	3847366	4007366	4167366	4327366	1767363	3585765	3693766	3821766	3981766	4141766	4301766	4461767	1901763							
20																									RHS		Requirment				
21	Pressure Drop		486	506	526	546	566	116	453	483	503	523	543	563	583	133	503	533	553	573	593	613	633	183	506	<=	600	Pascal			
25	Particle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	859	<=	1,000	Particle/ft3			
26	Filter select		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	==	1				
44	D Vs		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
45	Z-Value	13,311,642																													

รูปที่ 17 การนำข้อมูลต่างๆของกำหนดการเชิงเส้นลงในเอ็กเซล

จากรูปที่ 17 เป็นการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นลงในเอ็กเซล กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ลงในฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) และเงื่อนไขที่กำหนดช่องคำตอบที่ดีที่สุด(ช่องคอลัมน์ FG) จะต้องมีค่าอยู่เกณฑ์ข้อกำหนด (ช่องคอลัมน์ FI) กำหนดตัวแปรตัดสินใจที่ทำให้ค่าเป้าหมาย (Z-Value)น้อยที่สุด จากนั้นหาผลเฉลยโดยใช้เอ็กเซลโซลเวอร์ตามรูปที่ 18

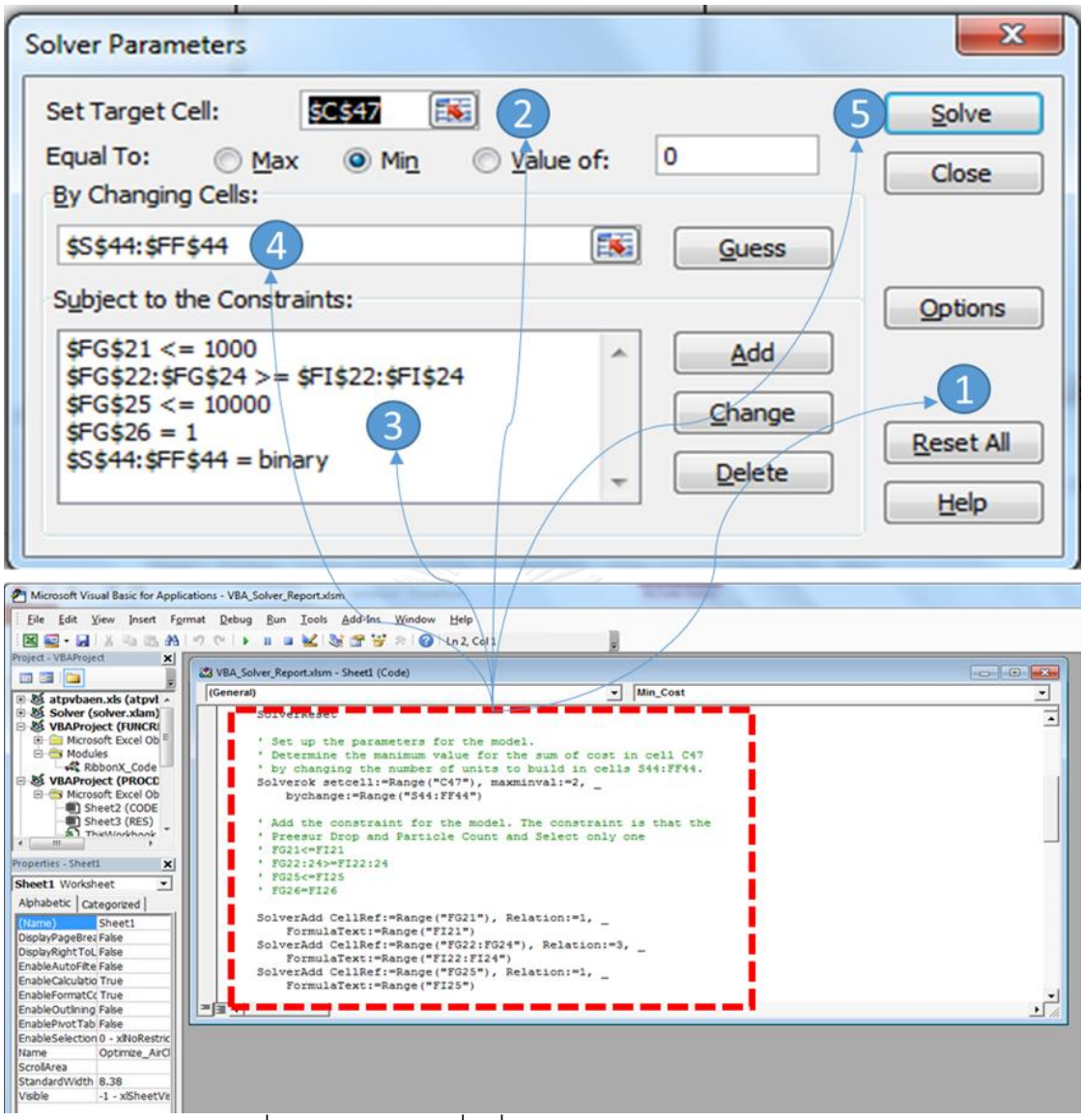
3.6.2 หาผลเฉลยโดยใช้เอ็กเซลโซลเวอร์



รูปที่ 18 การหาผลเฉลยโดยใช้เอ็ดเซลโซลเวอร์

การหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีเอ็กเซลโซลเวอร์ จะต้องใส่ข้อมูลในหัวข้อดังต่อไปนี้ ค่าเซลล์เป้าหมาย, ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุดที่ต้องการ, ระบุตัวแปรตัดสินใจ, ค่าสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ต้องระบบในเครื่องมือคำนวณ

เพื่อให้ง่ายต่อผู้ใช้งานในการหาคำตอบเพื่อลดเวลาในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในเอ็กเซลโซลเวอร์ ทางผู้เขียนจึงได้ประยุกต์ใช้ภาษา VBA ในการนำข้อมูลที่ลูกค้าป้อนเข้าไปคำนวณในเอ็กเซลโซลเวอร์อย่างอัตโนมัติดังนี้



รูปที่ 19 การเขียนคำสั่งเพื่อป้อนข้อมูลลงใน Excel Solver

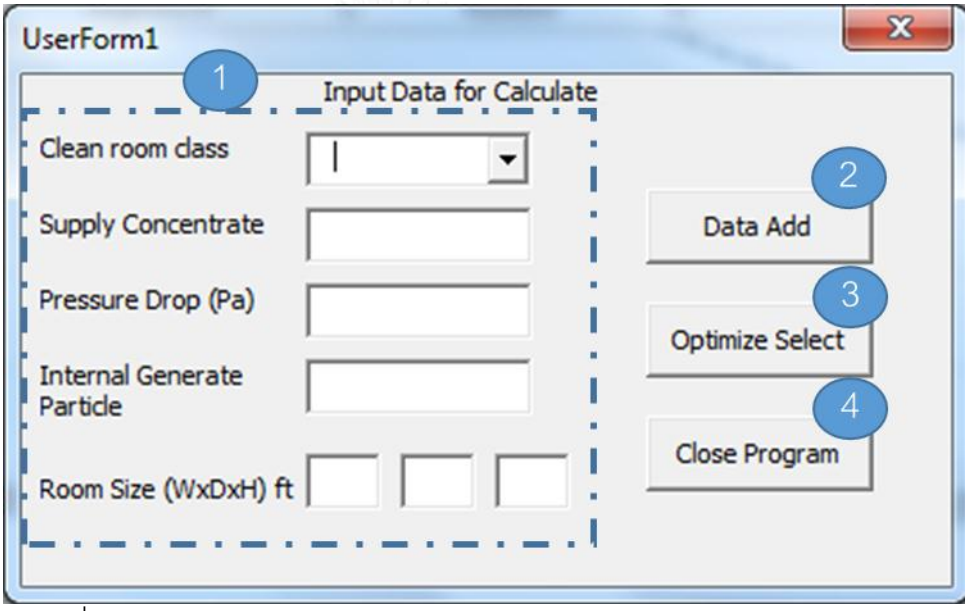
จากรูปที่ 19 สามารถอธิบายรายละเอียดหัวข้อการคำสั่งให้ป้อนค่าใน Excel Solver ได้ดังนี้

1. คำสั่งในการรีเซ็ทค่าข้อมูลที่ป้อนเข้าใหม่ทั้งหมด
2. คำสั่งการสั่งเปิดเอ็กเซลโวลเวอร์และการป้อนค่าข้อมูลลงไปในสมการเป้าหมาย
3. คำสั่งในการป้อนค่าสมการข้อจำกัด
4. คำสั่งในการหาผลเฉลยและแสดงผลเฉลยที่ได้

5. คำสั่งหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของแต่ละอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

ซึ่งคำสั่งที่เขียนใน VBA เพื่อควบคุมการทำงานของ Excel Solver สามารถทำให้ผู้ใช้ลดขั้นตอนการป้อนค่าเข้า ทำให้ป้องกันข้อผิดพลาดในการเลือกค่าผิด การหาคำตอบสามารถทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยคำสั่งแบบสมบูรณ์สามารถดูได้จากภาคผนวก

จากนั้นสร้างหน้าต่างสำหรับผู้ใช้งาน (User Form) เพื่อรับค่าข้อมูลเข้าและรับคำสั่งการทำงาน จากผู้ใช้งาน ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมในการรับส่งข้อมูลเพื่อเข้าประมวลผล



รูปที่ 20 ตัวอย่างการออกแบบหน้าจอสำหรับผู้ใช้งานป้อนข้อมูลนำเข้า

ซึ่งหน้าต่างสำหรับการใช้งานเปรียบเสมือนหน้าต่างเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานกับฐานข้อมูลการคำนวณ ดังนั้นจะต้องเขียนภาษา VBA ในการรับข้อมูลนำเข้าและส่งต่อสำหรับการคำนวณต่อไป โดยสามารถที่จะแบ่งหน้าต่างการทำงานออกได้เป็น 4 ส่วนดังนี้

1. หน้าต่างสำหรับรับข้อมูลที่ป้อนเข้าประกอบด้วย ระดับห้องสะอาด, ปริมาณฝุ่นด้านขาเข้า,ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ, แรงดันตกคร่อมสูญเสียสูงสุด, ขนาดของห้องที่ใช้ทำห้องสะอาด
2. ปุ่มเพิ่มและบันทึกข้อมูลสำหรับการคำนวณ

3. ปุ่มสำหรับหาผลเฉลย

4. ปุ่มคำสั่งในการปิดโปรแกรม

ซึ่งในแต่ละช่องหน้าต่างสำหรับการป้อนข้อมูลเข้าและปุ่มสั่งการทำงานทุกตัว จะต้องมีการเขียนภาษา VBA เพื่อควบคุมการทำงานซึ่งเป็นคำสั่งเฉพาะในแต่ละหน้าที่ของปุ่มคำสั่ง

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงในที่นี้กำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น แต่คำตอบที่ต้องการจะรู้แท้จริงเป็นค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและรูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ต้นทุนในการทำห้องสะอาดที่ต่ำที่สุด ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ แล้วนำมาเปรียบเทียบในแต่ละอัตราการแลกเปลี่ยนว่า อัตราแลกเปลี่ยนใดที่ต้นทุนต่ำที่สุด จำเป็นที่จะต้องใช้ภาษา VBA เพิ่มเติมเพื่อกำหนดคำสั่งให้โปรแกรมประมวลผลตามที่ต้องการ ตัวอย่างดูได้จากภาคผนวก

จากคำสั่งที่เขียนในโปรแกรมนั้นสามารถที่จะแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้พิจารณาค่าที่ดีที่สุดในแต่ละอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ รวมถึงรูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่เหมาะในแต่ละคำตอบ ค่าจากสมการเป้าเมื่อเทียบในแต่ละคำตอบคือค่าที่ดีที่สุด ที่แนะนำให้ผู้ใช้งานนำไปเลือกใช้ ตัวอย่างคำสั่งดูได้ที่ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ตัวอย่างการใช้งาน

เมื่อได้แบบจำลองในการหาค่าเหมาะที่สุดของการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศแล้ว ก็ได้เขียนโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้จริงในโปรแกรมคำนวณเอ็กเซลโซลเวอร์ (Excel Solver) เพื่อเป็นโปรแกรมในการช่วยเลือกใช้แผ่นกรองอากาศตามข้อกำหนดที่ลูกค้า ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการป้อนในโปรแกรมเพื่อหาคำตอบเป็นดังต่อไปนี้

ตัวอย่างข้อมูลตามข้อกำหนดของลูกค้า

ระดับของห้องสะอาด (Clean room Class) 10,000 (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต),

ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (Supply Concentrate) 1,000,000 (อนุภาคต่อลูกบาศก์ ฟุต)

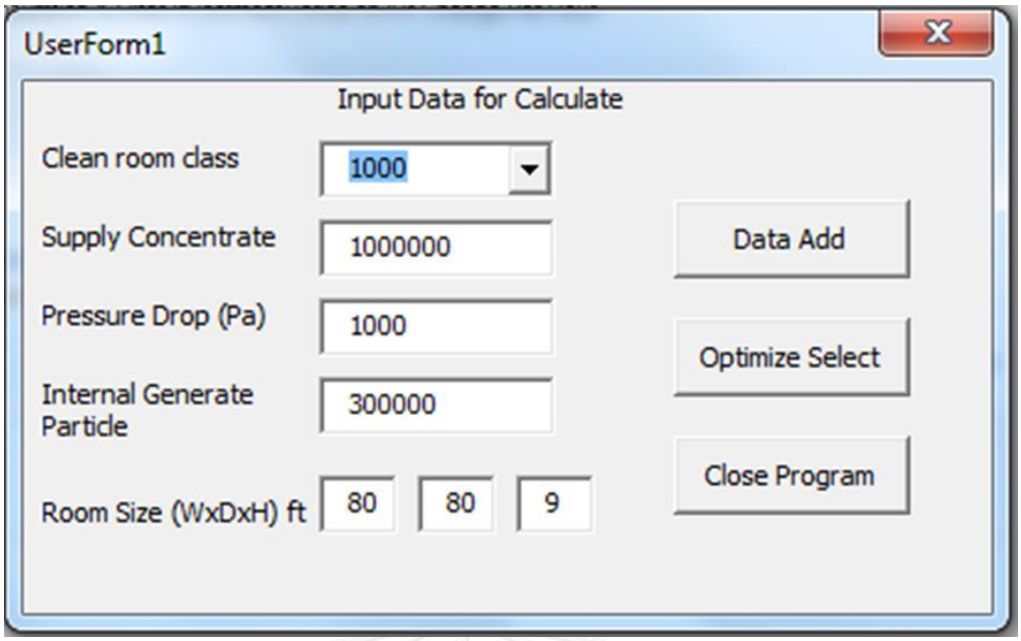
ค่าแรงดันตกคร่อมสูงสุด (Max Pressure Drop) 1,000 ปาสคาล,

อัตราการเกิดฝุ่นภายในระบบ (Internal Generate) 300,000 (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง),

ขนาดห้องสะอาด (กว้าง x ยาว x สูง) 80 x 80 x 9 ลูกบาศก์ฟุต

ป้อนค่าลงในโปรแกรมดังรูปที่ 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

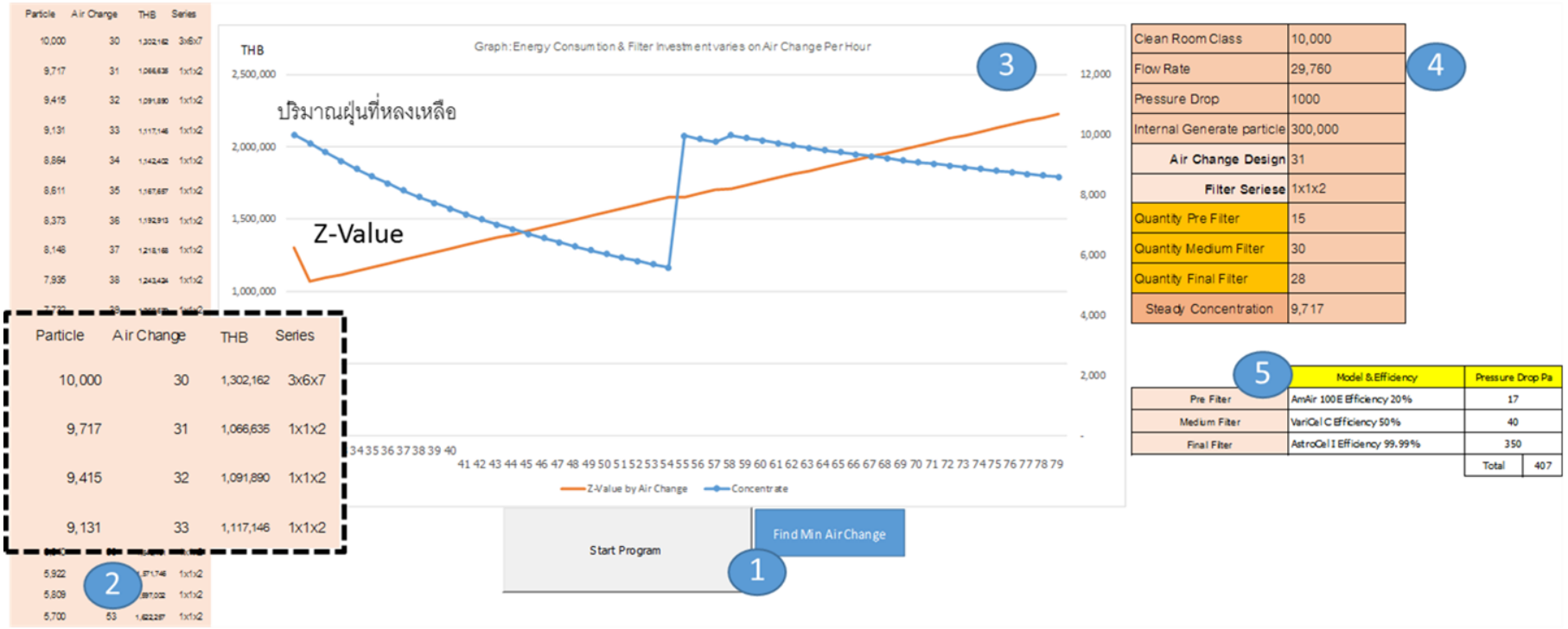


รูปที่ 21 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม

เมื่อเพิ่มข้อมูลตามรูปที่ 21 แล้วจากนั้นกดปุ่มเพื่อหาคำตอบ จะได้คำตอบที่แสดงดังต่อไปนี้

รูปที่ 22 ตัวอย่างหน้าตาโปรแกรมในการแสดงคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 22 ตัวอย่างหน้าตาโปรแกรมในการแสดงคำตอบ

จากหน้าจอโปรแกรมตามรูปที่ 22 สามารถอธิบายส่วนของการทำงานได้ 5 ส่วนดังนี้ 1) ส่วนของปุ่มคำสั่งในการป้อนข้อกำหนดจากผู้ใช้งานในการเริ่มต้นและปิดโปรแกรม 2) ส่วนแสดงผลคำตอบค่าที่ดีที่สุดในแต่ละอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่มีการปรับเปลี่ยน 3)กราฟแสดงแนวโน้มของค่า Z-Value ค่าปริมาณฝุ่นที่หลงเหลือในระบบ 4)ตารางรายละเอียดข้อกำหนดและผลลัพธ์จากโปรแกรม 5) ตารางแสดงชื่อชนิดแผ่นกรองอากาศทางการค้า

จากโปรแกรมข้อมูลการตัดสินใจหลักที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปตัดสินใจต่อ สามารถดูได้จากค่าคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละอัตราแลกเปลี่ยนรวมถึงหากจะต้องการเปลี่ยนรูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่ต้องการให้ถูกขึ้น สามารถที่จะตัดสินใจเลือกใช้อัตราการเลือกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรูปแบบแผ่นกรองอากาศที่ต้องการ ในส่วนคำตอบที่ดีที่สุดที่แนะนำให้ผู้ใช้งานเลือกใช้จะมีค่าอยู่ที่ 1 คำตอบที่แนะนำให้เลือกใช้งานตามตัวอย่างตารางที่ 8

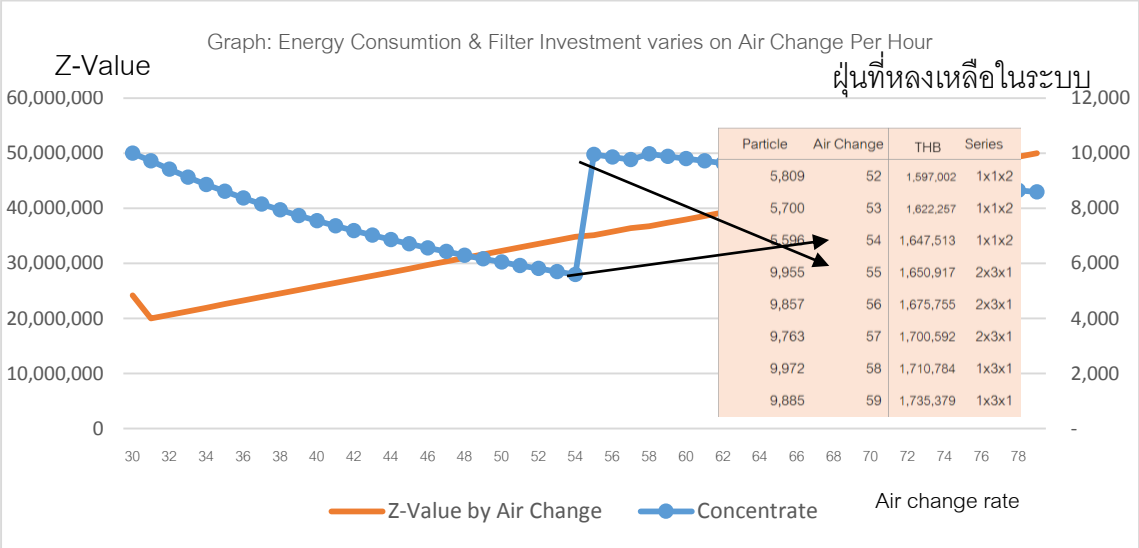
ตารางที่ 8 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมการคำนวณ

ข้อกำหนด	ระดับห้องสะอาด (Clean Room Class)	10,000
	ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (Supply Concentrate)	1,000,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง
	ค่าแรงดันตกคร่อม (Pressure Drop)	1000 ปาสคาล
	ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบ (Internal Generate particle)	300,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง
	ขนาดของห้องสะอาด (Room Size)	80x80x9 ฟุต
ผลลัพธ์จากโปรแกรม	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change Design per hour)	31 รอบต่อชั่วโมง
	รูปแบบของแผ่นกรองอากาศ (Filter Series, Pre-Me-HEPA)	(20%, 50%, 99.99%)
	จำนวนแผ่นกรองระดับต้น (Quantity Pre Filter)	15 แผ่น
	จำนวนแผ่นกรองระดับกลาง (Quantity Medium Filter)	30 แผ่น
	จำนวนแผ่นกรองระดับสูง (Quantity Final Filter)	28 แผ่น
	ความเข้มข้นของฝุ่น สภาวะนิ่ง (Steady Concentration)	9,717 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต
	ต้นทุนแผ่นกรองอากาศ	218,240 บาทต่อปี
	ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า	848,395 บาทต่อปี

จากตารางตัวอย่างคำตอบนี้ ผู้ใช้งานสามารถที่จะทราบค่าของชนิดและจำนวนแผ่นกรอง

อากาศที่เหมาะที่สุด และค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ดีที่สุด ในตารางนี้จะแสดงให้เห็นค่าแรงดันตกคร่อมสูญเสียสูงสุดที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อทวนสอบกำลังส่งของพัดลมต่อไป ในขณะเดียวกันตารางนี้จะแสดงให้เห็นถึงค่าปริมาณฝุ่นที่สภาวะฝุ่นในระบบอยู่ใน สภาวะนิ่งเปรียบเทียบกับระดับของห้อง เพื่อประกอบการตัดสินใจว่าห้องสะอาดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่

เพื่อให้ง่ายต่อการดูแนวโน้มของค่าเป้าหมายในแต่ละอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ จึงได้นำคำตอบที่ได้ในแต่ละค่าพล็อตในกราฟ รวมถึงเพิ่มแกนพิจารณาเพิ่มในส่วนของปริมาณฝุ่นในสภาวะที่ระบบนิ่ง ซึ่งทำให้เห็นแนวโน้มและจุดปรับเปลี่ยนรูปแบบของแผ่นกรองอากาศได้ชัดเจนยิ่งขึ้นตามรูปที่ 23



รูปที่ 23 ค่า Z-Value เมื่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 22 และรูปที่ 23 สามารถที่จะวิเคราะห์ทางเลือกในการใช้แผ่นกรองอากาศได้ จะเห็นได้ว่าค่าที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขนี้คือ เลือกอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 31 รอบต่อชั่วโมงและเลือกใช้แผ่นกรองอากาศในรูปแบบ แผ่นกรองเบื้องต้นที่ 20% แผ่นกรองระดับกลางที่ 50% และแผ่นกรองระดับสูงที่ 99.99% แต่ถ้าหากปรับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นไปที่ 55 รอบต่อชั่วโมงแล้ว รูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสมคือ แผ่นกรองเบื้องต้นที่ 25% แผ่นกรองระดับกลางที่ 70% และแผ่นกรองระดับสูงที่ 98%

นอกจากนี้ได้ประยุกต์คำสั่ง VBAเพิ่มเติมในการแสดงผลชื่อรุ่นของแผ่นกรองอากาศเพื่อให้ง่ายต่อการสื่อสารระหว่างลูกค้ากับผู้แทนขาย ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คำตอบที่แสดงชื่อรุ่นของแผ่นกรองอากาศ

ชนิดแผ่นกรอง	ชื่อและประสิทธิภาพ	แรงดันตก	จำนวน	ราคาต่อปี
แผ่นกรองขั้นต้น	AmAir 100E Efficiency 20%	17	15	2,976
แผ่นกรองละเอียด	VariCel C Efficiency 50%	40	30	56,544
แผ่นกรองขั้นสูง	AstroCel I Efficiency 99.99%	350	28	158,720
	รวม	407	รวม	218,240

จากตัวอย่างคำตอบที่ได้นั้น ทำให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะประเมินราคาของแผ่นกรองอากาศเบื้องต้นได้ ในการนำไปประมูลโครงการ หรือของบประมาณในการลงทุน

4.2 ผลการเปรียบเทียบ

เปรียบเทียบการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างการเลือกแบบก่อนหน้าโดยใช้ประสบการณ์ของผู้ออกแบบอ้างอิงจากโครงการที่ผ่านมาที่มีการประมูลโครงการในขั้นตอนการนำเสนอรูปแบบการของห้องสะอาดเบื้องต้น (Conceptual Design) กับการเลือกจากโปรแกรมแบบจำลองตามเงื่อนไขดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบผลจากการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศก่อนหน้าเทียบกับโปรแกรม

ตารางที่ 10 เปรียบผลจากการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศก่อนหน้าเทียบกับโปรแกรม

ข้อมูลแต่ละโครงการ	A	B	C	D	E
อุตสาหกรรม	Hard Disk	Pharmaceutical	Hard Disk	Electronic	Hard Disk
ขนาดห้อง (ลูกบาศก์ฟุต)	432000	202500	337500	877500	270000
ระดับห้องสะอาด (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)	1000	10000	1000	100000	1000
ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)	100000	100000	200000	300000	300000
ปริมาณฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)	1000000	500000	1000000	1000000	1000000

Project	A		B		C		D		E	
รายละเอียด	แนวทางเลือกจากผู้ออกแบบ	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม	แนวทางเลือกจากผู้ออกแบบ	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม	แนวทางเลือกจากผู้ออกแบบ	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม	แนวทางเลือกจากผู้ออกแบบ	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม	แนวทางเลือกจากผู้ออกแบบ	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ต่อชั่วโมง)	150	101	40	11	210	205	15	5	324	304
รูปแบบแผ่นกรองอากาศ	20%, 95%, 99.9995%	20%, 70%, 99.997%	30%, 95%, 99.9995%	20%,50%, 99.99%	20%,80%, 99.9995%	20%, 70%, 99.99%	25%,95%, 0%	20%, 95%, 0%	20%,50%, 98%	20%, 50%, 99.997%
ต้นทุนแผ่นกรองอากาศ (บาทต่อปี)	13,248,000	5,586,729	1,664,100	272,250	13,545,000	8,686,890	1,232,888	197,438	13,344,171	10,553,161
ประมาณต้นทุนพลังงาน (บาทต่อปี)	32,500,370	21,137,326	4,127,580	1,058,355	33,718,197	33,103,837	4,593,712	1,724,848	37,353,514	39,626,486
ต้นทุนรวม(บาทต่อปี)	45,748,370	26,724,055	5,791,680	1,330,605	47,263,197	41,790,727	5,826,599	1,922,285	50,697,686	50,179,647

64

จากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าการเลือกโดยใช้ประสบการณ์นั้นจะมีการออกแบบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงกว่าการเลือกจากโปรแกรม และรูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่เลือกนั้นจะมีราคาที่สูงกว่าที่เลือกจากโปรแกรมอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้การออกแบบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศนั้นสามารถที่จะปรับตามหน้างานจริงได้ตามความเหมาะสม แต่ในส่วนของการลงทุนซื้อแผ่นกรองอากาศนั้นไม่สามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้ที่หน้างานจากการออกแบบเดิม ดังนั้นต้นทุนด้านการเลือกซื้อแผ่นกรองนั้นถือว่าเป็นส่วนที่เสียโอกาสในการประหยัดต้นทุน ในการการลงทุน โปรแกรมนี้สามารถที่จะยืนยันการทำห้องสะอาดได้ตามหลักการคำนวณตามทฤษฎี หากผู้ใช้งานสามารถที่จะคำนวณรูปแบบแผ่นกรองที่เหมาะสมได้ ในระหว่างขั้นตอนการประมูลงาน ถือได้ว่าเป็นจุดได้เปรียบของผู้ใช้งานที่จะประเมินราคาได้ต่ำลงจากราคาแผ่นกรองที่ใช้ทั้งระบบ งานประมูลห้องสะอาดที่มีขนาดใหญ่ แผ่นกรองอากาศถือได้ว่าเป็นตัวแปรตัดสินใจอย่างหนึ่งในการนำมาประเมินราคาประมูล

ในส่วนของโครงการที่ได้มีการประมูลและมีการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น มีบางโครงการที่มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของแผ่นกรองอากาศ เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ซึ่งนำแนวคิดการเลือกจากโปรแกรมมาเทียบเคียงและทดลองการเปลี่ยน พร้อมตรวจสอบผลจากเปลี่ยนนั้น ค่าปริมาณฝุ่นในระบบยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบรูปแบบแผ่นกรองที่ได้ทดลองการเปลี่ยนที่ลูกค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบรูปแบบแผ่นกรองที่ได้ทดลองการเปลี่ยนที่ลูกค้าผู้ใช้งาน

ข้อมูลแต่ละโครงการ	F	G	H
อุตสาหกรรม	Hard Disk	Pharmaceutical	Electronic
ขนาดห้อง (ลูกบาศก์ฟุต)	57600	38400	50400
ระดับห้องสะอาด (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)	1000	10000	100000
ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)	150000	200000	300000
ปริมาณฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)	1000000	1000000	1000000

โครงการ	F			G			H		
รายละเอียด	ข้อมูลก่อนเปลี่ยน	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม	การทดลองลดต้นทุนหน้างานจริง	ข้อมูลก่อนเปลี่ยน	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม	การทดลองลดต้นทุนหน้างานจริง	ข้อมูลก่อนเปลี่ยน	แนวทางการเลือกจากโปรแกรม	การทดลองลดต้นทุนหน้างานจริง
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ต่อชั่วโมง)	160	152	160	35	21	35	15	5	15
รูปแบบแผ่นกรองอากาศ	20%, 95%, 99.9995%	20%, 70%, 99.997%	20%, 95%, 99.99%	30%, 95%, 99.9995%	20%,50%, 99.99%	20%,95%, 99.99%	25%,95%, 0%	20%, 95%, 0%	20%, 95%, 0%
ต้นทุนแผ่นกรองอากาศ (บาทต่อปี)	1,884,160	1,125,671	1,679,360	276,117	98,560	244,907	65,772	11,340	65,520

99

จากตารางที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบโครงการที่มีการใช้งานจริงที่กำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและรูปแบบแผ่นกรองอากาศเทียบกับ ค่าที่เลือกได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้ลองนำไปประยุกต์ใช้ อย่างเช่นโครงการ F ที่มีการกำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 160 รอบต่อชั่วโมง รูปแบบของแผ่นกรองคือ 20%, 95%, 99.9995% ตามลำดับชั้นแผ่นกรอง แต่ที่สามารถเลือกได้จากโปรแกรมคือ อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 152 รอบต่อชั่วโมง รูปแบบแผ่นกรอง 20%, 50%, 99.99% ซึ่งได้ลองประยุกต์การเปลี่ยนใช้งานจริงในส่วนของการลดต้นทุนแผ่นกรองมาที่ 20%, 95%, 99.99% โดยไม่ต้องเปลี่ยนอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ซึ่งสามารถที่จะใช้งานได้จริงและลดต้นทุนเบื้องต้นได้ เนื่องจากการปรับเปลี่ยนอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะมีผลต่อปริมาณอากาศในระบบ ซึ่งอาจจะสุ่มเสี่ยงต่อระบบการทำสมดุลอากาศ (Air Balance) ในระบบ จึงไม่ได้ลองปรับเปลี่ยนอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศลง แต่ในส่วนของประสิทธิของแผ่นกรองที่มีความสุ่มเสี่ยงน้อยกว่า จึงได้เริ่มแนวทางการลดต้นทุนโดยการปรับเปลี่ยนประสิทธิภาพลง ซึ่งข้อมูลนี้เป็นการยืนยันได้ว่าแนวทางการออกแบบจากโปรแกรมสามารถที่จะใช้งานจริงได้ หากผู้ใช้งานสามารถที่จะเก็บข้อมูลที่จำเป็นดังกล่าวในตารางได้ตรงกับหน้างานจริง

4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

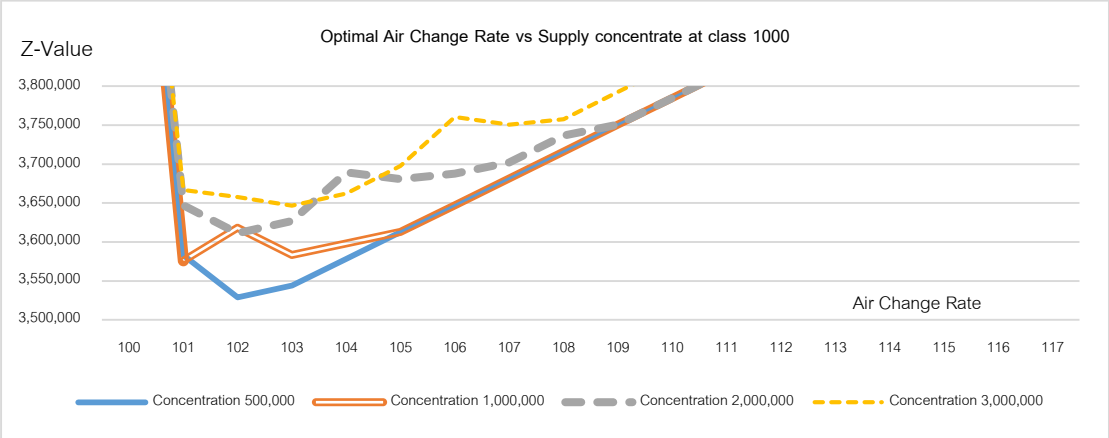
ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้แผ่นกรองและอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ ทางผู้เขียนได้ลองวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่เกี่ยวกับปริมาณฝุ่นที่ตามข้อกำหนดของผู้ใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ ปัจจัยความเข้มข้นฝุ่นขาเข้า และปัจจัยความเข้มข้นฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบ

4.3.1 ปัจจัยความเข้มข้นฝุ่นขาเข้า

เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยความเข้มข้นฝุ่นขาเข้ามีผลกระทบต่อการออกแบบห้องสะอาดอย่างไร ทางผู้เขียนจึงได้ลองป้อนข้อมูลลงในโปรแกรมตามข้อกำหนดที่ลูกค้าให้มาดังนี้

1) ระดับของห้องสะอาด (Clean room Class) 1000 (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต),
2) ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (Supply Concentrate) ทดลองป้อนที่ค่าตามตารางที่ 11
3) ค่าแรงดันตกคร่อมสูงสุด (Max Pressure Drop) 1,000 ปาสคาล,
4) อัตราการเกิดฝุ่นภายในระบบ (Internal Generate) 100,000 (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง),
5) ขนาดห้องสะอาด (กว้าง x ยาว x สูง) 80 x 80 x 9 ลูกบาศก์ฟุต

หากค่าความเข้มข้นของฝุ่นขาเข้าที่แตกต่างกัน รูปแบบแผ่นกรองอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ที่ทำให้ค่าเป้าหมายที่ต่ำที่สุดจะแตกต่างกัน คำตอบที่ได้ก็แตกต่างกันด้วย ตามรูปที่ 24 และตารางที่ 12



รูปที่ 24 แสดงค่า Z-Value เมื่อฝุ่นด้านขาเข้าที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 24 จะเห็นได้ว่าค่าจากสมการเป้าหมายจะสูงขึ้นหากค่าฝุ่นขาเข้ามีความเข้มข้นที่สูงขึ้น อันเนื่องมาจากรูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่แตกต่างกันและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งรูปแบบของแผ่นกรองอากาศในคำตอบจากโปรแกรมแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 12 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและรูปแบบของแผ่นกรองกรณีที่ความเข้มข้นของฝุ่นขาเข้าที่เปลี่ยนแปลงไป

ความเข้มข้นของฝุ่นขาเข้า (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ รอบต่อชั่วโมง	รูปแบบแผ่นกรอง ระดับต้น ระดับกลาง ระดับสูง	จำนวนแผ่นกรอง ระดับต้น ระดับกลาง ระดับสูง(ชิ้น)	ราคาแผ่นกรอง
500,000	102	20%, 60%, 99.99%	49, 98, 93	727,873
1,000,000	101	20%, 60%, 99.997%	48, 97, 92	757,674
2,000,000	102	20%, 60%, 99.997%	49, 98, 93	765,177
3,000,000	103	20%, 60%, 99.997%	49, 99, 94	772,681

จากตารางที่ 12 ปริมาณฝุ่นขาเข้าที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้รูปแบบของแผ่นกรองอากาศที่จะใช้ต้องมีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วยตามลำดับ ดังนั้นกระบวนการบำบัดฝุ่นก่อนเบื้องต้นโดยใช้ชุด MAU (Make up Air Unit) ถือว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการลดต้นทุนของแผ่นกรองอากาศในระบบ

4.3.2 ปัจจัยความเข้มข้นฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบ

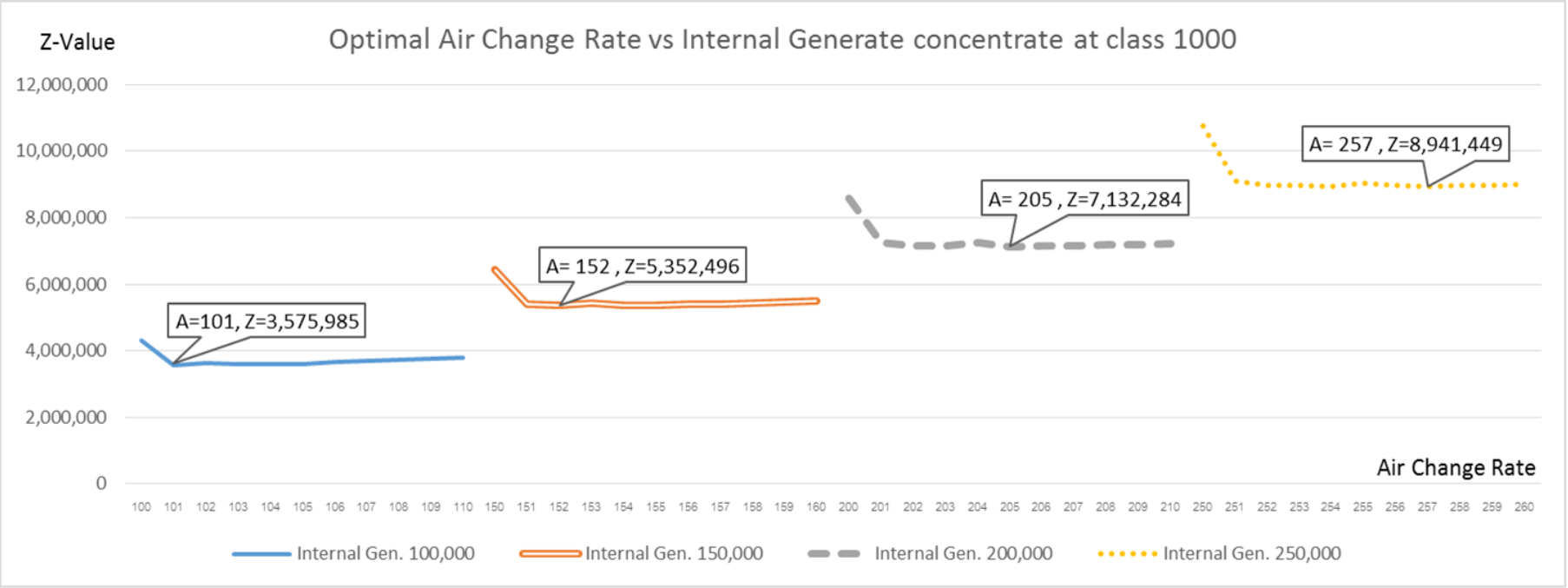
ได้วิเคราะห์ปัจจัยฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยกำหนดข้อมูลนำเข้าดังนี้

1) ระดับของห้องสะอาด (Clean room Class) 1000 (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต),
2) ความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในระบบ (Supply Concentrate) 1,000,000 (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง),
3) ค่าแรงดันตกคร่อมสูงสุด (Max Pressure Drop) 1,000 ปาสคาล,
4) อัตราการเกิดฝุ่นภายในระบบ (Internal Generate) ทดลองป้อนค่าตามรูปที่ 25
5) ขนาดห้องสะอาด (กว้าง x ยาว x สูง) 80 x 80 x 9 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งได้คำตอบตามตารางที่ 12

คำตอบที่ได้จะแตกต่างกันตามรูปที่ 25 และตารางที่ 12

รูปที่ 25 ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 25 ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

จากรูปที่ 25 จะเห็นได้ว่า ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นการควบคุมฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบถือว่ามีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ต่อต้นทุนในการทำห้องสะอาด

ตารางที่ 13 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและรูปแบบของแผ่นกรองกรณีที่ความเข้มข้นของฝุ่นในระบบเปลี่ยนแปลงไป

ฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบ (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ รอบต่อชั่วโมง	รูปแบบแผ่นกรอง ระดับต้น ระดับกลาง ระดับสูง	จำนวนแผ่นกรอง ระดับต้น ระดับกลาง ระดับสูง(ชิ้น)	ราคาแผ่นกรอง (บาทต่อปี)
100,000	101	20%, 60%, 99.997%	48, 97, 92	757,674
150,000	152	20%, 50%, 99.997%	73, 146, 139	1,125,671
200,000	205	20%, 70%, 99.99%	98, 197, 187	1,482,563
250,000	257	20%, 70%, 99.99%	123, 247, 235	1,858,627

จากตารางที่ 13 ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ จะมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เลือกใช้งาน อัตราแลกเปลี่ยนที่สูงขึ้นมีผลกระทบต่อจำนวนแผ่นกรองอากาศด้วย ที่ต้องใช้ในปริมาณมากขึ้น ในขั้นตอนการออกแบบห้องสะอาดการประเมินหรือสำรวจข้อมูลอัตราการเกิดฝุ่นขึ้นในกระบวนการถือว่าสำคัญยิ่งต่อการลงทุน จากข้อมูลนี้หากเจ้าของกิจการต้องการลดต้นทุนในการทำห้องสะอาด การควบคุมฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ ถือเป็นหนึ่งในทางเลือกที่สามารถกระทำได้ ดังจะเห็นได้ในห้องสะอาดทั่วไปจะเคร่งครัดในเรื่องของการควบคุมฝุ่น ไม่ว่าจากตัวพนักงานเองที่ต้องสวมใส่ชุดคลุมปฏิบัติงาน , อุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่นำเข้าต้องมีการควบคุมทำความสะอาด, พื้นที่ทำงานต้องควบคุมจุดรั่วไหลเข้าของฝุ่นจากห้องภายนอกหรือห้องข้างเคียง เป็นต้น

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้ออกแบบหรือผู้ใช้งานในหลายๆโครงการออกแบบและเลือกใช้แผ่นกรองอากาศตามประสบการณ์หรือตามตารางการแนะนำในตำราทั่วไป ซึ่งมิได้มีการสำรวจหน้างานจริง ทำให้การออกแบบไม่ตรงกับการใช้งาน ซึ่งสามารถสรุปความแตกต่างของการเลือกตามตารางที่ 13 ได้ดังนี้

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการเลือกแบบก่อนหน้ากับการเลือกโดยใช้โปรแกรม

การเลือกแบบก่อนใช้โปรแกรม	การเลือกโดยใช้โปรแกรม
ไม่มีการนำปริมาณฝุ่นข้าเข้าในระบบมาคำนวณการเลือกใช้	นำฝุ่นขาเข้าในระบบนำมาคิดคำนวณในสมการ โดยคำนวณผ่านชุดกรองฝุ่นเบื้องต้น
ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในระบบไม่ถูกนำมาพิจารณาการเลือกใช้	ฝุ่นในระบบถูกนำมาคำนวณในรูปแบบ โดยผู้ใช้งานสามารถหาได้จาก ลักษณะการทำงานและกระบวนการผลิตของลูกค้า หรือข้อมูลเก่าที่ลูกค้าได้มีการสำรวจและเก็บไว้จริง
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเลือกจากประสบการณ์ที่เคยใช้งาน และเผื่อค่าไว้สูงเพื่อปรับหน้างานจริง	โปรแกรมคำนวณสามารถที่จะระบุค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในรอบที่ต่ำลง สามารถที่จะรู้ล่วงหน้าในการวางแผนเลือกใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวเนื่องกัน
ชนิดของแผ่นกรองอากาศ ไม่มีหลักการเลือกที่ชัดเจน เลือกบนพื้นฐานที่เคยใช้งานแล้วไม่มีปัญหา	โปรแกรมสามารถบอกชนิดของแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถที่จะเป็นทางเลือกในการตัดสินใจเปลี่ยนชนิดแผ่นกรองเพื่อลดต้นทุนในการประมูลงานได้

ไม่สามารถที่จะอธิบายเหตุผลลูกค้าได้ว่าทำไม ถึงต้องเลือกใช้แผ่นกรองอากาศนั้นๆ พร้อมทั้งที่มาของการคำนวณอัตราแลกเปลี่ยน	โปรแกรมสามารถอธิบายที่มาของการเลือกใช้แผ่นกรองและการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้

จากโปรแกรมการคำนวณเลือกใช้แผ่นกรองอากาศ ต้นทุนหลักสำหรับการออกทำห้องสะอาดนั้นส่วนหนึ่งมาจากการลงทุนด้านแผ่นกรองอากาศเริ่มแรก และการเปลี่ยนการใช้งานในรอบปี สำหรับค่าดำเนินการส่วนใหญ่มาจากค่าไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่สำคัญสำหรับการทำห้องสะอาด การเลือกใช้แผ่นกรองอากาศที่มีคุณสมบัติต่ำแล้วไปปรับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น สามารถที่จะทำได้ ซึ่งมีหลายผู้รับเหมาใช้วิธีการเช่นนี้ในการลดต้นทุนในขั้นตอนการประมูล แต่แท้จริงโดยภาพรวมแล้ว ภาระค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในขั้นตอนการดำเนินงานจะตกไปเจ้าของกิจการ สำหรับปัจจัยอื่นที่สำคัญในการทำห้องสะอาดให้อยู่ในข้อกำหนด คือ การควบคุมฝุ่นที่เกิดขึ้นจากภายในกระบวนการผลิตและปัจจัยฝุ่นที่ปนเปื้อนมาจากด้านนอก ถือว่ามีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการทำห้องสะอาด เพื่อให้ห้องสะอาดเป็นไปตามกำหนด ผู้ออกแบบหรือเจ้าของควรจะต้องมีการสำรวจที่หน้างานจริงว่าในพื้นที่นั้นมีประมาณฝุ่นอยู่ที่ระดับไหน สำหรับฝุ่นในกระบวนการจริงนั้นควรตรวจสอบจากหน้างานจริง เทียบเคียงกับกระบวนการที่มีอยู่ ซึ่งทั้งสองข้อมูลนี้จะมีผลต่อการลงทุนการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศและการกำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในระบบ ผลที่ได้จากการทำโปรแกรมสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโปรแกรมต่อผู้ใช้งานต่างๆ

ประโยชน์ต่อผู้ขายแผ่นกรองอากาศ	**ประโยชน์ต่อผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมา**	**ประโยชน์ต่อเจ้าของโครงการหรือผู้ใช้งาน**
สามารถเลือกแผ่นกรองอากาศ และประเมินราคาได้อย่างรวดเร็วขึ้น	ผู้ออกแบบสามารถประเมินราคาได้อย่างรวดเร็ว ตามเงื่อนไขที่ลูกค้ากำหนดมา	เจ้าของโครงการสามารถเปรียบเทียบต้นโดยรวมจากการออกแบบ ของผู้รับเหมาได้

เข้าใจแนวทางการเสนอราคาให้ลูกค้าเพื่อเป็นทางเลือกในการลดต้นทุน	ผู้รับเหมาเข้าใจทางเลือกในการเสนอราคาประมูลงานในการลดต้นทุน	เข้าใจหลักการออกแบบห้องสะอาดมากขึ้น ทำให้รู้ได้ว่าการออกแบบของผู้รับเหมาสามารถทำได้จริงหรือไม่
เข้าใจหลักการคำนวณการการออกแบบห้องสะอาดตามทฤษฎีสามารถประยุกต์ใช้สำหรับนำเสนองานให้แก่ลูกค้าได้	ผู้รับเหมาสามารถทดสอบเงื่อนไขการออกแบบเริ่มต้นว่าสามารถที่จะทำได้ตามทฤษีหรือไม่	กรณีที่มีการลดต้นทุนในการดำเนินการ เจ้าสามารถเข้าใจหลักการ และแนวทางในการลดต้นทุนได้
โปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือประกอบการตัดสินใจ ในกรณีที่ต้องการหาแนวทางการลดต้นทุนค่าแผ่นกรองให้กับลูกค้า	สามารถที่จะนำข้อมูลจุดอ่อนการออกแบบของคู่แข่งมานำเสนอให้แก่ลูกค้า เพื่อโน้มน้าวการตัดสินใจ	กรณีที่ห้องสะอาดเกิดปัญหาขึ้นเกี่ยวกับปริมาณฝุ่นในระบบสามารถที่จะทวนสอบเงื่อนไขต่างๆในระบบได้
โปรแกรมสามารถนำแนวทางการออกแบบหรือเลือกใช้ของแผ่นกรองอากาศ ในการหาจุดอ่อนเพื่อหักล้างในการเปรียบเทียบราคา	โปรแกรมนี้ทำให้ผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมาต้องเก็บข้อมูลจากหน้างานจริง ทำให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงมากขึ้น สามารถควบคุมต้นทุนที่มองไม่เห็นได้ง่ายยิ่งขึ้น	เจ้าของกิจการเข้าใจหลักการของห้องสะอาด ทำให้การปฏิบัติจริง จะตระหนักถึงการควบคุมฝุ่นมากขึ้น เพื่อลดต้นทุนในการทำห้องสะอาด

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

โปรแกรมที่ได้จัดทำนี้มีส่วนช่วยอย่างมากในการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศให้สอดคล้องกับทางผู้ออกแบบกำหนดมา จากเดิมการเลือกชนิดแผ่นกรองอากาศจะใช้หลักประสบการณ์ที่เคยทำมา มีบางโครงการ การเลือกใช้คุณสมบัติของแผ่นกรองสูงเกินกว่าความจำเป็นและมีบางโครงการคุณสมบัติของแผ่นกรองที่ต่ำเกินไป ทำให้ไม่ผ่านการตรวจรับห้องสะอาด โปรแกรมนี้สามารถที่จะ

นำไปเป็นส่วนช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของเจ้าของบริษัท เพื่อเปรียบเทียบการออกแบบของผู้รับเหมาในขั้นตอนการประมูลงาน ว่าเจ้าไหนมีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด เจ้าของรายใหม่หากไม่มีประสบการณ์ ก็สามารถใช้โปรแกรมนี้ในการเลือกใช้แผ่นกรองเองได้ ปัจจุบันคุณสมบัติของแผ่นกรองกับ การกำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในระบบ ถือว่าเป็นปัจจัยหลักในการทำห้องสะอาด หากเจ้าของเข้าใจในหลักการ การคำนวณต้นทุนโดยรวมตรงแล้ว การตัดสินใจทำห้องสะอาดจะต้องพิจารณาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโดยรวม โดยไม่ใช้เพียงแค่พิจารณาเงินลงทุนอย่างเดียว ยังรวมไปถึงการตรวจรับงานที่จะสามารถตรวจสอบและตรวจเช็คกลับในเรื่องของการสอดคล้องตามข้อกำหนดของห้องสะอาด

5.3 ข้อเสนอแนะ

ด้วยเทคโนโลยีเกี่ยวกับห้องสะอาดได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การตระหนักเกี่ยวกับเรื่องการอนุรักษ์พลังงานถือว่าเป็นหัวข้อสำคัญในการพิจารณาการลงทุนห้องสะอาด สำหรับผู้ผลิตที่มีขนาดใหญ่อย่างเช่นกลุ่มสินค้าเกี่ยวกับ ธุรกิจฮาร์ดดิสค์ ที่มีขนาดโรงงานที่ใหญ่และระดับความสะอาดที่เคร่งครัด การดำเนินการห้องสะอาดจำเป็นจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมาก ลักษณะการออกแบบในปัจจุบัน นิยมใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า FFU (Fan Filter Unit) เข้ามาช่วยในการบำบัดฝุ่น ในระบบกล่าวคือจะเลือกใช้อุปกรณ์นี้สำหรับพื้นที่ที่ต้องการความสะอาดสูงเฉพาะบางพื้นที่ ห้องสะอาดโดยรวมออกแบบให้ระดับความสะอาดที่ไม่สูงมาก เพื่อลดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและลดต้นทุนราคาแผ่นกรองอากาศ FFU นี้จะถูกติดตั้งเหมือนลักษณะห้องชุดหนึ่งที่สามารถเคลื่อนที่และเลือกพื้นที่ติดตั้งได้ โดยหลักการทำงานจะมีพัดลมด้านในเครื่องเพื่อดูดอากาศเข้าจากนั้นจะส่งผ่านไปยังแผ่นกรองอากาศอีกชั้นหนึ่ง แผ่นกรองอากาศนี้สามารถที่จะเลือกได้หลายคุณลักษณะ ขึ้นอยู่กับระดับความสะอาดที่ต้องการ ระดับความเร็วลมที่ออกจากแผ่นกรองอากาศก็สามารถปรับเลี่ยนได้ด้วยเพื่อให้กระแสลมไหลแบบตรงจากบนลงล่าง ในการชำระฝุ่นตามหลัก Unidirectional Flow (Laminar) อุปกรณ์นี้สามารถตอบโจทย์ได้สำหรับการอนุรักษ์พลังงาน ในระหว่างการดำเนินการ แต่ด้วยต้นทุนการลงทุนที่แพง การคำนวณความคุ้มค่าการลงทุนถือได้ว่าเป็นหัวข้อสำคัญที่ผู้วิจัยจะนำไปศึกษาต่อว่าระดับขนาดของห้องสะอาดระดับใดที่ควรจะเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ตัวนี้เพื่อลดต้นทุนในการทำห้องสะอาด

รายการอ้างอิง

1. AAF, I., *Basic clean room design*. Basic Design and Operating Considerations. 1996, Amsterdam.
2. International, A., *AAF Product Specification*. Filter Performance Data Sheet. 2014, Bangkok.
3. Whyte, W., *Cleanroom Technology Fundamentals of Design*. 1st edition ed. Testing and Operation. 2001, England.
4. ชยางสุ, น., *Basic of Filtration.* วารสารสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ, 2550.
5. อึ๊งภากรณ์, ว., คู่มือการออกแบบห้องสะอาด. 2012, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
6. P.E., J.S., *Understanding Pharmaceutical Clean room design.* ASHERE Journal, 2004.
7. company, P.g.a.e., *High Performance Clean room design*. A Design guideline book. 2006, America.
8. Conference, A., *ASHERE STANDARD*, in *Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE*2013: America.
9. ธรรมาภรณ์พิลาศ, ว., *Principle of Optimization*. เอกสารประกอบการเรียน. 2012, กรุงเทพมหานคร.
10. Tschudi, W., *Clean Room Energy Benchmarking Result*, in *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) conference*2002: Honolulu.
11. Rudnick, S.N., *Optimizing the Design of Room Air Filters for the Removal of Sub micrometer Particles.* Aerosol Science and Technology, 2004.
12. Xu, T., *Characterization of minienvironments in a clean room Design characteristics and environmental.* Berkeley Lab, Building Technology & Urban Systems, 2005.
13. J.Naughtan, P., *Clean Room Energy Optimization Method.* Environment Safety & Health Associate for High Technology, 2004.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

14. ตันติภัทโร, ว., การคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เส้นกรอบล้อมข้อมูล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553. **2**(4).

15. S.A. Torabi, R.K., M.S. Zakerinia, *A mixed integer multi-objective model for distributed energy resources planning.* Second Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation, 2012.

16. Bo Sun, H.C., Laihon Du, Yadong Fang, *Machine Tools Selection Technology for Networked Manufacturing*. Journal of Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2007.

17. Aukara-aree, K., *Collection Station Location and Vehicle Routing Optimization in The Natural Rubber Industry.* A Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of The Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Industrial Engineer, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University Academic, 2009.

18. S. Maheswari, C.V., *Energy Conservation in Power System using LR Technique.* Department of Mathematics Sathyabama University Chenna, 2005.

19. V. Siriariyaporn, R.R., *Optimization of Energy and Operating Reserve in Real-Time Electricity Markets*, in *DRPT2 Nanjing China*2008: China.

20. Zhen, F., *Linear Programming Solution for Transporting Multiple Petroleum Products Using Pipelines.* Department of Management Science City University of Hong Kong, 2011.

21. นันทกิจ, ร.ด.อ., โปรแกรมคำนวณการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช *NutriCal V 1.1*, in การประชุมทางวิชาการขอมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2544: กรุงเทพมหานคร.

22. ชัชวาลพาณิชย์, ท., การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบระบบข่ายงานท่อที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฐานข้อมูลเชิงวัตถุ, in บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2537: Bangkok.

23. Sun, W., *Conserving Fan Energy in cleanroom.* Cleanroom ASHERE JOURNAL, 2008.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Clean room class	ระดับห้องสะอาด
Air change rate	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ
Filter Efficiency	ประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศ
Air Flow	ปริมาณการไหลของอากาศ
Pressure Drop	แรงดันตกคร่อมสูญเสีย
Turbulent	การไหลแบบปั่นป่วน
Unidirectional	การไหลแบบทิศทางเดียว
Air Handling Unit	ชุดส่งอากาศ
Make up Air Unit	ชุดกรองฝุ่นเบื้องต้น
Linear Programming	กำหนดการเชิงเส้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำสั่งในการกำหนดให้โปรแกรมป้อนค่าและสั่งรันเอ็กเซล โซลเวอร์ (Excel Solver) แบบอัตโนมัติ

```
Sub Min_Cost()
    Dim count As Integer
    Dim bool As Boolean
    Dim intCount As Integer
    intCount = 0
    bool = True

 'Reset Initial Air Change
    If Cells(16, 1).Value > Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - 0.0005) + 1 Then
    Cells(16, 1).Value = Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - 0.0005) - 1
    End If
    If Cells(16, 1).Value < Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - 0.0005) + 1 Then
    Cells(16, 1).Value = Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - 0.0005) - 1
    End If
    Do While bool
    'Reset Constrain
    SolverReset
     ' Set up the parameters for the model.
     ' Determine the manimum value for the sum of cost in cell C47
     ' by changing the number of units to build in cells S44:FF44.
    Solverok setcell:=Range("C47"), maxminval:=2, _
       bychange:=Range("S44:FF44")
     ' Add the constraint for the model. The constraint is that the
     ' Preesure Drop and Particle Count and Select only one
     ' FG21<=FI21
     ' FG22:24>=FI22:24
     ' FG25<=FI25
     ' FG26=FI26
    SolverAdd CellRef:=Range("FG21"), Relation:=1, _
       FormulaText:=Range("FI21")
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
SolverAdd CellRef:=Range("FG22:FG24"), Relation:=3, _
    FormulaText:=Range("FI22:FI24")
SolverAdd CellRef:=Range("FG25"), Relation:=1, _
    FormulaText:=Range("FI25")
SolverAdd CellRef:=Range("FG26"), Relation:=2, _
    FormulaText:=Range("FI26")
SolverAdd CellRef:=Range("S44:FF44"), Relation:=5, _
    FormulaText:="binary"
 ' Do not display the Solver Results dialog box.
SolverSolve UserFinish:=True
 ' Finish and keep the final results.
SolverFinish KeepFinal:=1
  'Input Z Value
Cells(48 + intCount, 3).Value = Cells(47, 3).Value
Cells(48 + intCount, 2).Value = Cells(16, 1).Value
Cells(16, 1).Value = Cells(16, 1).Value + 1
count = 0
Do While count <= 144
If Cells(46, 19 + count).Value <> 0 Then
Cells(48 + intCount, 4).Value = Cells(46, 19 + count).Value
End If
count = count + 1
Loop
 intCount = intCount + 1
 If intCount = 50 Then
bool = False
End If
 Loop
End Sub
```

คำสั่งสร้างหน้าต่างสำหรับผู้ใช้งาน (User Form) เพื่อรับค่าข้อมูลเข้าและรับคำสั่งการทำงานจากผู้ใช้งาน ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมในการรับส่งข้อมูลเพื่อเข้าประมวลผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
Private Sub Min()
Run "Module1"
End Sub

Private Sub ClassBox1_Change()
End Sub

Private Sub ClassBox1_Click()
End Sub

Private Sub CommandButton1_Click()
Cells(9, 2).Value = ClassBox1.Text
Cells(8, 2).Value = txtSupply.Text
Cells(3, 2).Value = txtPressure.Text
Cells(7, 2).Value = txtGenerate.Text
Cells(12, 2).Value = txtW.Text * txtD.Text * txtH.Text
Cells(4, 5).Value = txtH.Text
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
   Dim count As Integer
   Dim bool As Boolean
   Dim intCount As Integer

   intCount = 0
   bool = True
    'Reset Initial Air Change
   If Cells(9, 2).Value < 1000 Then
   Cells(16, 1).Value = 72 * 60 * Cells(3, 5).Value / Cells(4, 5).Value
   End If
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
 If Cells(9, 2).Value > 100 Then
   If Cells(16, 1).Value > Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - Cells(25, 161).Value *
Cells(8, 2).Value) + 1 Then
   Cells(16, 1).Value = Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - Cells(25, 161).Value *
Cells(8, 2).Value)
   End If
   If Cells(16, 1).Value < Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - Cells(25, 161).Value *
Cells(8, 2).Value) + 1 Then
   Cells(16, 1).Value = Cells(7, 2).Value / (Cells(9, 2).Value - Cells(25, 161).Value *
Cells(8, 2).Value)
   End If
    End If
    'Flow Calculate
   Cells(4, 2).Value = Cells(16, 1).Value * Cells(12, 2).Value / 60
   Do While bool
    'Reset Constrain
   SolverReset
    ' Set up the parameters for the model.
    ' Determine the manimum value for the sum of cost in cell C47
    ' by changing the number of units to build in cells S44:FF44.
   Solverok setcell:=Range("C47"), maxminval:=2, _
      bychange:=Range("S44:FF44")
    ' Add the constraint for the model. The constraint is that the
    ' Preesur Drop and Particle Count and Select only one
    ' FG21<=FI21
    ' FG22:24>=FI22:24
    ' FG25<=FI25
    ' FG26=FI26

   SolverAdd CellRef:=Range("FG21"), Relation:=1, _
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
    FormulaText:=Range("FI21")
SolverAdd CellRef:=Range("FG22:FG24"), Relation:=3, _
    FormulaText:=Range("FI22:FI24")
SolverAdd CellRef:=Range("FG25"), Relation:=1, _
    FormulaText:=Range("FI25")
SolverAdd CellRef:=Range("FG26"), Relation:=2, _
    FormulaText:=Range("FI26")
SolverAdd CellRef:=Range("S44:FF44"), Relation:=5, _
    FormulaText:="binary"
' Do not display the Solver Results dialog box.
SolverSolve UserFinish:=True
 ' Finish and keep the final results.
SolverFinish KeepFinal:=1

  'Input Z Value
Cells(48 + intCount, 3).Value = Cells(47, 3).Value
Cells(48 + intCount, 2).Value = Cells(16, 1).Value
Cells(48 + intCount, 1).Value = Cells(25, 163).Value
Cells(16, 1).Value = Cells(16, 1).Value + 1
'Flow Varies
Cells(4, 2).Value = Cells(16, 1).Value * Cells(12, 2).Value / 60
count = 0
Do While count <= 144
If Cells(46, 19 + count).Value <> 0 Then
Cells(48 + intCount, 4).Value = Cells(46, 19 + count).Value
End If
count = count + 1
Loop

intCount = intCount + 1
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
    If intCount = 50 Then
    bool = False
    End If

    Loop

    End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()
frmProgram.Hide
End Sub

Private Sub Label4_Click()
End Sub

Private Sub TextBox1_Change()
End Sub

Private Sub UserForm_Click()
End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()
With ClassBox1
.AddItem "10"
.AddItem "100"
.AddItem "1000"
.AddItem "10000"
.AddItem "100000"
End With
End Sub
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำสั่ง มาครอส (Macros) ในการกำหนดคำสั่งให้โปรแกรมประมวลผลตามคำสั่งเปรียบเทียบในแต่ละอัตราการแลกเปลี่ยนว่า อัตราแลกเปลี่ยนไหนที่ต้นทุนต่ำที่สุด

```
Sub Min()
'Find Min Air Change Rate
   Dim CountMin As Integer
   Dim CountSeries As Integer
   CountMin = 48
   CountSeries = 19
   Do While CountMin <= 97
   If Cells(CountMin, 3).Value = Cells(98, 3).Value Then
   Cells(98, 4).Value = Cells(CountMin, 4).Value
   Cells(53, 44).Value = Cells(CountMin, 4).Value
   Cells(98, 2).Value = Cells(CountMin, 2).Value
   Cells(52, 44).Value = Cells(CountMin, 2).Value
   Cells(57, 44).Value = Cells(CountMin, 1).Value
   End If
   CountMin = CountMin + 1
   Loop
   Do While CountSeries <= 162
   If Cells(17, CountSeries).Value = Cells(98, 4).Value Then
   'Series
   Cells(61, 44).Value = Cells(27, CountSeries).Value
   Cells(62, 44).Value = Cells(30, CountSeries).Value
   Cells(63, 44).Value = Cells(36, CountSeries).Value
   'Pressure Drop
   Cells(61, 53).Value = Cells(28, CountSeries).Value
   Cells(62, 53).Value = Cells(31, CountSeries).Value
   Cells(63, 53).Value = Cells(37, CountSeries).Value
   'Total pressure
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
    Cells(64, 56).Value = Cells(21, CountSeries).Value
    'Total Price
Cells(64, 58).Value = Cells(29, CountSeries).Value * Cells(61, 58).Value +
Cells(32, CountSeries).Value * Cells(62, 58).Value + Cells(38, CountSeries).Value *
Cells(63, 58).Value
    End If
    CountSeries = CountSeries + 1
    Loop
End Sub
```


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภินันท์ ชวดชุม เกิดวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ.2525 จังหวัดนครศรีธรรมราช จบการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ปี พ.ศ. 2548 นักเรียนทุน มูลนิธิสมเด็จพระญาณสังวร สมเด็จพระสังฆราช สกลมหาสังฆปริณายก ปัจจุบันทำงานอยู่ที่บริษัท เอเอเอฟ อินเตอร์เนชั่นแนล ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายขายลูกค้าญี่ปุ่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University