

อิทธิพลของส่วนผสมในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งาน



นางสาวจุฑารัตน์ สุนทรเวชพงษ์

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 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF COMPOSITION IN LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE FILM ON
FUNCTIONAL PROPERTIES

Miss Jutarat Sunthronwetchpong



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 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของส่วนผสมในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
	เชิงเส้นที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งาน
โดย	นางสาวจุฑารัตน์ สุนทรเวชพงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสทศิลป์)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)
.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็ชร์)

จุฬารัตน์ สุนทรเวชพงษ์ : อิทธิพลของส่วนผสมในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งาน (EFFECT OF COMPOSITION IN LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE FILM ON FUNCTIONAL PROPERTIES) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร, หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษา (1) อิทธิพลระหว่างสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (AS) สารทำให้ลื่น (SL) และสารป้องกันการยึดติด (AB) ในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งานของฟิล์ม ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ความขุ่น (Haze) ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) และการทนแรงดึง ในกระบวนการเป่าฟิล์ม และ (2) ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมต่างๆที่มีคุณสมบัติที่ต้องการการใช้งาน วิธีดำเนินการศึกษา (1) ผสมสาร AS SL และ AB ที่ส่วนผสมต่างๆในเม็ดพลาสติก LLDPE โดยสาร AS ที่ใช้มีปริมาณร้อยละระหว่าง 0.2 ถึง 1.8 โดยน้ำหนัก สาร SL มีค่าร้อยละระหว่าง 0.4 ถึง 2.4 โดยน้ำหนัก และสาร AB ร้อยละระหว่าง 0.7 ถึง 2.3 โดยน้ำหนัก เป็นการทดลองแบบส่วนประสมกลาง การทดลองแบบแพคทอเรียล และการทดลองแบบบล็อกซ์-เบ็นเคน (2) นำส่วนผสมต่างๆที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ควบคุมความหนาที่ 50 ไมครอน (3) นำแผ่นฟิล์มที่เป่าได้ไปตรวจวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ (4) หาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสม AS SL และ AB ที่มีต่อคุณสมบัติที่ต้องการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากการทดลองพบว่า (1) สาร AS และ SL มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่า α เท่ากับ 0.05 (2) เมื่อเปรียบเทียบสมการพยากรณ์ทั้งสามวิธีต่อค่า COF พบว่า ถ้าปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1 ถึง 1 สมการพยากรณ์จากวิธีแพคทอเรียล ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุดและ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1.633 ถึง 1.633 พบว่าจากสมการพยากรณ์ จากวิธีแบบส่วนประสมกลาง ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุด (3) สัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของสาร AS ต่อ SL ต่อ AB ควรมีค่าเท่ากับ 1.5 ต่อ 0.4 ต่อ 1.01 ตามลำดับ ตามการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เมื่อต้องการให้ได้คุณสมบัติการใช้งานของฟิล์มให้มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เท่ากับ 0.2 ± 0.1 และค่าความต้านทานพื้นผิวมีค่าน้อยกว่า 1×10^{12} โอห์ม โดยมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด และ (4) ความสัมพันธ์ที่ได้นี้สามารถช่วยลดเวลาและของเสียในการลองผิดลองถูกจากการทดลองเป่าตัวอย่างฟิล์มในระหว่างการออกแบบสูตรใหม่ๆลงได้อย่างน้อย 500 กิโลกรัมต่อครั้ง

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5770910621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE / COEFFICIENT OF FRICTION

JUTARAT SUNTHRONWETCHPONG: EFFECT OF COMPOSITION IN LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE FILM ON FUNCTIONAL PROPERTIES. ADVISOR: ASST. PROF. SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D., pp.

This research aimed to (1) study the effect of Antistatic Agent (AS), Slip Agent (SL), and Anti-blocking Agent (AB) in Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) of blown film extrusion on functional properties which are Coefficient of Friction (COF), Haze, Surface Resistivity and Tensile Strength (2) find the relationship of AS, SL and AB on the required properties. The study method of the central composite design (CCD), fullfactorial design and box-behnken design was applied that (1) the additives of AS, SL and AB were mixed in LLDPE resins which the compositions of A ranged between 0.2 to 0.8 percent by weight, SL ranged between 0.4 to 2.4 percent by weight, and AB ranged between 0.7 to 2.3 percent by weight, (2) the mixed compositions were blown into film with the controlled thickness of 50 microns, (3) the properties of the blown films were characterized, (4) The regression analysis was applied to determine the relationship between AS, SL and AB which affected on the required properties.

The results of the study showed that (1) both AS and SL were significant effect on the COF at the statistical a of 0.05, (2) Comparing predictions from different regression equations show all three factors are in the range of -1 to 1 the factorial method give an average of the smallest. If three factors are in the range of -1.633 to 1.633. the central composite design method give an average of the smallest percentage difference.(3) the percent by weight ratio of AS : SL : AB could be 1.5 : 0.4 : 1.01 when the required properties of the COF and the surface resistivity were 0.2 ± 0.1 and less than 1×10^{12} ohm, respectively at the lowest haze, and (4) the relationship of the compositions obtained could reduce the set-up time and wastes of about 500 Kg during tire and error when a new formulation was performed.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

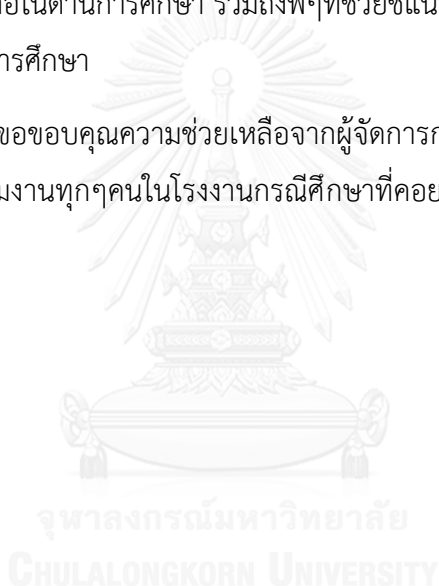
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงประธานและคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ และแนวทางในการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งยังช่วยตรวจสอบรายละเอียดและแนวทางการแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่ช่วยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในด้านการศึกษา รวมถึงพี่ๆที่ช่วยชี้แนะแนวทางการเรียน และเพื่อนๆที่คอยเป็นกำลังใจตลอดการศึกษา

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณความช่วยเหลือจากผู้จัดการการตลาด และผู้จัดการแผนการวางแผนงานวิจัย และทีมงานทุกคนในโรงงานกรณีศึกษาที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา	1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	6
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 Linear Low Density Polyethylene	8
2.2 กระบวนการเป่าฟิล์ม	8
2.3 สารเติมแต่ง (Additive).....	9
2.3.1 สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic Agents)	10
2.3.2 สารหล่อลื่น (Slip Agent).....	14
2.3.3 สาร Antiblocking	15
2.4 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม	16
2.4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	16

2.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	16
2.5 การออกแบบการทดลองทางสถิติ (Design of Experimental).....	20
2.6 การกำหนดขนาดตัวอย่าง (Sample Size Determination).....	21
บทที่ 3 สภาพปัญหาของโรงงาน	24
3.1 กระบวนการผลิต	24
3.2 ที่มาของปัญหาและคุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ	26
3.3 การเลือกความหนา.....	27
3.4 ศึกษาปริมาณสารที่ใช้มากที่สุดถึงน้อยสุด.....	31
3.5 ศึกษาความสัมพันธ์ของวัสดุแต่ละชนิดที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งาน	40
บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	51
4.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	51
4.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมส่วนผสมและการเป่าขึ้นรูป.....	51
4.1.2 เครื่องวัด.....	53
4.2 วิธีการทดลอง.....	55
4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง	55
4.3 วิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	58
บทที่ 5 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์.....	59
5.1 ผลของการนำสาร LLDPE มาผสมกับสาร Antistatic (AS) สาร Slip Agent (SL) และ สาร Antiblocking (AB) ตามสัดส่วนต่างๆ.....	59
5.1.1 ผลการทดสอบโดยวิธี CCD.....	61
5.1.2 ผลการทดสอบโดยวิธี Fullfactorial.....	82
5.1.3 ผลการทดสอบโดยวิธี Boxbehnken.....	99
5.2 เปรียบเทียบสมการพยากรณ์ค่า COF และ Haze ของแต่ละวิธี.....	112

บทที่ 6 การหาจุดที่เหมาะสมและการทดลองเพื่อยืนยันผล	119
6.1 การหาจุดที่เหมาะสม	119
6.2 การทดลองเพื่อยืนยันผล	123
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	125
7.1 สรุปผลการทดลอง	125
7.2 อุปสรรคและปัญหาในการวิจัย	125
7.3 ข้อเสนอแนะ	126
รายการอ้างอิง	127
ภาคผนวก.....	129
ภาคผนวก ก.....	130
ภาคผนวก ข.....	147
ภาคผนวก ค.....	153
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	158



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุประเภทต่างๆ	12
ตารางที่ 2.2	ค่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อความเข้มข้นของสาร Slip Agent ที่ระดับต่างๆ (Ampacet, 2559b).....	14
ตารางที่ 3.1	ของเสียที่ลูกค้าร้องเรียนจากปัญหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในปี 2015.....	26
ตารางที่ 3.2	คุณสมบัติของฟิล์มที่ลูกค้าต้องการ สำหรับงานที่ต้องใส่สาร Antistatic.....	27
ตารางที่ 3.3	แสดงยอดขายแต่ละประเภทฟิล์มลามิเนตรายเดือน และรายปี.....	28
ตารางที่ 3.4	แสดงคุณสมบัติความต้องการของลูกค้าประเภทฟิล์มลามิเนตที่ผ่านมา.....	29
ตารางที่ 3.5	แสดงคุณสมบัติของฟิล์มลามิเนตประเภทต่างๆที่ใช้จากน้อยถึงมาก.....	30
ตารางที่ 3.6	แสดงสัดส่วนสาร LLDPE สารSlip Agent (SI) และ สาร Antiblocking (AB) ทั้งหมดที่โรงงานใช้ในสูตรต่างๆ	31
ตารางที่ 3.7	ค่าความเข้มข้นของสารเคมี	32
ตารางที่ 3.8	ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม LLDPE + Antistatic ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	32
ตารางที่ 3.9	ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ทั้ง 4 สูตรในช่วงเวลาต่างๆ	33
ตารางที่ 3.10	สรุปผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF)กับช่วงเวลาต่างๆโดยวิธี Tukey ที่สัดส่วนสาร Antistatic เท่ากับ1%.....	38
ตารางที่ 3.11	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความขุ่นของฟิล์มทั้ง 4 สูตร ที่ช่วงเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ48 ชั่วโมง.....	39
ตารางที่ 3.12	ผลการทดสอบค่าร้อยละความขุ่น ของฟิล์มที่สัดส่วน Antistatic ต่างๆ	45
ตารางที่ 4.1	ค่า Setting ต่างๆ ของเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม	55
ตารางที่ 4.2	ตารางออกแบบการทดลองที่สัดส่วนสาร Antistatic (AS),Slip Agent (SL) และ Antiblocking (AB) ในระดับต่างๆ	57

ตารางที่ 5.1	ผลของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) จากการทดลองที่ระดับปัจจัยต่างๆ	59
ตารางที่ 5.2	ผลของค่าร้อยละความขุ่น (Haze) จากการทดลองที่ระดับปัจจัยต่างๆ	60
ตารางที่ 5.3	ผลของค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface resistivity) หน่วย ; $1 \times 10^{12} \Omega$ จาก การทดลองที่ระดับปัจจัยต่างๆ	60
ตารางที่ 5.4	ระดับของปัจจัยนำเข้า โดยวิธี CCD	61
ตารางที่ 5.5	ผลการทดลองระหว่างตัวแปรตอบสนอง ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ค่า ความขุ่น (Haze) และ ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) โดยวิธี CCD..	62
ตารางที่ 5.6	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	65
ตารางที่ 5.7	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ที่เวลา 48 ชั่วโมง	71
ตารางที่ 5.8	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Haze	74
ตารางที่ 5.9	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Surface Resistivity	77
ตารางที่ 5.10	ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว หน่วย : Ω ที่มีปริมาณสาร Antistatic ระดับต่างๆ.....	78
ตารางที่ 5.11	แสดงผลการทดสอบค่าแรงดึง (Tensile Strength) และ การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของฟิล์มลามิเนต ในแนว MD และ TD	79
ตารางที่ 5.12	แสดงค่าคุณสมบัติที่ของฟิล์มลามิเนตที่ลูกค้าต้องการเทียบกับค่าเฉลี่ยจาก ตัวอย่างที่ทดลองได้.....	80
ตารางที่ 5.13	ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05.....	81
ตารางที่ 5.14	ระดับของปัจจัยนำเข้า โดยวิธี Fullfactorial	82
ตารางที่ 5.15	แสดงการออกแบบการทดลองที่ต้องทำเพิ่มโดยวิธี Full Factorial	83
ตารางที่ 5.16	ผลการทดลองระหว่างตัวแปรตอบสนอง COF , Haze และ Surface Resistivity โดยวิธี Fullfactorial	84
ตารางที่ 5.17	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า COF.....	87
ตารางที่ 5.18	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Haze	92

ตารางที่ 5.19	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Surface Resistivity.....	97
ตารางที่ 5.20	ระดับของปัจจัยนำเข้า โดยวิธี Boxbehnken	99
ตารางที่ 5.21	ผลการทดลองระหว่างตัวแปรตอบสนอง COF , Haze และ Surface Resistivity โดยวิธี Boxbehnken	99
ตารางที่ 5.22	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า COF.....	102
ตารางที่ 5.23	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Haze	107
ตารางที่ 5.24	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าความต้านทานพื้นผิว	111
ตารางที่ 5.25	สมการพยากรณ์ค่า COF และ Haze ของแต่ละวิธี.....	112
ตารางที่ 5.26	ผลการแทนค่าสมการพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	114
ตารางที่ 5.27	ผลการแทนค่าสมการพยากรณ์ค่าความขุ่น (Haze) ของแต่ละวิธี.....	115
ตารางที่ 5.28	ผลการแทนค่าสมการพยากรณ์ค่าความต้านทานพื้นผิว(Surfaceresistivity) ของแต่ละวิธี	116
ตารางที่ 5.29	สรุปผลเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์แต่ละวิธี ...	117
ตารางที่ 6.1	Response Optimization.....	120
ตารางที่ 6.2	ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม	122
ตารางที่ 6.3	แสดงค่าคุณสมบัติในด้านต่างๆของฟิล์มจากการทดลอง	123
ตารางที่ 6.4	แสดงค่าคุณสมบัติในด้านต่างๆของฟิล์มจากการทดลองเทียบกับที่ลูกค้าต้องการ	124

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	ถุง PP Bag.....	2
รูปที่ 1.2	ถุง HDPE	2
รูปที่ 1.3	ถุง LDPE และถุง LLDPE.....	3
รูปที่ 1.4	ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ฟิล์มลามิเนต	4
รูปที่ 1.5	แผนภูมิข้อมูลการผลิตทั้งหมดของโรงงานตั้งแต่เดือน มกราคม - มิถุนายน พ.ศ. 2558	4
รูปที่ 2.1	เครื่องเป่าฟิล์ม	9
รูปที่ 2.2	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)..	17
รูปที่ 2.3	เปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุพลาสติก	18
รูปที่ 3.1	การเตรียมวัตถุดิบสำหรับกระบวนการเป่า ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา.....	24
รูปที่ 3.2	กระบวนการเป่าฟิล์ม ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา.....	25
รูปที่ 3.3	กระบวนการพิมพ์ฟิล์ม ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา.....	25
รูปที่ 3.4	กระบวนการพิมพ์ฟิล์ม ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา.....	26
รูปที่ 3.5	แผนภูมิสัดส่วนประเภทของผลิตภัณฑ์ฟิล์มลามิเนต ในปี 2558	28
รูปที่ 3.6	ใบแสดงคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกชนิดLLDPE	30
รูปที่ 3.7	ใบแสดงคุณสมบัติของสาร Slip Agent.....	30
รูปที่ 3.8	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ของฟิล์ม 4 สูตร กับช่วงเวลาต่างๆ.....	34
รูปที่ 3.9	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม 4 สูตร กับช่วงเวลาต่างๆ	34
รูปที่ 3.10	กราฟการแจกแจงแบบปกติ.....	35
รูปที่ 3.11	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	36
รูปที่ 3.12	Versus Fits Plot.....	37
รูปที่ 3.13	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ของฟิล์มในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมงและ48 ชั่วโมง	39

รูปที่ 3.14	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF)ของฟิล์ม LLDPE กับสาร AS ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	40
รูปที่ 3.15	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม LLDPE กับสาร SL ที่เวลา 24 ชั่วโมง....	41
รูปที่ 3.16	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม LLDPE กับสาร AB ที่เวลา 24 ชั่วโมง..	42
รูปที่ 3.17	กราฟการแจกแจงแบบปกติ.....	43
รูปที่ 3.18	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	43
รูปที่ 3.19	Versus Fits Plot.....	44
รูปที่ 3.20	ค่า Haze ของสาร AS กับสาร LLDPE ที่สัดส่วนต่างๆ.....	46
รูปที่ 3.21	ค่า Haze ของสาร SL กับสาร LLDPE ที่สัดส่วนต่างๆ.....	46
รูปที่ 3.22	ค่า Haze ของสาร AB ของฟิล์ม LLDPE ที่สัดส่วนต่างๆ	47
รูปที่ 3.23	datasheet Antistatic ที่มา Ampacet.com.....	47
รูปที่ 3.24	ค่า Surface Resistivity ของฟิล์มที่ สาร Antistatic (AS) กับLLDPE สัดส่วนต่างๆ (ฐาน 1×10^{12})	48
รูปที่ 3.25	ค่า Surface Resistivity ของฟิล์มที่ สาร Slip Agent (SL) กับLLDPE สัดส่วนต่างๆ (ฐาน 1×10^{12})	49
รูปที่ 3.26	ค่า Surface Resistivity ของฟิล์มที่ สาร Antiblocking (AB) กับ LLDPE สัดส่วนต่างๆ (ฐาน 1×10^{12})	50
รูปที่ 4.1	เครื่องเป่าฟิล์มแบบ 1 สกรู	51
รูปที่ 4.2	เครื่องชั่ง	52
รูปที่ 4.3	เครื่องวัดความหนา	52
รูปที่ 4.4	เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม Model SDT-100.....	53
รูปที่ 4.5	เครื่องวัดความต้านทานพื้นผิว รุ่น PRS-812	53
รูปที่ 4.6	เครื่องมือทดสอบแรงดึง Model LRX-Plus.....	54
รูปที่ 4.7	เครื่องวัดความใสหรือขุ่นมัวของฟิล์ม Model Haze-Gard plus.....	54
รูปที่ 4.8	เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม.....	148
รูปที่ 4.9	การสอบเทียบของเครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม	148

รูปที่ 4.10	การใช้งานเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม	149
รูปที่ 4.11	การใช้งานเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม	149
รูปที่ 4.12	วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวโดยเครื่องวัดความต้านทานพื้นผิว	150
รูปที่ 4.13	ตำแหน่งการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวโดยเครื่องวัดความต้านทานพื้นผิว.....	150
รูปที่ 4.14	การหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของพื้นผิวของวัสดุ	151
รูปที่ 4.15	วิธีการวัดค่าความขุ่นมัวของฟิล์ม	152
รูปที่ 4.16	ตำแหน่งการวัดความใสหรือขุ่นมัวของฟิล์ม	152
รูปที่ 5.1	กราฟการแจกแจงแบบปกติ	63
รูปที่ 5.2	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล.....	64
รูปที่ 5.3	Versus Fits Plot	64
รูปที่ 5.4	Main Effect Plot ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ที่เวลา 24 ชั่วโมง	66
รูปที่ 5.5	Main Effect Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง	67
รูปที่ 5.6	Interaction Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	67
รูปที่ 5.7	Surface Plots ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ที่เวลา 24 ชั่วโมง	68
รูปที่ 5.8	กราฟการแจกแจงแบบปกติ	69
รูปที่ 5.9	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล.....	70
รูปที่ 5.10	Versus Fits Plot	70
รูปที่ 5.11	กราฟการแจกแจงแบบปกติ.....	72
รูปที่ 5.12	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	73
รูปที่ 5.13	Versus Fits Plot.....	73
รูปที่ 5.14	Main Effect Plot ของค่า Haze.....	75
รูปที่ 5.15	กราฟการแจกแจงแบบปกติ.....	76
รูปที่ 5.16	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	76
รูปที่ 5.17	Versus Fits Plot.....	77

รูปที่ 5.18	กราฟ I Chart ของค่าความเค้นและความเครียดตามแนว MD และ TD	81
รูปที่ 5.19	กราฟการแจกแจงแบบปกติ	85
รูปที่ 5.20	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	86
รูปที่ 5.21	Versus Fits Plot	86
รูปที่ 5.22	Main Effect Plot ของค่า COF	88
รูปที่ 5.23	Interaction Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	89
รูปที่ 5.24	Surface Plots ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	90
รูปที่ 5.25	กราฟการแจกแจงแบบปกติ	91
รูปที่ 5.26	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	91
รูปที่ 5.27	Versus Fits Plot.....	92
รูปที่ 5.28	Main Effect Plot ของค่า Haze.....	94
รูปที่ 5.29	Interaction Plot ของค่า Haze.....	94
รูปที่ 5.30	กราฟการแจกแจงแบบปกติ.....	95
รูปที่ 5.31	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	96
รูปที่ 5.32	Versus Fits Plot	97
รูปที่ 5.33	Main Effect Plot ของค่า Surface Resistivity	98
รูปที่ 5.34	กราฟการแจกแจงแบบปกติ	100
รูปที่ 5.35	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	101
รูปที่ 5.36	Versus Fits Plot.....	101
รูปที่ 5.37	Main Effect Plot ของค่า COF	103
รูปที่ 5.38	Interaction Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	103
รูปที่ 5.39	Surface Plots ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	104
รูปที่ 5.40	กราฟการแจกแจงแบบปกติ.....	105
รูปที่ 5.41	กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	106

รูปที่ 5.42 Versus Fits Plot.....	106
รูปที่ 5.43 Main Effect Plot ของค่า Haze.....	108
รูปที่ 5.44 Interaction Plot ของค่า Haze.....	109
รูปที่ 5.45 กราฟการแจกแจงแบบปกติ.....	110
รูปที่ 5.46 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล	110
รูปที่ 5.47 Versus Fits Plot.....	111
รูปที่ 6.1 Optimization Plot.....	121
รูปที่ 6.2 Optimization Plot.....	122



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมพลาสติกมีบทบาทต่อชีวิตประจำวัน และเศรษฐกิจของประเทศไทย เราเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากสถิตินำเข้า - ส่งออก ผลิตภัณฑ์พลาสติกของไทยในปี 2557 ซึ่งมีมูลค่านำเข้าสูงถึง 127,950 ล้านบาท และส่งออก 122,604 ล้านบาท (อุตสาหกรรมพลาสติก ของไทยและสากล (Plastics Intelligence Unit, 2559)) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นตัวเลขที่สูงมาก ดังนั้นเราควรให้ความสำคัญในการพัฒนา อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศของเรา เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิต และความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อการพัฒนา อุตสาหกรรมของประเทศ

อุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติก เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ ของประเทศไทย เนื่องจากความต้องการใช้พลาสติกภายในประเทศ และต่างประเทศมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยที่อุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติก มีกระบวนการขึ้นรูปที่หลากหลาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ ที่เหมาะกับการใช้งาน เช่น การฉีด การรีด การดึง และการเป่า หลังจากกระบวนการขึ้นรูปแล้ว พลาสติกจะแข็งตัวจากนั้นเราจะทำการตกแต่งผลิตภัณฑ์ เช่น การพ่นสี การพิมพ์ลาย การตัดแต่ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามโรงงานอุตสาหกรรมพลาสติกที่มีจำนวนมากและเกิดการแข่งขันกันสูงขึ้น เราจึงควรให้ความสำคัญในการศึกษาอุตสาหกรรมประเภทการผลิตพลาสติก เพื่อให้การดำเนินการผลิตมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อที่จะได้แข่งขันกันกับโรงงานทั้งในและต่างประเทศได้ และเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตทำให้เกิดกำไรมากยิ่งขึ้น

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาก่อตั้งขึ้นตั้งแต่ปี 2520 โดยการดำเนินธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถุงพลาสติกซึ่งกลุ่มลูกค้าหลักคือในประเทศไทย และยังส่งออกไปประเทศ ญี่ปุ่นและออสเตรเลียอีกด้วย บริษัทได้ดำเนินกิจการมาด้วยทุนจดทะเบียน 100 ล้านบาท ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของพลาสติกที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลักออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. ถุง PP Bag หรือ ถุงร้อน ผลิตจากเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพลีพีน (Polypropylene : PP) ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นในด้านความใส ทนความร้อน มีจุดหลอมเหลวในการผลิตสูงประมาณ 230 องศา

ซีลเซียส ป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี ทนต่อสารเคมี และไม่มีกลิ่น สามารถใช้บรรจุอาหารและยาได้



รูปที่ 1.1 ถุง PP Bag

2. ถุง HDPE Bag และถุงหิ้ว ผลิตจากเม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) ซึ่งมีความหนาแน่นสูง จึงมีคุณสมบัติทนต่อแรงกระแทก และแรงฉีกขาดได้ดี มีความแข็งทำให้ได้รูปทรงที่ดี ผิวมีความเรียบเนียน ไม่มีกลิ่นเหมาะสำหรับการใช้งานเป็นถุงหิ้ว ถุงอุตสาหกรรม และถุงรองใน



รูปที่ 1.2 ถุง HDPE

3. ถุง LDPE และ ถุง LLDPE ผลิตจากเม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) และเม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene : LLDPE) มีลักษณะ ค่อนข้างใส ยืดหยุ่นได้พอควร ป้องกันความชื้นผ่านเข้าออกได้ เนื้อฟิล์มมีความเหนียว ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ทนต่อแรงกระแทก และการฉีกขาดได้ดี อีกทั้งไม่มึนกลิ่น สามารถใช้บรรจุอาหารและยาได้ เหมาะสำหรับการใช้งานเป็นถุงเย็น เช่น ถุงใส่ผัก ผลไม้ ถุงใส่ อาหารสด โดยแช่แข็งได้ถึง -70 องศาฟาเรนไฮต์และเป็นฟิล์มเพื่อใช้ในการเกษตร



รูปที่ 1.3 ถุง LDPE และถุง LLDPE

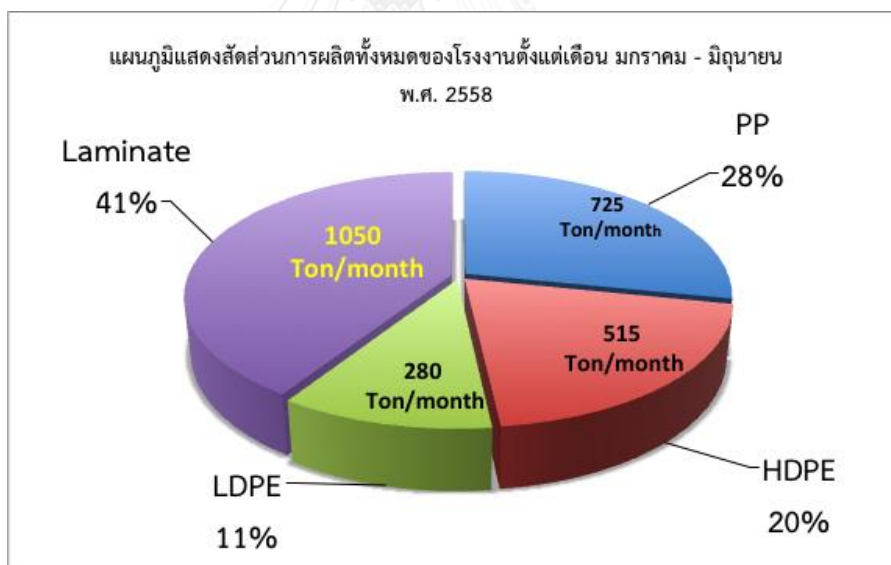
4. ฟิล์มลามิเนต ผลิตจากเม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น หรือ LLDPE ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในงานลามิเนตนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่ก้าวล้ำเทคโนโลยี โดยมีคุณสมบัติในด้านความแข็งแรงและให้ค่า Lamination หรือค่าการยึดเกาะที่ดีเยี่ยม ทนต่อแรงกระแทกและแรงฉีกขาดได้ดี ให้ความโปร่งใสและสวยงาม โดยให้ปริมาณ ผลผลิตที่สูงกว่าและสามารถนำฟิล์มไปขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ เหมาะกับบรรจุภัณฑ์สินค้าประเภทต่างๆ เช่น ซองขนมขบเคี้ยว ซองแฮมพูและถุงบรรจุรับน้ำหนักสูง เช่น ถุงใส่เม็ดพลาสติก เป็นต้น



รูปที่ 1.4 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ฟิล์มลามิเนต
ที่มา: บรรจุกภัณฑ์ลามิเนตจาก บจก.พีรีแพค ประเทศไทย

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการผลิตฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในงานลามิเนต ถือว่าเป็นกำลังการผลิตหลักของโรงงาน และยังใช้เงินทุนในการดำเนินการสูงกว่าการผลิตพลาสติกประเภทอื่นๆอีกด้วย



รูปที่ 1.5 แผนภูมิข้อมูลการผลิตทั้งหมดของโรงงานตั้งแต่เดือน มกราคม - มิถุนายน พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 1.5 จึงจะเห็นได้ว่าฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในงานลามิเนต ในระยะเวลา 6 เดือน มีปริมาณ การผลิตสูงถึง 5,228,345.1 กิโลกรัม คิดเป็น 41 เปอร์เซ็นต์ ของการผลิตทั้งหมด ผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณา ของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ฟิล์มลามิเนต ซึ่งมีจากหลายสาเหตุ แต่สาเหตุที่พบของเสีย

มากที่สุดคือปัญหาเรื่องผลิตฟิล์มไม่ตรงกับความต้องการของลูกค้า โดยจะเกิดของเสียตั้งแต่ขั้นตอนการเป่าตัวอย่าง

หลังจากพิจารณาชนิดของผลิตภัณฑ์ได้แล้วจึงมาดูกระบวนการผลิตของโรงงาน พบว่า ทางโรงงาน มีการผลิตแบบตามคำสั่งซื้อของลูกค้า โดยลูกค้าเป็นผู้กำหนดคุณภาพฟิล์มในด้านต่างๆ โดยที่โรงงานจะมีแผนกวิจัยและพัฒนา คอยออกแบบสูตรการผลิตให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ เมื่อทางแผนกวิจัยและพัฒนาออกแบบสูตรแล้วจึงนำมาทดลองเป่า และนำฟิล์มที่ได้ไปวิเคราะห์ ส่งผลให้ลูกค้า ถ้าได้คุณภาพที่ต้องการก็สามารถดำเนินการผลิต แต่ถ้าไม่ได้ต้องหาสาเหตุ และไปออกแบบสูตรใหม่ เมื่อเราได้ฟิล์มตามต้องการแล้ว ในแต่ละวันก็จะมีการสุ่มตรวจสอบคุณภาพ ฟิล์มทุกครั้ง ก่อนการจัดส่งไปถึงลูกค้า

ในการเป่าฟิล์มจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูปหรือทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เมื่อนำไปใช้งาน เช่น สารหล่อลื่นช่วยทำให้ฟิล์มลื่นขึ้น โดยการลดแรงเสียดสีของ ฟิล์ม สาร Antistatic ช่วยลดการต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของฟิล์ม ขจัดปัญหาไฟฟ้าสถิต ที่เกิดจากการ เสียดสีเป็นต้น ซึ่งการใส่สารเติมแต่งเหล่านี้ ต้องใส่ในปริมาณที่เหมาะสม เพราะถ้าใส่มากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของฟิล์ม และเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต หรือถ้าใส่น้อยเกินไป ก็ไม่ได้คุณสมบัติฟิล์มตามที่ต้องการ

ในปัจจุบันมียอดคำสั่งซื้อจากลูกค้ารายใหม่ที่ต้องการให้ใส่สาร Antistatic เพื่อนำฟิล์มไป ใช้ลามิเนตในงานผง เมื่อแผนกวิจัยและวางแผน ออกแบบสูตร และเป่าทดลอง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ไม่เป็นไปตามที่ต้องการทำให้เกิดของเสียจากการทดลองหลายครั้ง เกิดของเสียประมาณ 500 กิโลกรัมต่อครั้ง สูตรที่ลูกค้ารายใหม่ต้องการล่าสุดทดลองเป่าไป 4 ครั้ง เกิดของเสีย 2,500 กิโลกรัม จึงทำการหาสาเหตุพบว่า เมื่อมีงานใหม่เกิดขึ้นมา การออกแบบสูตร ของแผนกวิจัยและวางแผน จะดูข้อมูลเก่าอ้างอิงว่า สูตรที่ใกล้เคียงกับที่ลูกค้าต้องการต้องใส่ วัตถุประสงค์อะไรบ้าง ปริมาณเท่าใด โดยการประมาณจากประสบการณ์ เมื่อประมาณจากประสบการณ์ ทำให้เกิดความไม่แน่นอน จึงทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย และเกิดของเสียจากการทดลองเป่า ตัวอย่างเป็นจำนวนมาก

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลระหว่างสาร Slip Agent สาร Anti-blocking และ สาร Antistatic ในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งานของฟิล์ม ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of Friction : COF) แรงดึง (Tensile) ความขุ่น (Haze) และ ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการเป่าขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น
2. ตัวชี้วัดที่ใช้คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน แรงดึง ความขุ่น และ ค่าความต้านทานพื้นผิว

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างสาร Slip Agent สาร Antiblocking และ สาร Antistatic ที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน แรงดึง ความขุ่น และ ค่าความต้านทานพื้นผิว
2. ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่าความขุ่น และ ค่าความต้านทานพื้นผิวตามที่ต้องการ
3. มาตรฐานการปฏิบัติงานที่ช่วยลดของเสีย เนื่องจากคุณสมบัติของฟิล์มไม่ตรงตามที่ลูกค้าต้องการ
4. สามารถช่วยในการพัฒนาสูตรการผลิตฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่าความขุ่น และ ค่าความต้านทานพื้นผิวตามที่ลูกค้าต้องการ
5. รู้ความสัมพันธ์ระหว่างสาร Slip Agent สาร Antiblocking และสาร Antistatic
6. เพิ่มความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า
7. ลดต้นทุนความสูญเสียจากของเสียประเภทค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และของเสียจากการทดลองเป่าของตัวอย่าง
8. เป็นแนวทางในการออกแบบสูตรในผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. นิยามปัญหา
 - 2.1 ศึกษากระบวนการผลิตถุงพลาสติกและรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการผลิต
 - 2.2 กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย ตัวชี้วัด และระยะเวลาของโครงการ
3. ออกแบบและทำการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลอง โดยการกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่ ได้แก่ เครื่องจักร พนักงาน คุมเครื่องจักร ความหนาชิ้นงาน อุณหภูมิหลอมเหลว ความเร็วรอบสกรู ความเร็ว ลูกกลิ้งหนาบาง ตัวแปรตามที่ต้องการทราบคือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน แรงดึง ความชุ่ม และ ค่าความต้านทานพื้นผิว ตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษาคือ สาร Antistatic สาร Slip Agent และ สาร Antiblocking ความเข้มข้น 5 ระดับ

4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
5. นำผลที่ได้ไปทดลองเป่าจริงตามค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต้องการ
6. ทำการสรุปผลการวิจัย
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



บทที่ 2

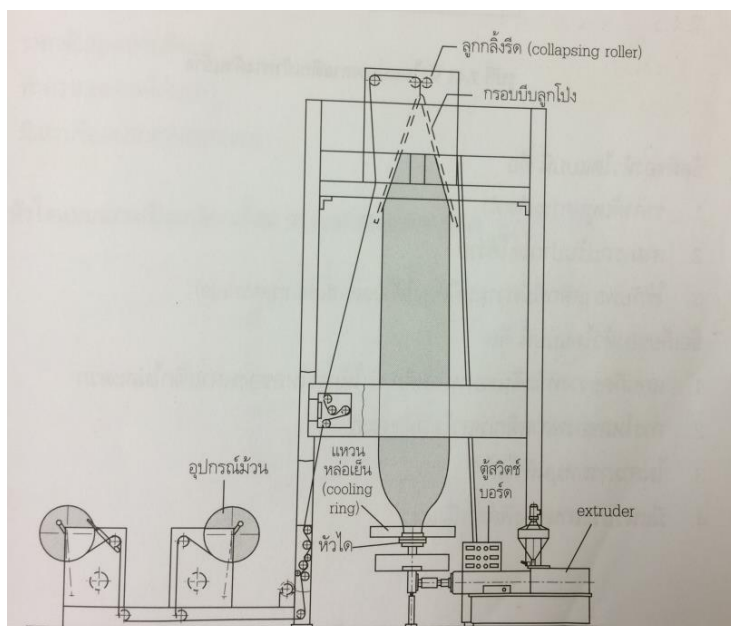
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Linear Low Density Polyethylene

Linear Low Density Polyethylene เป็นพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ใช้ผลิตแผ่นฟิล์มเพื่อใช้ในการบรรจุอาหาร โดยใช้ร่วมกับวัสดุอื่นเป็นวัสดุประสาน (Laminate) สำหรับบรรจุอาหาร และบรรจุผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้เป็นชั้นหรือตัวกลางปิดผนึก (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2559)

2.2 กระบวนการเป่าฟิล์ม

บรรเลง ได้กล่าวถึง กระบวนการเป่าฟิล์มว่าเป็นการแปรรูปพลาสติกแบบต่อเนื่อง โดยมี ส่วนประกอบหลักของเครื่องเป่าฟิล์ม 5 ส่วนคือ 1. เครื่องเอกซ์ทรูด (Extruder) 2. หัวไดน์ (Die Unit) 3. ส่วนหล่อเย็นและรองรับลูกโป่ง (Cooling and Calibration Unit) 4. ส่วนดึง (Haul-off unit) 5. ส่วนม้วนเก็บ (Wind-up or Winder) เริ่มกระบวนการเป่าจากการเอกซ์ทรูดของ เทอร์โมพลาสติกหลอม หลังจากนั้นดึงท่อพลาสติกในแนวแกนของการเอกซ์ทรูด แล้วใช้ลมเป่าทอ ในขณะเดียวกัน ทำให้พลาสติกหลอมพองออกในแนวรัศมีเกิดลูกโป่ง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของ ลูกโป่ง จะมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวตายหลายเท่า แล้วจึงถูกหล่อเย็นด้วยลมเป่าที่ผิว ด้านนอก โดยหัวเป่ามีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่ด้านนอก(Cooling Ring) ลูกโป่งจะถูกปรับให้มีขนาด เหมาะสม และอยู่ในส่วนช่วยพุงฟิล์ม หลังจากนั้นรวบลูกโป่งโดยป้อน ผ่านแผ่นโลหะ และป้อนเข้า ระหว่างช่องว่างลูกกลิ้ง 2 ตัว (Nip Rolls) ทำให้ลูกโป่งแบนลงเป็นฟิล์ม 2 ชั้น หลังจากนั้นทำการ ดึงฟิล์ม โดยใช้หน่วยดึง (Haul-Off Unit) สุดท้ายฟิล์มจะถูกพันเป็นม้วน ด้วยตัวม้วนฟิล์ม (Winder) แล้วนำไปทำผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นลักษณะของเครื่องผลิตฟิล์ม โดยการ เป่า หลังจากทีกระบวนการผลิตฟิล์มสมบูรณ์แล้ว ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเป่าคือ ความเร็วสกรู อัตรา ดึง (บรรเลง ศรีนิล, 2546)



รูปที่ 2.1 เครื่องเป่าฟิล์ม

การผลิตฟิล์มหลายชั้นโดยวิธีการเป่า (Multi-Layers Blown Film) เนื่องจากความต้องการในการใช้ฟิล์มในลักษณะพิเศษ จึงมีการพัฒนาการผลิตฟิล์ม แบบหลายชั้นขึ้นมาใช้ โดยแต่ละชั้น จะมีคุณสมบัติเฉพาะ เมื่อนำมาเรียงกันหลายๆชั้น จะมีคุณสมบัติ ได้ครบตามต้องการ เช่น ป้องกัน การซึมผ่านของก๊าซ ป้องกันการซึ่กผ่านของความชื้น ความใส มีความเหนียวสูง

2.3 สารเติมแต่ง (Additive)

พลาสติกที่ได้จากการสังเคราะห์ส่วนใหญ่ ยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ ต้องเติมสารเติมแต่ง จึงสามารถนำเข้าไป กระบวนการขึ้นรูปได้ จึงเรียกว่าเม็ดพลาสติกผสม (Compound) เม็ดพลาสติก ที่จำหน่ายส่วนใหญ่ มีการผสมสารเติมแต่งไว้แล้ว แต่เมื่อเราต้องนำมาขึ้นรูปก็ต้องมี การเติมสาร เติมแต่งและสารเสริมหน้างานขึ้นรูป ซึ่งสารเติมแต่งที่สำคัญมีดังนี้ สารทำให้อ่อนตัว (Softener) สารทำให้เสถียร (Stabilizer) สารหล่อลื่น (Lubricant) สารสี (Colorant) สาร Antistatic สารทำให้เกิดโฟม (Foaming Agent) สารต้านทานการติดไฟ (Flame Retardant)

2.3.1 สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic Agents)

กิตติพงษ์ กล่าวถึงความสำคัญ ของสารเติมแต่งชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ว่า การเกิดไฟฟ้าสถิตย์เป็นปัญหาหนึ่ง ที่สำคัญในกระบวนการแปรรูปพลาสติก เพราะพลาสติกมี คุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า เมื่ออยู่ในกระบวนการผลิตหรือการแปรรูปจะเกิดการเสียดสีกับโลหะ ทำให้ เกิดการสะสมของประจุไฟฟ้า (Electron) และคุณสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้า จึงทำให้พลาสติก มีการถ่ายเทประจุไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก เป็นสาเหตุให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ขึ้น เมื่อเกิดไฟฟ้าสถิตย์จะเกิด แรงดึงดูดให้ฝุ่นที่อยู่รอบๆชิ้นงานไปเกาะที่ผิวของชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานเก่าเร็วและ ไม่สวยงาม การสะสมของประจุไฟฟ้าจำนวนมาก อาจเกิดประกายไฟเมื่อสัมผัสกับโลหะ หรือวัสดุที่เป็นตัวนำ ไฟฟ้าอื่นๆ และอาจทำให้เกิดการระเบิด หรือเกิดเพลิงไหม้ได้เมื่อมีเชื้อเพลิงอยู่บริเวณรอบ สำหรับ สาเหตุความรุนแรงของปัญหาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย คือ วิธีการขึ้นรูปชิ้นงาน สภาพแวดล้อม การผลิต อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ชนิดของพลาสติก รวมถึงสภาพอากาศ สำหรับสารเติมแต่งที่นำมา แก้ปัญหาคือ สาร Antistatic เป็นสารเคมี ที่เราใส่ในพลาสติก ในกระบวนการแปรรูป เพื่อช่วยลด การเกิดไฟฟ้าสถิตย์ โดยใช้หลักการนำพา อิเล็กตรอนจากชิ้นงานออกสู่ สิ่งแวดล้อม ทำให้ประจุไฟฟ้า ที่สะสมในพลาสติกลดลง โดยการเลือก ใช้สาร Antistatic ต้องพิจารณาจากชนิดของพลาสติก และ การนำไปใช้งานของพลาสติกเป็นสำคัญ (กิตติพงษ์ คุ่มทรัพย์ & หิรัญวิวัฒน์กุล, 2554)

ประเภทของสาร Antistatic แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. สารAntistatic แบบชั่วคราว (Temporary Antistatic) มีหลักการทำงานคือแพร่ออกมาที่ผิวของพลาสติก และจับตัวกับโมเลกุลของน้ำในอากาศ ให้มาอยู่ที่ผิวของพลาสติกเพื่อให้ประจุ ไฟฟ้าออกมาได้ เมื่อเติมสารประเภทนี้เยอะเกินไป มีผลทำให้มีลักษณะเยิ้มๆที่ผิวของ พลาสติก และมีระยะเวลาการทำงานสั้น
2. สารAntistatic แบบถาวร (Permanent Antistatic) มีหลักการทำงานโดยการสร้างเครือข่ายในเนื้อของพลาสติก ที่ประจุไฟฟ้าสามารถเดินทางผ่านได้ จึงถ่ายเทประจุสู่สิ่งแวดล้อม และมีระยะเวลาการทำงานตลอดอายุของพลาสติกชนิดนั้น

สำหรับการวัดประสิทธิภาพของสาร Antistatic ทำได้โดย การวัดความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistance Measurement) ซึ่งค่า Surface Resistivity ที่ได้มีหน่วยเป็น Ω การวัดประเภทนี้ จะเป็นการวัดว่าวัสดุต่างๆ สามารถที่จะเป็นวัสดุที่ ป้องกันไฟฟ้าสถิตได้หรือไม่ เหมาะสำหรับผู้ผลิต อุปกรณ์สำหรับป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ เช่น ถุงมือป้องกันไฟฟ้าสถิต, รองเท้าป้องกันไฟฟ้าสถิต, เสื้อผ้า

ป้องกันไฟฟ้าสถิต, กล่องใส่อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิต, แผ่นพลาสติกป้องกันไฟฟ้าสถิต แผ่นกระดาษป้องกันไฟฟ้าสถิต ฯลฯ

ไฟฟ้าสถิตย์ หรือ ESD (Electrostatic Discharge) คือ การที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุไม่เท่ากันทำให้เกิดแรงดึงดูดเมื่อวัตถุทั้งสองชั้นมีประจุต่างชนิดกัน และจะเกิดแรงผลักกันเมื่อวัสดุทั้งสองชั้นมีประจุชนิดเดียวกัน เราสามารถสร้างไฟฟ้าสถิตย์โดยการนำผิวสัมผัสของวัสดุสองชั้นมาขัดสีกัน พลังงานที่เกิดจากการขัดสีกัน ทำให้ประจุไฟฟ้าบนผิววัสดุเกิดการแลกเปลี่ยนกัน โดยจะเกิดกับวัสดุประเภทที่ไม่นำไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า ฉนวน ตัวอย่างเช่น ยาง, พลาสติก และแก้ว สำหรับวัสดุประเภทที่นำไฟฟ้านั้นโอกาสเกิดปรากฏการณ์ประจุไฟฟ้าบนผิววัสดุไม่เท่ากันนั้นยากแต่ก็สามารถเกิดขึ้นได้ เช่น กรณีที่ผิวโลหะถูกกระแทกด้วยของแข็ง หรือของเหลว ที่ไม่เป็นตัวนำ ประจุที่เกิดการเคลื่อนย้ายระหว่างการสัมผัสจะถูกเก็บบนผิวของวัสดุทั้ง 2 ชั้น

การนำไฟฟ้าของวัสดุแต่ละประเภท

1. วัสดุประเภทตัวนำไฟฟ้า (Conductive Materials) คือ วัสดุที่มีค่าต้านทานไฟฟ้าที่ผิว หรือ Surface Resistivity น้อยกว่า $1 \times 10^5 \Omega$ ยิ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ประจุไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้มาก ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถไหลไปยังวัสดุอื่นที่มาสัมผัสได้
2. วัสดุกึ่งตัวนำไฟฟ้า หรือ วัสดุประเภทที่สามารถถ่ายเทประจุได้ (Dissipative Materials) คือ วัสดุ ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว หรือ Surface Resistivity ตั้งแต่ $1 \times 10^5 \Omega$ แต่น้อยกว่า $1 \times 10^9 \Omega$ สำหรับวัสดุประเภทนี้ ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถไหลไปยังวัสดุอื่นได้อย่างช้าๆ ซึ่งสามารถควบคุมได้ง่ายกว่าในวัสดุประเภทตัวนำ
3. วัสดุประเภทฉนวน (Insulative Material) คือ วัสดุที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว หรือ Surface Resistivity มากกว่าหรือเท่ากับ $1 \times 10^{12} \Omega$

สามารถสรุปค่าเป็นตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุประเภทต่างๆ

ประเภทวัสดุ	ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว (Surface Resistivity) Ω
ตัวนำไฟฟ้า (Conductive Materials)	$< 1 \times 10^5$
กึ่งตัวนำไฟฟ้า (Dissipative Materials)	$\geq 1 \times 10^5, < 1 \times 10^{12}$
ฉนวน (Insulative Material)	$\geq 1 \times 10^{12}$

การทำงานของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

สมศักดิ์ กล่าวไว้ว่า เมื่อนำสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ มาช่วยลดประจุไฟฟ้าบนพลาสติก โดยมีวิธีในการป้องกันการสะสมของประจุดังนี้

1. ลดการเกิดประจุด้วยการลดแรงเสียดทาน โดยที่สาร Antistatic ทำหน้าที่เหมือน สารหล่อลื่นให้กับผิว จึงช่วยลดแรงเสียดทานและลดการสร้างตัวของไฟฟ้าสถิตย์ แต่เนื่องจาก ประจุส่วนมาก เกิดจากการสัมผัสมากกว่าการถู วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม
2. การต่ออุปกรณ์ในกระบวนการลงดิน วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อ อุปกรณ์เกิดประจุ เมื่อมีการต่อสายลงดินของลูกกลิ้งกระดาษจึงไม่เพียงพอ เนื่องจากกระดาษมีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ
3. ใช้ตัวกำจัดประจุ (Static Eliminators) เพิ่มการนำไฟฟ้าในอากาศที่อยู่ล้อมรอบ โดยทำให้อากาศเกิดการแตกตัว โดยนำมาวางใกล้กับวัสดุที่ทำให้เป็นกลาง
4. เพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าของพลาสติก โดยการเพิ่มความชื้น ของอากาศที่อยู่โดยรอบ การนำไปใช้กับสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ โดยความชื้นไม่ได้ทำให้อากาศเกิดการนำไฟฟ้า แต่ช่วยลดไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดจากการดูดกลืนของวัสดุที่ใช้

ทั้งนี้ สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์จัดเป็นสารที่เติมลงในพลาสติก เพื่อลดการเกิดประจุสถิตย์ทางไฟฟ้า (Electrostatic Charge) ไม่ว่าจะเป็นการลดการเกิดประจุ หรือเพิ่มการนำไฟฟ้าของวัสดุหรือทั้งสองกลไก แต่โดยส่วนมากจะเป็นแบบกลไกที่สองมากกว่า โดยสารที่มี การนำไฟฟ้าสูง อาจอยู่ในรูป สารละลายอีเล็กโทรไลต์ เกลือหลอมเหลว โลหะ หรือสารกึ่งตัวนำ และการใช้สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรให้เกิดที่ผิวมากกว่าจะให้เกิดในมวลของวัสดุ (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2547)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chow W. S., ทำการศึกษาผลกระทบ ของสาร Antistatic ที่ความเข้มข้น 3 , 6 และ 9% ต่อ สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกายภาพ และค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) ในพลาสติก PP และ (PP/OMMT) โดยใช้เครื่องฉีดพลาสติกแบบ 2 สกรู พบว่า สาร Antistatic มีผลกระทบเล็กน้อยในบางกรณี อย่างไม่มีนัยสำคัญ สำหรับค่า Tensile modulus , Strength , Elongation at break , และ Impact Strength จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติพบว่า ค่าความต้านทานพื้นผิว มีความสัมพันธ์กับ ความเข้มข้นของสาร Antistatic ซึ่งให้ค่าความต้านทานพื้นผิว ไม่แตกต่างกัน เมื่อเวลาปัจจุบัน และผ่านไป 3 เดือน หรือ 6 เดือน (Chow W. S., 2009)

คุณาลยา ได้ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติเชิงไฟฟ้า เมื่อเติมสาร นำไฟฟ้า 2 ชนิด คือพอลิไพร์โรล (Polypyrrole, PPy) และคาร์บอนแบล็ก ลงใน LLDPE พบว่า ทั้งประกอบคาร์บอนแบล็ก และ สารประกอบ PPy ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ร้อยละความเป็นผลึก และค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น และที่ความเข้มข้นเท่ากัน สารประกอบ คาร์บอน แบล็ก มีความแข็งแรง และร้อยละความเป็นผลึกมากกว่าสารประกอบ PPy ทั้งสองสาร ได้เปลี่ยน สมบัติทางไฟฟ้าของ LLDPE จากฉนวนเป็นการกระจายไฟฟ้าสถิต มีประโยชน์คือ สามารถประยุกต์ ใช้งานในการบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ เพราะมีค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสม(คุณาลยา สถานสถิต & ศศิโรจน์ ชูสกุล, 2554)

วัชรภรณ์ ทำการศึกษาว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีความสามารถนำไฟฟ้า คือ ผงเส้นใยมะพร้าวและพอลิสไตรีนทนแรงกระแทกสูง (HIPS) ที่ผงเส้นใยมะพร้าว และผงเขม่าดำ(CB) ปริมาณต่างๆ โดยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณCB 5 phr เป็น ปริมาณต่ำสุดที่สามารถเปลี่ยน คุณสมบัติความเป็นฉนวนของ HIPS ไปเป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่พื้นผิว (Surface Resistivity) เท่ากับ $1.2 \times 10^7 \Omega$ เกิดจากการรวมตัวของ อนุภาค CB ในรูปแบบสายโซ่ โดยเมื่อแต่ละสายโซ่รวมกันเป็นรูปแบบตาข่าย จึงช่วยให้อิเล็กตรอน สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างทั่วถึงภายในเนื้อพอลิเมอร์ สำหรับสมบัติเชิงกล การเติม CB ทำให้ค่ามอดุลัสและการทนแรงดึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความทนแรงกระแทกลดลง จึงสรุปว่าวัสดุเชิงประกอบที่มี CB 5 phr

และผงเส้นใยมะพร้าว 9 phr มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมและความต้านทานไฟฟ้าที่พื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ $4.15 \times 10^5 \Omega$ (วัชรภรณ์ พลแสน, 2549)

2.3.2 สารหล่อลื่น (Slip Agent)

สาร Slip Agent เป็นสารเติมแต่งที่ใส่ในกระบวนการแปรรูปพลาสติก หรือฟิล์ม เพื่อแก้ปัญหา ความผิดของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มลื่นขึ้นเพื่อที่จะได้นำฟิล์มไปใช้ในกระบวนการต่อไป สาร Slip Agent คือ Amides ซึ่งแบ่งการแพร่เป็น 2 ประเภทคือ Fast Bloom (Oleamide) และ Slow Bloom (Erucamide) การใช้งานส่วนมากจะใช้คู่กับสาร Antiblocking เพื่อเป็นการช่วยทำให้ฟิล์มลื่น และไม่ติดกัน การวัดค่าความผิดหรือความลื่นของฟิล์ม คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน หาได้จากการวัดแรงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ โดยค่าที่ได้คร่าวๆ จะขึ้นอยู่กับปริมาณการใส่สาร Slip Agent ความหนาของฟิล์ม และชนิดของเม็ดพลาสติกที่ใช้ โดยแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อความเข้มข้นของสาร Slip Agent ที่ระดับต่างๆ (Ampacet, 2559b)

Definition	Coefficient of Friction	PPM Slip Content
Low Slip	0.50 – 0.80	200 – 400
Medium Slip	0.20 – 0.40	500 – 600
High Slip	0.05 – 0.20	700 – 100

การทำงานของ Slip agent จะแพร่ไปที่ผิวของฟิล์มหลังจากกระบวนการเอ็กทูดชั้น ประเภทของสาร Slip Agent ที่แตกต่างกัน จะมีผลต่ออัตราการแพร่ และการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน การแพร่ของสาร Slip Agent ที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยที่สุด ใช้เวลาประมาณ 7-10 วัน หลังจากกระบวนการเอ็กทูดชั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร Slip Agent และ หลังจากกระบวนการเอ็กทูดชั้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะเริ่มลดลง 24 – 48 ชั่วโมง โดยทั่วไป สายของ Amides ที่เป็นลักษณะสายสั้น ไม่ทนความร้อน จะแพร่ไปที่ผิวของฟิล์มได้อย่างรวดเร็ว ส่วนสายของ Amides ที่เป็นลักษณะสายยาว จะแพร่ไปที่ผิวของฟิล์มได้ช้า และทนความร้อนสูง โดยการผลิตฟิล์มส่วนมากนิยมใช้การแพร่แบบช้าเพราะเมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียด

ทานต่ำมากจะ ทำให้การเข้าม้วนเป็นไปได้ยาก เนื่องจากฟิล์มลื่นเกินไป และถ้าเราใส่สาร Slip Agent ในอัตราส่วนที่มากเกินไป จะทำให้การระเบิดผิวยาก

2.3.3 สาร Antiblocking

Antiblocking เป็นสารเติมแต่งที่ใส่ในกระบวนการแปรรูปพลาสติก หรือฟิล์ม เพื่อช่วยการเปิด ปากถุงให้ง่ายขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และการใช้งานของลูกค้าปลายทาง Antiblocking ประกอบด้วย Natural Silica และ LDPE ปริมาณการนำไปใช้ ขึ้นอยู่กับความหนา และชนิดฟิล์ม ถ้า ความหนาน้อยกว่า 50 ไมครอน ต้องผสมมากกว่า 1% แต่ถ้ามากกว่า 50 ไมครอน ต้องผสม 0.5 - 1% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มด้วย และอาจใช้ร่วมกับ Slip Agent, Antistatic ถ้าใช้ร่วมกับ Slip Agent จะช่วยเสริมกันในเรื่องการเปิดปากและการสไลด์ลื่นของผิวฟิล์ม ถ้าใส่ร่วมกับ Antistatic ก็จะทำหน้าที่แทน Slip Agent ได้ ปริมาณที่ผสมมากไป จะส่งผลเรื่องความใส (Ampacet, 2559a)



วาริยา ได้ทำการศึกษาการเลือกชนิด และอัตราส่วนของสารป้องกันการยึดติด และ สารทำให้ลื่นที่เหมาะสม ที่ทำให้ฟิล์มมีความใสมากที่สุด ในพลาสติกชนิด LDPE โดยทำการศึกษา สารป้องกันการยึดติด 4 ชนิด และสารทำให้ลื่น 1ชนิด พบว่า สารชนิด A อัตราส่วนที่ทำให้ฟิล์มมี ความใสมากที่สุดคือ 1200 :500 ppm หรือ 12:5 โดยค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.7 และ ส่วนของการศึกษาชนิดของสารป้องกันการยึดติด ที่ทำให้ความใสมีค่าสูงสุดพบว่า สารป้องกันการ ยึดติด ชนิด B ทำให้ฟิล์มมีค่าความใสมากที่สุดโดยมีอัตราส่วน 1500 : 600 ppm หรือ 5:2 มีค่าความ ชื้นเท่ากับร้อยละ 6.5 (วาริยา อริยชาติผดุงกิจ, 2553)

Chul Kim ได้ศึกษาผลกระทบสำหรับความเข้มข้น ของ Slip Agent ที่มีผล ต่อสัดส่วนรอย ขูด ใน อะคริลิกพลาสติก (PolyMethyl Methacrylate , PMMA) จากการ ทดลองพบว่าผลกระทบ ของ Slip Agent สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อความเข้มข้นของ Slip Agent เพิ่มขึ้น ค่า Tensile Toughness มีค่ามากที่สุดที่ความเข้มข้น 2 wt% และความเข้มข้นของ Slip Agent มีความสัมพันธ์กับ ความแข็ง , ความกว้างของรอยขูด Slip Agent ทำหน้าที่ลดค่า COF ใน PMMA

และความเข้มข้นของ Slip Agent มีความสัมพันธ์กับความกว้างรอยขีดข่วนคือ ที่ MMA-s30 (ความเข้มข้น 3 wt%) แสดงให้เห็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับที่ทำให้เกิดรอยข่วนน้อยสุด แต่ไม่ใช่ สำหรับการนำไปใช้ได้จริง เพราะความใสที่ได้มีค่ามากกว่า 10% โดยควรเลือกที่ MMA-s20 (ความเข้มข้น 2 wt%) เป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับการใช้วัตถุดิบที่คุ้มค่าที่สุด(B. Chul Kim, 2011)

Peloso ศึกษาสารเติมแต่งสำหรับพอลิเมอร์ระหว่างสาร Slip Agent ประเภท Erucamide และ สาร Antiblocking ใน LLDPE โดยการทดลองโดยใช้ Erucamide 5 ชนิดและ สาร Antiblocking 7 ชนิด โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง ผลการทดลองพบว่า การรวมตัวของ Erucamide และ Antiblocking แร่ธาตุ ซิลิกา ที่มีค่า PHสูง ใน Antiblocking จะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสลายตัว ของ Erucamide (W. Peloso, 1997)

2.4 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม

2.4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานของฟิล์ม หาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน (Coefficient of friction = μ) เป็นค่าตัวเลข ที่แสดงว่าเกิดแรงเสียดทานขึ้นระหว่าง ผิวสัมผัสของวัตถุ 2 สิ่ง มากน้อยเพียงใด ใช้สัญลักษณ์ แทนด้วยตัวอักษร μ (มิว) โดยมีสูตรการคำนวณคือ

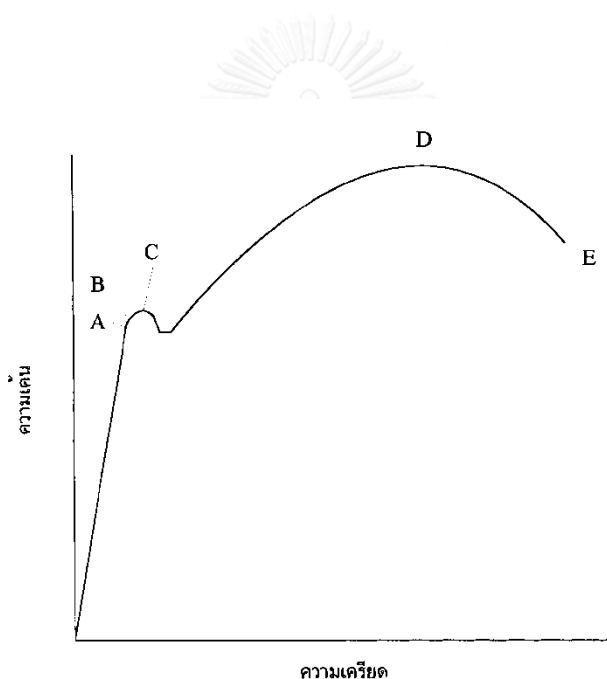
ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน (μ) = แรงที่ดึงวัตถุให้เคลื่อนที่ / แรงที่กดทับลงบนผิวสัมผัส

2.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

เป็นการทดสอบพื้นฐานทางวิศวกรรม ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบ ความแข็งแรง ของวัตถุ ในการรับแรงกระทำในลักษณะต่างๆ เชิงปริมาณ จะถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบ และ เลือกวัสดุ เพื่อนำมาใช้งานได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และปลอดภัย

การทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing) ASTM D882 (ASTM Standard D882, 2002)

เป็นการทดสอบที่นำค่าไปใช้ในการออกแบบคำนวณ เพื่อกำหนดขนาด และรูปร่าง ของ ชิ้นงาน โดยทำการดึงชิ้นงานทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะเดียวกัน จดบันทึกแรงที่ใช้ ในการดึง ถ้าทำการดึงชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก ผลจากการวัดแรงที่มา กระทำต่อ วัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเรียกว่า ความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate tensile) หรือ ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) วิธีการทดสอบ เราจะนำตัวอย่างทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ โดยบันทึกค่าของความเค้น และความเครียดที่เกิดขึ้นมาพล็อตเป็นกราฟเส้นโค้งดังรูปที่ 2.2 ขนาด และรูปร่างของชิ้นทดสอบ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและมาตรฐานของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials) ได้กำหนดขนาด และรูปร่าง ของชิ้น ทดสอบไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ พร้อมกับกำหนดความเร็ว ในการเพิ่มแรง กระทำเอาไว้ด้วย



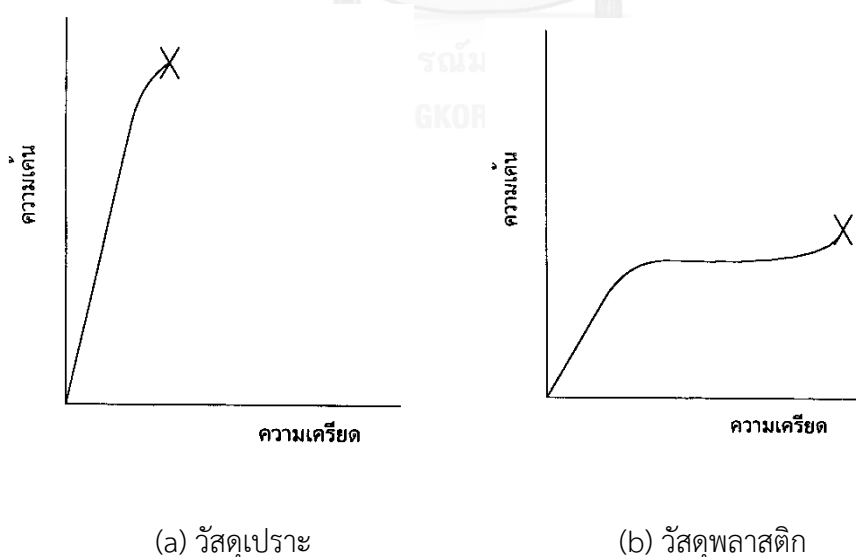
รูปที่ 2.2 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด เราพบว่า เมื่อเราเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้า ๆ ชิ้นงานทดสอบจะค่อย ๆ ยืดออก จนถึงจุด A ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น-ความเครียด จะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุก (Hook's law) กล่าวว่าการเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้ เรียกว่าพิสัยสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิสัยสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

เมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัด เส้นกราฟจะค่อย ๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด ๆ หนึ่ง (จุด B) เรียกว่า พิกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่า ความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (Plastic Deformation) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่ง ระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป

หลังจากจุดครากแล้ว วัสดุจะเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด D) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า Ultimate Strength หรือ ความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ ก่อนที่จะขาด หรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปร่างพลาสติกได้มาก ๆ ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยว่า ค่าว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ หรือ กำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไปจะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้นี้เอง

ที่จุดสุดท้าย (จุด E) ของกราฟ เป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน (Fracture) กรณีของวัสดุที่เป็นพลาสติกจะเกิดแตกหักโดยที่ต้องการความเค้นสูงขึ้น ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุพลาสติก

เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดนี้ นอกจากจะใช้บอกค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) ความเค้นสูงสุดและความเค้นประลัยแล้ว ยังจะใช้บอกค่าต่าง ๆ ได้อีกดังนี้ คือ

1. ความเหนียว (Ductility) ค่าที่ใช้วัดจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ การยืดตัว (Percentage Elongation) และการลดพื้นที่ภาคตัดขวาง (Reduction of Area) โดยที่

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (\% El)} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

เมื่อ L_f = ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด

L_o = ความยาวของเกจเริ่มต้น

$$\text{การลดพื้นที่ภาคตัดขวาง} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$$

เมื่อ A_o = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง

A_f = พื้นที่หน้าตัดหลังจากดึงขาด

ในทางปฏิบัติเรามักใช้ค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัว มากกว่าเพราะสะดวกในการวัด ความเหนียวของวัสดุนี้ จะเป็นตัวบอกความสามารถในการขึ้นรูป คือถ้าวัสดุมีความเหนียวดี (%El สูง) ก็สามารถนำไปขึ้นรูป เช่น รีด ตี หรือ ดึงเป็นลวด ได้ง่าย แต่ถ้ามีความเหนียวต่ำ (เปราะ) ก็จะ ขึ้นรูปยาก หรือขึ้นรูปไม่ได้

Modulus of Elasticity or Stiffness ภายใต้อิทธิพลของวัสดุที่มีพฤติกรรมเป็นอีลาสติก อัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดจะเท่ากับค่าคงที่ ค่าคงที่นี้เรียกว่า Modulus of elasticity (E) หรือ Young's Modulus หรือ Stiffness

$$E = \frac{S}{e} = \frac{PL}{ADL} \quad \text{มักมีหน่วยเป็น ksi (1 ksi=1000 psi) หรือ kgf/mm}^2 \text{ หรือ GPa}$$

(สังเกตว่าเป็นหน่วยเดียวกับหน่วยของความเค้น) ถ้าแรงที่มากกระทำเป็นแรงเฉือน เราเรียกค่าคงที่นี้ว่า Shear Modulus

ค่า E ของวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าเฉลี่ยคงที่ และเป็นตัวบอกความสามารถคงรูป (Stiffness) ของวัสดุ

2.5 การออกแบบการทดลองทางสถิติ (Design of Experimental)

ปรเมศ ได้อธิบายเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบการทดลองไว้ดังนี้

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา ในขั้นตอนนี้เราต้องพยายามพัฒนาเกี่ยวกับ วัตถุประสงค์ของการทดลอง และต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมจากบุคคล หรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจ ถึงปัญหา และคำตอบสุดท้ายของปัญหา การออกแบบการทดลองจึงควรทำงานเป็นทีม

2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง กำหนดขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย และกำหนดระดับที่จะเกิดในการทดลอง และต้องพิจารณาว่าจะควบคุม ปัจจัย ณ จุดที่กำหนดอย่างไร วัตถุประสงค์ได้อย่างไร ดังนั้นผู้ทดลองจึงจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการเป็นอย่างมาก และต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดมาทั้งหมดมีความสำคัญหรือไม่ เมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย เราควรกำหนดให้ระดับต่างๆในการทดลอง มีน้อยและควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ เพื่อจะได้รู้ว่าตัวแปรใด มีความสำคัญ และสำคัญระดับใด ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แล้วเราอาจลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

3. เลือกตัวแปรผลตอบแทน ในการเลือกตัวแปรผลตอบแทน ควรแน่ใจว่า ตัวแปรสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือทั้งคู่ เป็นตัวแปรผลตอบแทน และการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรผลตอบแทนได้หลายตัว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องรู้ ว่าอะไรคือ ตัวแปรผลตอบแทน และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนเริ่มทำการทดลองจริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง เป็นการออกแบบที่เกี่ยวกับการ พิจารณาขนาดตัวอย่าง (จำนวนเรพลีเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมในการทดลอง และตัดสินใจว่า ควรใช้วิธีบล็อก หรือ การแรนดอมไมเซชัน ในการเลือกการออกแบบ โดยจำเป็นต้องคำนึงถึง วัตถุประสงค์ของการทดลอง ตลอดเวลา

5. ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองจะต้องติดตามดูกระบวนการอย่างดี เพื่อให้แน่ใจว่า การดำเนินงานเป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้ ถ้าผิดพลาดจะทำให้การทดลองนั้นผิดพลาด ดังนั้นการวางแผนจึงมีความสำคัญมาก

6. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เป็นการนำวิธีทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และข้อสรุป

เป็นไปตามวัตถุประสงค์ อย่างน่าเชื่อถือ ถ้าการทดลองถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี เมื่อทำการทดลองตามทีออกแบบไว้ วิธีทางสถิติที่นำมาใช้จะเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ถ้านำวิธีการทางสถิติมารวมกับ ความรู้ด้านวิศวกรรม จะทำให้ข้อมูล ข้อสรุปที่ได้ออกมา มีความน่าเชื่อถือ

7. สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติ และแนะนำแนวทางที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ จะต้องมีการนำเสนอผลงาน และยังต้องทำการทดลอง เพื่อยืนยันผล เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้น

ประเภทของการทดลอง

1. การทดลองเพียงครั้งเดียว (Single Experiment) คือ การทดลองที่ผู้ทำการทดลอง มีความรู้ความเข้าใจ ในกระบวนการดีอยู่แล้ว และรู้ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีความสำคัญต่อกระบวนการ แต่อยากรู้ถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในขั้นสุดท้าย

2. การทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous Experiment) คือ การทดลองเพื่อลดค่าการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ โดยมีเป้าหมายชัดเจนในการปรับปรุงคุณภาพ แต่ผู้ทดลองไม่มีความรู้ความเข้าใจในระบบมากนัก รู้เพียงว่ากระบวนการยังไม่ได้มาตรฐาน และเกิดของเสียมาก

3. การทดลองแบบคัดทิ้ง (Screening Experiment) คือ การทดลองที่ทำเพื่อลดรายละเอียด ของปัจจัยในกระบวนการ ให้เหลือเพียงปัจจัยที่มีผล และจำนวนปัจจัยที่มีผล สามารถนำไปทำ การทดลองได้จริง ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัจจัยที่มีผล

4. การทดลองแบบเจาะจง (Focusing Experiment) คือ การทดลองที่ทำการขึ้นมาจากความ ต้องการในการแก้ปัญหา โดยกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยที่เลือกมาทำการศึกษา

5. การทดลองเชิงลำดับ (Sequential Experiment) คือ การทดลองที่ทำการขึ้นมา เนื่องจากกระบวนการที่สนใจ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหรือกระบวนการย่อยๆ ได้เป็นจำนวนมาก ทำให้มีปัจจัยที่จะศึกษา มากตามไปด้วย จึงแบ่งกระบวนการออกเป็นส่วนๆ แล้วจึงทำการทดลองกำหนดปัจจัย หลังจากนั้นจึงค่อยนำมารวมเป็นข้อกำหนดของกระบวนการในภาพรวม เพื่อให้การทดลองสามารถทำได้จริง (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

2.6 การกำหนดขนาดตัวอย่าง (Sample Size Determination)

กัลยา ได้กล่าวถึงว่าการกำหนดตัวอย่างให้มีความเหมาะสม จะขึ้นอยู่กับแผนการเลือกหน่วย

ตัวอย่างที่กำหนด และทรัพยากรที่มี เช่น งบประมาณ กำลังคน ระยะเวลาในการเก็บ ข้อมูล เป็นต้น

กรณีที่ใช้แผนการสุ่มตัวอย่างที่ใช้ความน่าจะเป็น ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังนี้

1) ขนาดตัวอย่างของการประมาณค่าเฉลี่ยประชากร สำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ กรณีข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ยอดขาย จำนวนคน น้ำหนัก เป็นต้น เมื่อต้องการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรด้วยค่าเฉลี่ยตัวอย่าง การหาขนาด n แบ่งเป็น

$$n = \frac{NZ^2S^2}{NE^2 + Z^2S^2}$$

กรณีขนาดตัวอย่าง n เล็กมากเมื่อเทียบกับจำนวนประชากร N หรือไม่ทราบขนาดประชากรที่แน่นอน แต่ทราบว่ามีความใหญ่ จะใช้สูตรดังนี้

$$n = \frac{Z^2S^2}{E^2}$$

N = ขนาดประชากร

n = ขนาดตัวอย่าง

E = ความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการประมาณค่า m ด้วย \bar{x} คือ $E = |\bar{x} - m|$

Z = ค่าปกติมาตรฐาน ที่ได้จากรายการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน จะขึ้นอยู่กับ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด เช่น ถ้าผู้วิจัยเลือกระดับความเชื่อมั่น 95 % จะได้ $Z = 1.96$

S^2 = ค่าความแปรปรวนของประชากร โดยทั่วไปมักจะไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร จึงนิยมใช้ค่าความแปรปรวนของตัวอย่าง S^2 แทน ดังสมการต่อไปนี้

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

การคำนวณหาค่า S^2 จะต้องทราบขนาดตัวอย่าง n ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากกรณีต่างๆ

ดังนี้

- กรณีที่เคยศึกษาเรื่องเดิมมาก่อน หรือ เรื่องที่มีวัตถุประสงค์ใกล้เคียงกันในอดีต จะสามารถใช้ค่า ความแปรปรวนนั้นมาเป็น S^2
- กรณีทำการสำรวจล่วงหน้า (Pilot Survey) ทำได้โดยการสุ่มตัวอย่าง โดยใช้ขนาดตัวอย่างไม่มาก เพื่อมาคำนวณค่า S^2
- ใช้สูตร $S^2 = \frac{1}{36}(\max - \min)^2$
โดยต้องประมาณค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด หรือ ใช้ข้อมูลในอดีตมาประมาณค่า (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2558)



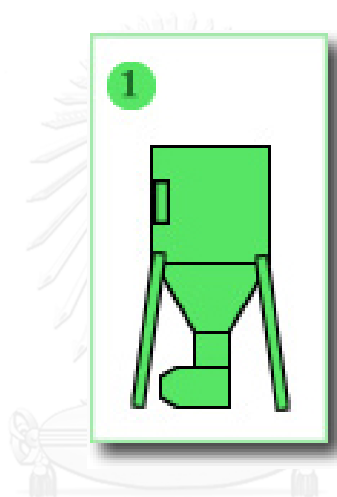
บทที่ 3

สภาพปัญหาของโรงงาน

3.1 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตพลาสติกของโรงงานกรณีศึกษา เป็นการผลิตพลาสติกประเภทเป่า ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ เริ่มจากการคัดและตรวจสอบเม็ดพลาสติก ให้เหมาะสมต่อการใช้งานประเภทต่างๆ ตามคุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ



รูปที่ 3.1 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับกระบวนการเป่า ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา

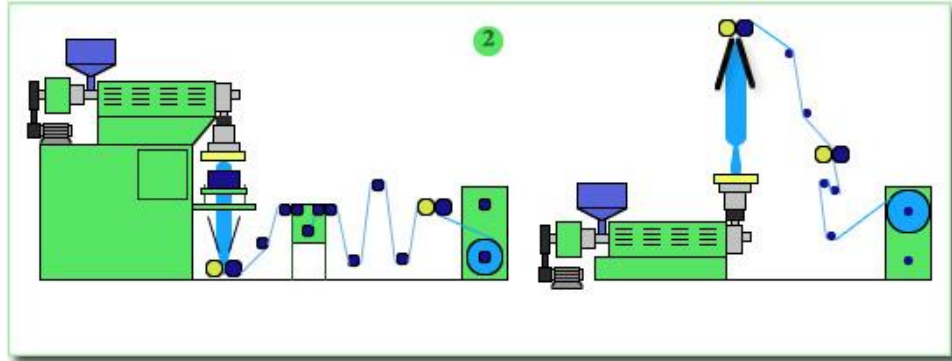
2. กระบวนการเป่า

2.1 นำเม็ดพลาสติกมาอัดหลอมผ่าน Die ทรงกลม จนได้เป็นพลาสติกเหนียว

2.2 เป่าลมผ่านเข้าทางศูนย์กลาง Die แรงดันจากลมจะทำให้พลาสติกเหลวพองออก คล้ายลูกโป่งฟิล์ม ควบคุมให้ปริมาณแรงดันลมคงที่ จึงทำให้ฟิล์ม มีความหนาสม่ำเสมอ

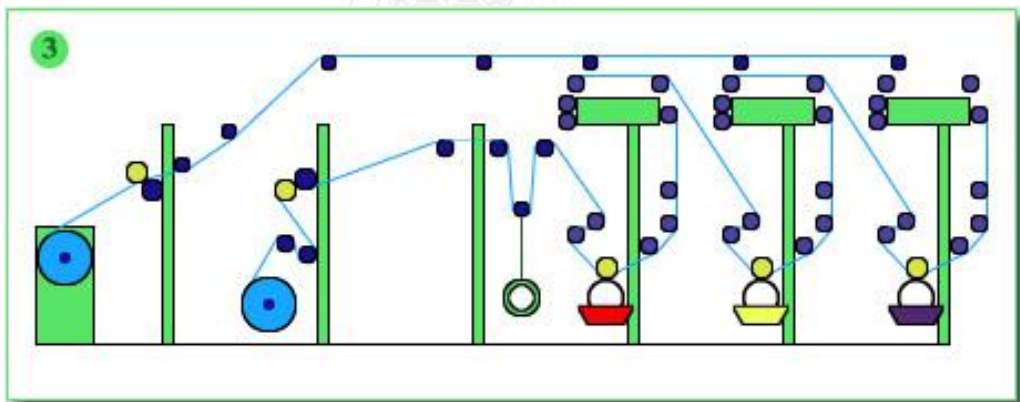
2.3 โป่งฟิล์มที่ถูกดึงออกจาก Die อย่างต่อเนื่องถูกทำให้เย็นลงโดยใช้ลมจาก Airing นอกจากนี้ยังสามารถใช้ Internal Bubble Cooling ทำให้เย็นลงด้านในโป่งฟิล์ม

2.4 หลังจากฟิล์มแข็งตัวดีแล้ว ฟิล์มจะถูกดึงและหนีบเป็นแผ่นโดย Nip Rollers แล้วแผ่นฟิล์มก็ถูก Puller Rolls ดึงฟิล์มให้ตึงและส่งเก็บเข้าม้วน โดยระหว่างเก็บเข้าม้วน อาจมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม เช่น เครื่องระเบิดผิวฟิล์ม, เครื่องตัดประจุไฟฟ้า, เครื่องตัดฟิล์มเพื่อแยกเป็นแผ่น หรือ กล้องตรวจกับรอยตำหนิบนฟิล์ม



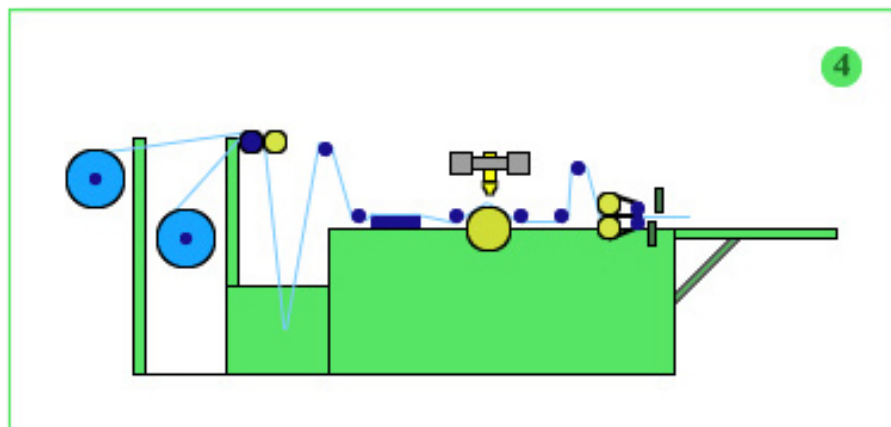
รูปที่ 3.2 กระบวนการเป่าฟิล์ม ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา

3. กระบวนการพิมพ์ ฟิล์มที่สามารถพิมพ์ได้จะต้องผ่านการระเบิดผิว โดยพิมพ์ด้านที่มีการระเบิดผิวตามลวดลายที่ลูกค้าต้องการ



รูปที่ 3.3 กระบวนการพิมพ์ฟิล์ม ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา

4. กระบวนการตัดและบรรจุ ฟิล์มที่ได้จากการเป่าหรือกระบวนการพิมพ์ จะถูกนำมาซีลด้วยความร้อนแล้วเข้าสู่ กระบวนการตัดให้มีขนาดและความยาวตามต้องการ จากนั้นนำมาบรรจุ หีบห่อตามจำนวน หรือน้ำหนักที่กำหนดมาตรฐานไว้



รูปที่ 3.4 กระบวนการพิมพ์ฟิล์ม ที่มา : เว็บไซต์โรงงานกรณีศึกษา

3.2 ที่มาของปัญหาและคุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ

จากการศึกษาที่มาของเสียที่เกิดขึ้นในอดีต พบว่า นอกจากของเสียจากการ ทดลองเป่า ของเสียประเภทค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ไม่ได้ตามที่กำหนด แบ่งการตรวจพบเป็น 2 ประเภท คือ ภายในโรงงาน (ตรวจพบก่อนถึงลูกค้า) และ ภายนอกโรงงาน (ลูกค้าตรวจพบ) จะเห็นได้ว่าความเสียหายยิ่งมากเมื่อสินค้าไปถึงมือลูกค้าเพราะต้องชดใช้เงิน และ เสียความไว้วางใจจากลูกค้า แสดงจำนวน ของเสียดังตารางที่ 3.1 จากการร้องเรียนของลูกค้า

ตารางที่ 3.1 ของเสียที่ลูกค้าร้องเรียนจากปัญหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในปี 2015

ชื่อสินค้า	ข้อบกพร่องที่พบ	ของเสีย (kg)
LL 620mmx2700mx0.13 ระเบิดผิว	ค่า COF ต่ำกว่าสเปค	8,358.5
LL 995mmx12000mx0.025 ไม้ ระเบิดผิว	ค่าCOF สูงกว่าสเปค	547

รวม 8,905.5

จากตารางที่ 3.1 พบของเสียประเภทค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากการร้องเรียนของลูกค้าถึง 8,905.5 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็น 58.88 เปอร์เซ็นต์ ของของเสียทั้งหมดที่เกิดจากการร้องเรียนของลูกค้า

เมื่อเห็นปัญหาทางผู้วิจัยจึงสืบหาสาเหตุพบว่า ก่อนหน้านี้ทางโรงงานยังไม่เคยใส่สาร Antistatic ลงไปในฟิล์ม ทำให้เมื่อใส่ไปแล้ว เกิดปัญหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ และ ฟิล์มที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่อยู่ในช่วงกึ่งกลางที่ต้องการ เมื่อเวลาผ่านไปฟิล์มถึงมือลูกค้า จึงไม่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้ากำหนด จึงทำการทดลองเพื่อทดสอบว่าปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ สาร Antistatic สาร Slip Agent และ สาร Antiblocking มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานหรือไม่ และสมการแสดงความสัมพันธ์ เพื่อช่วยในการออกแบบสูตรที่ถูกต้อง และช่วยประหยัดเวลา ลดของเสียในการทดลองสูตร และลดของเสียเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่ได้ตามที่กำหนด นอกจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ผู้วิจัยยังต้องการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มในด้านอื่นๆได้แก่ ความขุ่น (Haze) ค่าแรงดึง (Tensile) และ ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) โดยการหาสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าปัจจัยทั้งสาม และตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ สำหรับคุณสมบัติที่ลูกค้าให้ความสำคัญดังตารางที่ 3.2 และเพื่อที่จะกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้งสามที่จะทำให้คุณสมบัติของฟิล์ม อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ตัวอย่างสูตรที่ลูกค้าต้องการ สำหรับนำฟิล์มไปลามิเนตต่อในงานประเภทแบงก์ ฟิล์มที่ลูกค้าต้องการจึงเป็นฟิล์มที่ไม่เกิดไฟฟ้าสถิต และคุณสมบัติของฟิล์มดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของฟิล์มที่ลูกค้าต้องการ สำหรับงานที่ต้องใส่สาร Antistatic

คุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ	ลูกค้าต้องการ
ความต้านทานแรงดึงยืด(Tensile Strength) :TD:(Mpa)	≥16
การยืดตัวจนจุดขาด (Elongation at Break) : MD:(%)	≥300
การยืดตัวจนจุดขาด (Elongation at Break) : TD:(%)	≥400
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF)	0.2±0.1
ค่าต้านทานไฟฟ้าที่ผิว(Surface Resistivity) : (Ω /sq)	< 10^{12}
ความขุ่น (Haze) : (%)	≤40

3.3 การเลือกความหนา

ศึกษาผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่โรงงานผลิตเพื่อการเลือกความหนา โดยการคัดเลือกประเภทของ

ฟิล์มที่จะศึกษา ความหนา และระดับของปัจจัยที่จะศึกษา โดยจากยอดขายปี 2558 พบว่าผลิตภัณฑ์ฟิล์มลามิเนตมียอดขายสูงถึง 15,730 ตันต่อปี หรือ 1,310 ตันต่อเดือน พบว่าผลิตภัณฑ์หลักๆแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักๆตามการใช้งาน ได้แก่ ถุงบรรจุเมล็ด ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ และถุงบรรจุน้ำตาล โดยมีสัดส่วนดังรูปที่ 3.5 พบว่าฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุมีปริมาณยอดขายสูงที่สุดคิดเป็นสัดส่วน 55% ของยอดขายฟิล์มลามิเนตทั้งหมดของโรงงาน

ตารางที่ 3.3 แสดงยอดขายแต่ละประเภทฟิล์มลามิเนตรายเดือน และรายปี

ประเภท	Ton/year	Ton/month
ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ	8,652	721
ถุงบรรจุเมล็ด	4,719	393
ถุงบรรจุน้ำตาล	2,359	197



รูปที่ 3.5 แผนภูมิสัดส่วนประเภทของผลิตภัณฑ์ฟิล์มลามิเนต ในปี 2558

หมายเหตุ ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุเป็นฟิล์มที่นำไปลามิเนตต่อ เช่น ซองน้ำยาปรับผ้านุ่ม น้ำยาล้างจาน

ดังตารางแสดงความต้องการของลูกค้าดังนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติความต้องการของลูกค้าประเภทฟิล์มลามิเนตที่ผ่านมา

ลำดับที่	ชื่อลูกค้า	ความหนา(μm)		ความต้านแรงดึงยึด		การยึดตัว ณ จุดขาด		COF	ความใส ≤ (%Haze)	ความขุ่น ≥ (%Haze)	การใช้งาน
			±	MD (≥M Pa)	TD(≥M Pa)	MD(≥%)	TD(≥%)				
1	DS Smit	50	2.5	23	20	400	500	0.08-0.28	30		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
2	สตาร์เฟล็กซ์	110	3.3	24	22	700	800	0.05-0.2		80	ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
3	สตาร์เฟล็กซ์	120	3.6	25	22	500	700	0.05-0.2	30		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
4	สตาร์เฟล็กซ์	40	2.8	24	17	400	600	0.05-0.2	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
5	สตาร์เฟล็กซ์	70	2.8	25	22	600	800	0.05-0.2	30		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
6	สตาร์เฟล็กซ์	60	2.4	24	17	400	600	0.12-0.3	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
7	สตาร์เฟล็กซ์	50	2.5	24	17	400	600	0.12-0.3	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
8	สตาร์เฟล็กซ์	34	2.38	24	17	700	600	0.05-0.18	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
9	สตาร์เฟล็กซ์	100	3	24	22	700	800	0.2-0.5		65	ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
10	สตาร์เฟล็กซ์	99	2.97	22	20	700	800	0.15-0.4		65	ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
11	สตาร์เฟล็กซ์	100	3	24	22	700	800	0.2-0.4		65	ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
12	แอมคอร์	30	2.1	1	0.7	300	400	0.3-0.5	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
13	เวลโกรว์	33	2.31	20	15	400	600	0.05-0.2	10		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
14	มาเจนต์	40	2	20	15	500	700	0.02-0.2	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
15	ฟูจีเอช	60	2.4	2.3	2	500	750	0.1-0.3	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
16	แพ็กโปร	40	2	20	15	400	600	0.3-0.5	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
17	โตเอะ	50	2.5	20	15	400	600	0.05-0.2	20		ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ
18	PTT	140	7	65 N/15mm	60	500-1200	500-1200	0.4-0.6		60-70	ถุงเม็ดพลาสติก
19	PTT	140	5%	65N/15mm	60	500-1200	500-1200	0.4-0.6		60-70	ถุงเม็ดพลาสติก
20	ซูทมาทิก	126	3.78	20	15	700	800	0.1-0.2	40		ถุงเม็ดพลาสติก
21	Ampacet	160	4.8	22	20	700	800	0.4-0.6		65	ถุงเม็ดพลาสติก
22	Ajinomoto	180	10	65	60	500	1200	0.35-0.55		65	ถุงเม็ดพลาสติก
23	อักษรอาร์ด	75	3	20	15	600	700	0.05-0.3	16		ถุงน้ำตาล
24	อักษรอาร์ด	85	3.4	20	15	600	700	0.05-0.4	16		ถุงน้ำตาล
25	อักษรอาร์ด	75	3	20	15	600	700	0.05-0.35	16		ถุงน้ำตาล
26	อักษรอาร์ด	85	3.4	20	15	600	700	0.05-0.3	16		ถุงน้ำตาล

จากตารางแสดงความต้องการของลูกค้าพบว่า เมื่อแบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์ออกตามการใช้งานพบว่า ถุงแต่ละประเภทจะมีความหนาเฉลี่ยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติของฟิล์มลามิเนตประเภทต่างๆที่ใช้จากน้อยถึงมาก

คุณสมบัติ	ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ			ถุงเม็ดพลาสติก			ถุงน้ำตาล			
	น้อยสุด	มากที่สุด	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากที่สุด	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากที่สุด	เฉลี่ย	
ความหนา(μm)		30	120	63.8	126	180	149.2	75	85	80
	±	2.1	3.6	2.6	3.78	10	5.1	3	3.4	3.2
ความต้านแรงดึงยึด	MD (≥M Pa)	2.3	25	21.6	20	65	47.4	20	20	20
	TD(≥M Pa)	2	22	17.5	15	60	43	15	15	15
การยึดตัว ณ จุดขาด	MD(≥%)	300	700	511.8	500	1200	850	600	600	600
	TD(≥%)	400	800	661.8	500	1200	933.3	700	700	700
COF		0.05-0.2	0.3-0.5	0.05-0.2	0.1-0.2	0.4-0.6	0.4-0.6	0.05-0.3	0.05-0.4	0.05-0.35
ความใส (% Haze)	≤	10	30	21.5	40			16	16	16
ความทึบ (% Haze)	≥	65	80	68.8	60	70	65			

จากแผนภูมิสัดส่วนประเภทของฟิล์มลามิเนต พบว่าผลิตภัณฑ์ฟิล์มลามิเนตที่ผลิตมากที่สุดคือ ฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุ และจากตารางความต้องการลูกค้าพบว่าฟิล์มลามิเนตในถุงบรรจุมีความหนาน้อยสุดคือ 30 μm หนามากสุด 120 μm ความหนาเฉลี่ยคือ 63.8 μm และ COF ที่ใช้มากที่สุดคือ 0.05 - 0.2 จึงทำการศึกษาสูตรฟิล์มที่มีความหนา 50 μm เพราะเป็นความหนาที่นิยมใช้กันมากและ เป็นความหนาที่นิยมใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม ดังใบคุณสมบัติฟิล์มดังรูป

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.918 g/cm ³	0.918 g/cm ³	ASTM D792
Base Density	0.918 g/cm ³	0.918 g/cm ³	Dow Method ¹
Melt Index (190°C/2.16 kg)	1.0 g/10 min	1.0 g/10 min	ASTM D1238
Films	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Film Thickness - Tested	2.0 mil	51 μm	

รูปที่ 3.6 ใบแสดงคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกชนิดLLDPE

SLIP 90

Coefficient of friction versus amount of masterbatch LDPE (Melt index = 2) film

% SLIP 90	Coefficient of Friction	
	25 microns	50 microns
0.5 - 1.0	0.43 - 0.33	0.30 - 0.22
1.0 - 1.5	0.33 - 0.22	0.22 - 0.18
1.5 - 2.0	0.25 - 0.20	0.18 - 0.16
2.0 - 3.0	0.20 - 0.16	0.16 - 0.14

รูปที่ 3.7 ใบแสดงคุณสมบัติของสาร Slip Agent

3.4 ศึกษาปริมาณสารที่ใช้มากที่สุดถึงน้อยสุด

ศึกษาการสูตรทั้งหมดเพื่อหาปริมาณที่ใช้สารมากสุดน้อยสุด เมื่อเราเลือกศึกษาฟิล์มที่ความหนา 50 ไมครอน จึงมาศึกษาสูตรผลิตภัณฑ์ฟิล์มลามิเนตที่ความหนา 50 ไมครอนทั้งหมดที่โรงงานใช้ เพื่อศึกษาว่าทางโรงงานใช้ส่วนผสมอะไรบ้าง และอัตราส่วนเท่าใด ในการผลิตฟิล์ม สูตรต่างๆที่มีความหนา 50 ไมครอน เพื่อวางแผนการกำหนดปริมาณสารเคมีที่ใช้สูงสุดต่ำสุด

ตารางที่ 3.6 แสดงสัดส่วนสาร LLDPE สารSlip Agent (SL) และ สาร Antiblocking (AB) ทั้งหมดที่โรงงานใช้ในสูตรต่างๆ

สูตร	CoF	PPM of Additive		%of Master batch			
		SL	AB	SL	AB	LLDPE	อื่นๆ
1	0.05-0.2	957	1751	1.91	0.88	96.71	0.5
2	0.05-0.2	924	1559	1.85	0.78	97.37	0
3	0.05-0.2	457	3225	0.91	1.61	97.47	0
4	0.05-0.2	567	2292	1.13	1.15	97.72	0
5	0.05-0.2	700	1833	1.4	0.917	97.68	0
6	0.2-0.5	431	3060	0.86	1.53	97.61	0

จากตารางสรุปว่า ปริมาณสาร Slip Agent น้อยสุด - มากสุด ที่ทางโรงงานใช้สำหรับสูตรที่ฟิล์มหนา 50 ไมครอนคือ 430 PPM (0.86%) - 957 PPM (1.91%) และสาร Antiblocking 1559 PPM (0.78%) - 3225 PPM (1.61%) จึงทำการออกแบบอัตราส่วนของสาร Slip Agent และสาร Antiblocking ดังตารางที่ 3.7

การคิดจำนวนความเข้มข้น ppm (part per million) 1 ส่วนในล้านส่วน เช่น กำหนดความเข้มข้นสารAdditive ที่ต้องการ 250 ppm ของสาร Slip agent ที่มี Additive content 5%

คำนวณ % of Master batch ได้ดังนี้ Slip agent 5% แสดงว่า

ใน 100 ส่วนมี Slip agent 5 ส่วน
ถ้า 1,000,000 ส่วนมี Slip agent 50,000 ส่วน

เราต้องการ 250 ppm

50,000 ppm คิดเป็น 100 %

250 ppm คิดเป็น 0.5 %

ตารางที่ 3.7 ค่าความเข้มข้นของสารเคมี

Agent	Additive content (%)	PPM of Additive			% of Master batch		
Antistatic	7	350	700	1050	0.5	1	1.5
Antiblocking	20	1000	1500	2000	0.5	0.75	1
Slip agent	5	250	650	1000	0.5	1.3	2

อ้างอิงความเข้มข้นในการทดลองจากที่โรงงานใช้ประจำ ในปริมาณที่มากที่สุดและน้อยสุด

3.5 ศึกษาช่วงเวลาวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

จากการศึกษาพบว่าเวลามีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจึงทำการทดลองสาร Antistatic (AS) กับ พิล์ม LLDPE ที่ระดับสัดส่วนต่างๆ แล้วนำมาวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดคือเวลาผ่านไป 6 , 12 , 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง เพื่อเป็นการยืนยันว่าเวลามีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจริงหรือไม่ แต่ละช่วงเวลามีผลอย่างไร และควรเลือกช่วงเวลาใดในการศึกษาผลการทดลอง สารAS ในสัดส่วนต่างๆ กับ LLDPE เพื่อดูว่าสาร AS มีผลต่อปัจจัยต่างๆและการเลือกช่วงเวลาคัดสอบ เมื่อเป่าฟิล์มตัวอย่างเสร็จทำการจดบันทึกเวลาลงตาราง เพื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม LLDPE + Antistatic ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 6 ชั่วโมง					ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 12 ชั่วโมง					ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 24 ชั่วโมง					ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 48 ชั่วโมง					ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 72 ชั่วโมง					ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 480 ชั่วโมง				
	ปริมาณ Antistatic (%)					ปริมาณ Antistatic (%)					ปริมาณ Antistatic (%)					ปริมาณ Antistatic (%)					ปริมาณ Antistatic (%)					ปริมาณ Antistatic (%)				
	0	0.5	1	1.5		0	0.5	1	1.5		0	0.5	1	1.5		0	0.5	1	1.5		0	0.5	1	1.5		0	0.5	1	1.5	
1	1.011	1.104	0.925	0.490	1.065	1.043	0.858	0.303	1.075	1.011	0.890	0.454	1.019	0.888	1.024	0.459	0.959	1.000	1.002	0.419	0.746	0.688	0.675	0.382						
2	0.962	0.938	0.664	0.501	1.090	1.056	0.780	0.531	1.053	1.013	0.895	0.470	1.012	1.023	0.901	0.443	1.096	0.973	0.990	0.440	0.834	0.608	0.586	0.382						
3	0.953	1.047	0.848	0.451	1.089	0.967	0.684	0.594	1.078	0.999	0.871	0.458	0.994	1.048	0.866	0.441	1.039	0.998	0.988	0.415	0.832	0.599	0.613	0.367						
4	0.803	0.989	0.693	0.473	1.073	0.959	0.826	0.527	1.044	1.005	0.909	0.458	1.047	1.044	0.83	0.445	1.155	1.038	0.973	0.444	0.768	0.625	0.585	0.377						
5	0.960	0.790	0.879	0.464	1.125	0.984	0.954	0.519	1.071	1.014	0.954	0.476	1.034	0.996	0.946	0.457	1.074	1.018	0.896	0.427	0.784	0.679	0.644	0.372						
6	1.028	0.947	0.941	0.462	1.072	1.106	0.973	0.503	1.058	0.984	0.972	0.457	1.014	1.017	0.929	0.451	1.102	0.983	0.813	0.442	0.83	0.635	0.596	0.376						
7	0.899	0.896	0.941	0.461	1.068	1.067	0.965	0.502	1.074	1.137	0.983	0.473	0.991	1.045	0.809	0.459	1.050	1.053	0.949	0.416	0.893	0.591	0.575	0.265						
8	1.098	0.984	0.831	0.594	1.077	1.067	0.893	0.513	1.074	1.110	0.957	0.459	1.071	0.981	0.839	0.445	1.002	0.961	0.954	0.454	0.876	0.653	0.554	0.377						
9	0.815	1.045	0.831	0.466	1.120	0.927	1.000	0.518	0.987	1.113	1.058	0.459	1.084	0.994	0.882	0.455	1.008	0.743	0.944	0.426										
10	1.055	0.968	0.994	0.509	1.120	1.031	0.839	0.522	1.070	1.070	0.879	0.455	1.041	0.975	0.819	0.454	1.096	0.989	0.965	0.449										
11	0.997	0.946	0.924	0.487	1.060	0.958	0.940	0.525	0.992	1.046	1.038	0.465	1.03	0.975	0.867	0.454	1.046	0.973	0.951	0.426										
12	1.058	0.820	0.808	0.482	1.051	1.022	0.922	0.496	1.022	0.978	0.909	0.454	0.995	1.028	0.875	0.421	1.096	1.002	0.861	0.445										
13	0.798	1.078	0.934	0.508	1.112	1.076	0.958	0.512	1.037	0.969	1.022	0.475	1.181	0.998	0.896	0.45	0.956	1.022	0.980	0.420										
14	0.971	0.818	0.908	0.461	1.137	1.013	0.895	0.503	1.032	1.067	0.927	0.471	1.142	0.956	0.953	0.421	1.082	0.995	0.955	0.450										
15	0.824	1.057	0.836	0.498	1.040	1.009	0.967	0.516	1.045	1.031	0.922	0.466	1.016	0.889	0.444	0.427	1.007	1.007	0.917	0.442										
Mean	0.947	0.962	0.864	0.481	1.087	1.019	0.904	0.513	1.047	1.032	0.947	0.463	1.045	1.000	0.888	0.444	1.051	0.982	0.944	0.434	0.820	0.635	0.604	0.375						
SD	0.100	0.090	0.092	0.019	0.050	0.052	0.065	0.011	0.029	0.060	0.056	0.008	0.053	0.040	0.057	0.012	0.059	0.070	0.052	0.013	0.051	0.036	0.039	0.006						

จากตาราง จึงนำมาหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า ที่เวลา 12 ชั่วโมงขึ้นไป ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากที่สุดคือ 0.070 จึงกำหนดที่ 0.08 และค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการประมาณค่า คือ 0.1 ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ตัวอย่าง

Sample Size for Estimation

Method

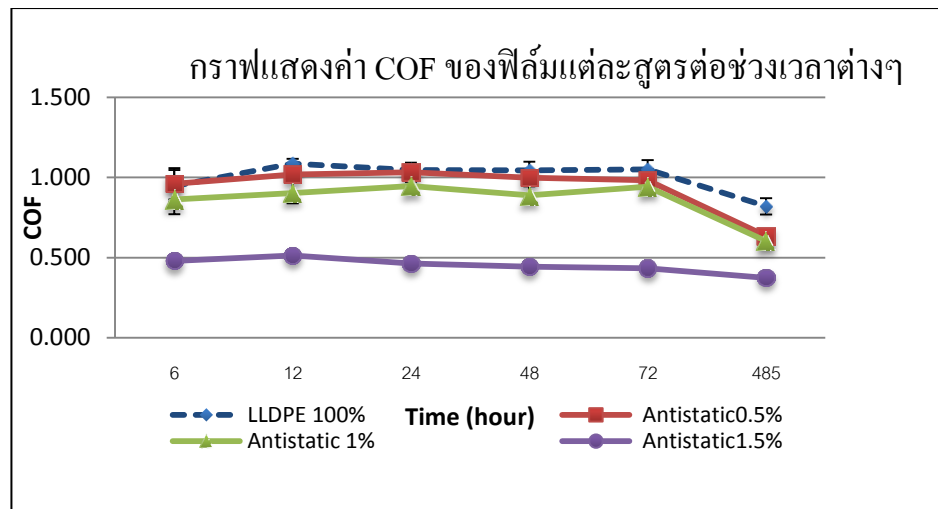
Parameter Standard deviation
 Distribution Normal
 Standard deviation 0.08
 Confidence level 95%
 Confidence interval Two-sided

Results

Margin of Error 0.1
 Sample Size 7

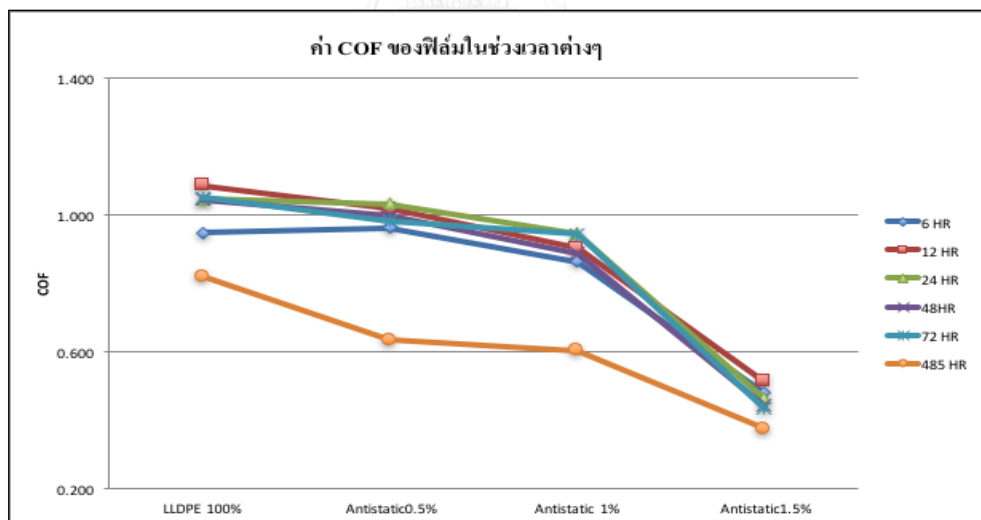
ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ทั้ง 4 สูตรในช่วงเวลาต่างๆ

ระยะเวลา ที่วัด (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย COF ที่ % Antistaticต่างๆ				ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน COF ที่ % Antistaticต่างๆ			
	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5
6	0.947	0.962	0.864	0.481	0.100	0.098	0.092	0.019
12	1.087	1.019	0.904	0.513	0.030	0.052	0.065	0.011
24	1.047	1.032	0.947	0.463	0.029	0.060	0.056	0.008
48	1.045	1.000	0.888	0.444	0.055	0.040	0.057	0.012
72	1.051	0.982	0.944	0.434	0.058	0.070	0.052	0.013
485	0.820	0.635	0.604	0.375	0.051	0.036	0.039	0.006



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ของฟิล์ม 4 สูตร กับช่วงเวลาต่างๆ

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อใส่ Antistatic ในสัดส่วนมากขึ้นทำให้ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง เห็นได้ชัดเจน เมื่อใส่ Antistatic ในสัดส่วน 1.5 %

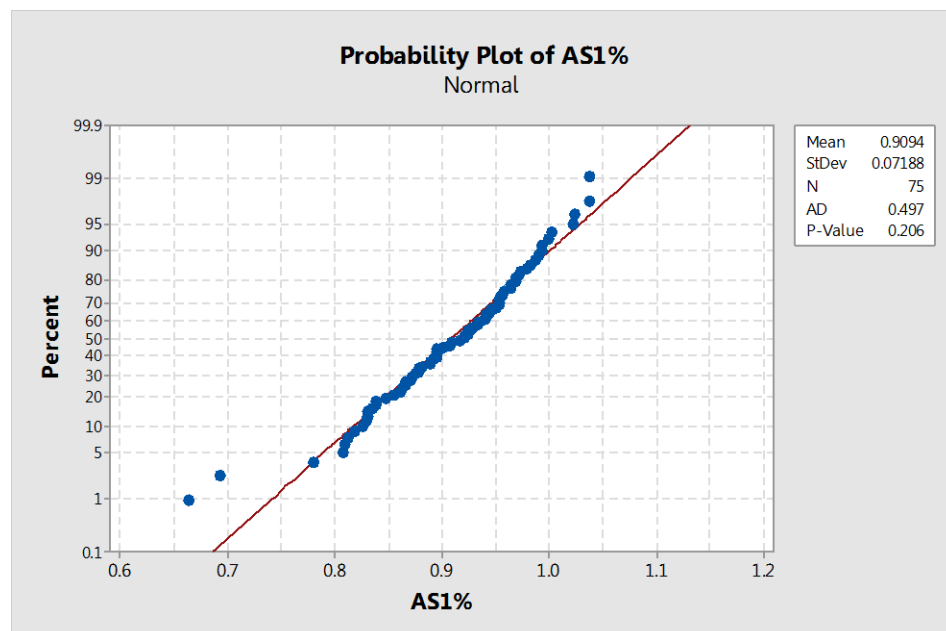


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม 4 สูตร กับช่วงเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 3.8 พบว่าเมื่อสัดส่วนสาร Antistatic เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงเห็นได้ชัดเจนที่สัดส่วนสาร Antistatic มีค่าเท่ากับ 1.5 และจากรูปที่ 3.9 พบว่าที่ช่วงเวลา 6 ชั่วโมงถึง 72 ชั่วโมง ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ใกล้เคียงกัน และทดสอบว่าจากกราฟ ที่สัดส่วนสาร Antistatic เท่ากับ 1 เมื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีผลแตกต่างกันหรือไม่ โดยการ

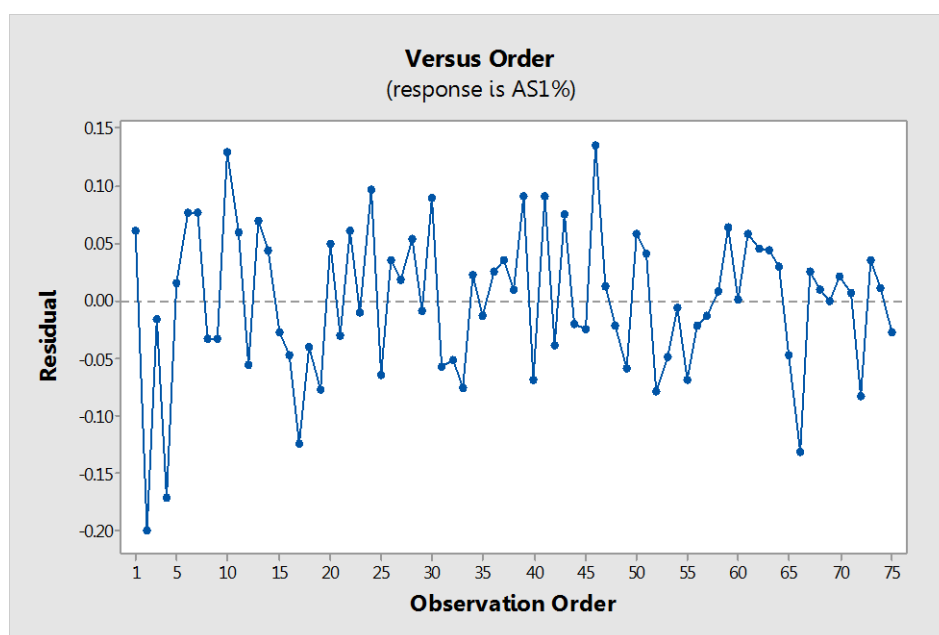
ทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ย 1 ประชากร คือการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ก่อนทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ จากโปรแกรม Minitab ต้องต้องทำการวิเคราะห์ Residual plot เพื่อดูว่าสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อได้หรือไม่ จึงแบ่งการตรวจสอบเป็น 3 กรณีคือ

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 3.10 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ได้



รูปที่ 3.10 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

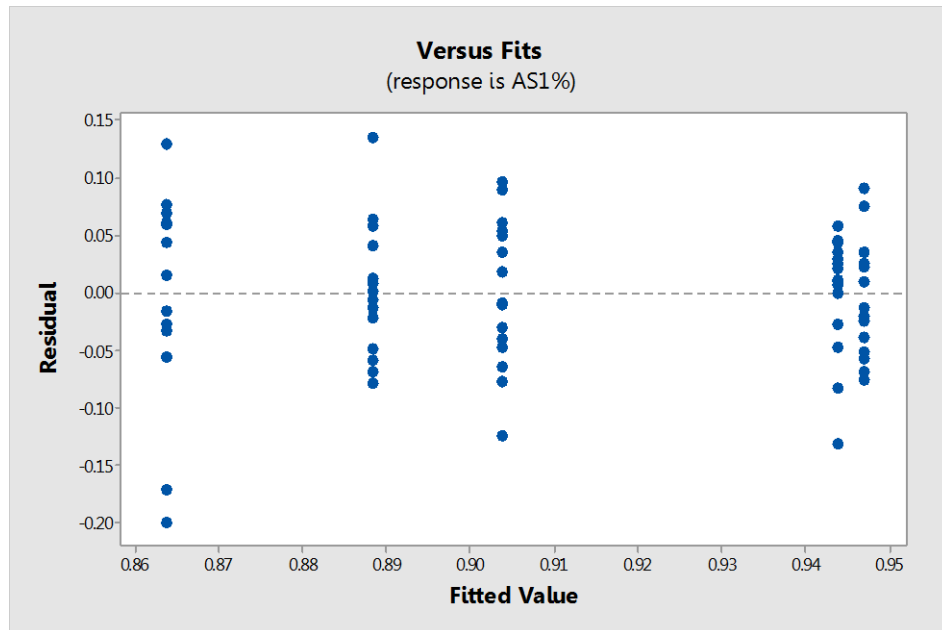
2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 3.11 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 3.11 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 3.12 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 3.12 Versus Fits Plot

ผลจากโปรแกรม Minitab

Factor Information

Factor	Levels	Values
Time	5	6, 12, 24, 48, 72

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Time	4	0.07741	0.019352	4.44	0.003
Error	70	0.30493	0.004356		
Total	74	0.38234			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0660011	20.25%	15.69%	8.45%

กำหนดสมมติฐาน LLDPE ที่มีสาร Antistatic 1%

H_0 : ค่า COF ของฟิล์ม LLDPE ที่มี Antistatic 1% ที่เวลาแตกต่างกัน ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่า COF ของฟิล์ม LLDPE ที่มี Antistatic 1% ที่เวลาแตกต่างกัน แตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม

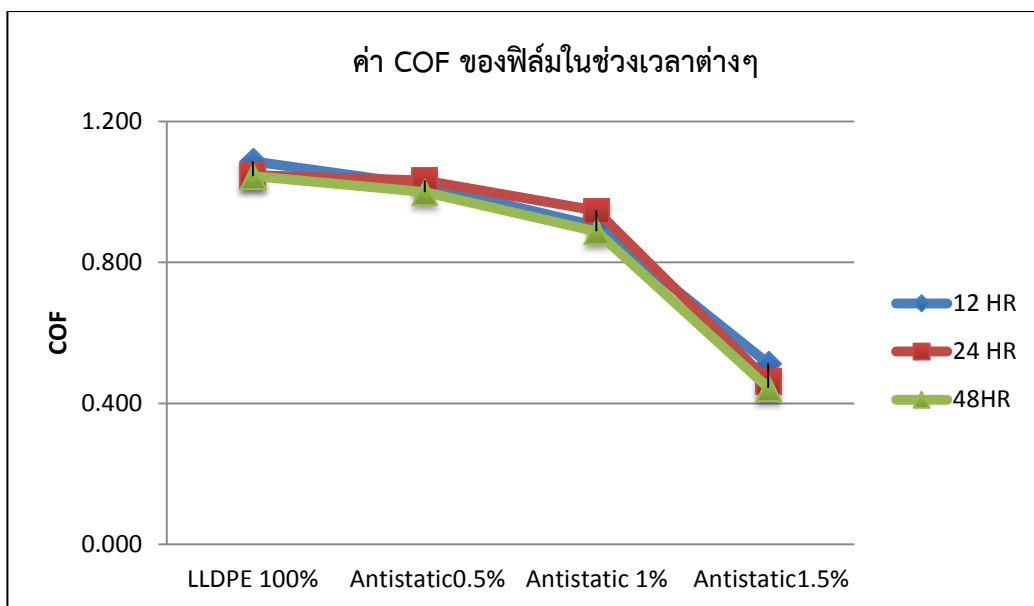
จากตาราง Anova ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสรุปว่า ค่า COF ของฟิล์ม LLDPE ที่มี Antistatic 1% ที่เวลาแตกต่างกัน แตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม จึงทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่โดยวิธี Tukey และพบว่า ค่า COF ของฟิล์ม LLDPE ที่มีสัดส่วนสาร Antistatic 1% ที่เวลา 6 ชั่วโมงต่างจาก 24 ,72 ชั่วโมง

สรุปผลเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 3.10 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF)กับช่วงเวลาต่างๆโดยวิธี Tukey ที่สัดส่วนสาร Antistatic เท่ากับ1%

เวลา(ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย(COF)	กลุ่ม
24	0.9471	A
72	0.9439	A
12	0.9039	A B
48	0.8883	A B
6	0.8638	B

จากการวิเคราะห์ผลพบว่า ที่เวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมงให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใกล้เคียงกัน จึงพล็อตกราฟดูแนวโน้ม ที่ช่วงเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ของฟิล์มในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.11 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความขุ่นของฟิล์มทั้ง 4 สูตร ที่ช่วงเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง

Time (hr)	LLDPE 100%	Antistatic 0.5%	Antistatic 1%	Antistatic 1.5%
12	1.087	1.019	0.904	0.513
24	1.047	1.032	0.947	0.463
48	1.045	1.000	0.888	0.444

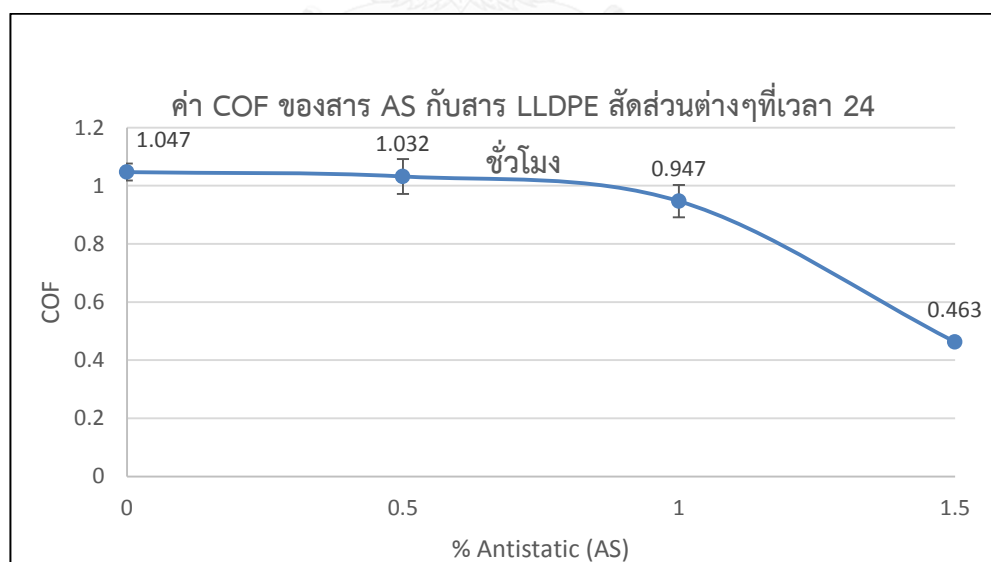
จากกราฟเห็นได้ว่า ช่วงเวลา 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมงที่สาร Antistatic ความเข้มข้นขนาดต่างๆ ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่แตกต่างกันมาก จึงเลือกพิจารณาที่เวลา 24 ชั่วโมง เพราะเป็นช่วงเวลาที่ฟิล์มไปถึงลูกค้ามากที่สุด

3.5 ศึกษาความสัมพันธ์ของวัสดุแต่ละชนิดที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งาน

งานวิจัยนี้ทำการเลือกศึกษาสารที่มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานคือ สาร Antistatic (AS) สาร Slip Agent (SL) และสาร Antiblocking (AB) และตามตารางความต้องการของลูกค้าจะเห็นได้ว่ามีคุณสมบัติด้านอื่นที่ลูกค้าต้องการ เช่น ความชุ่ม ความต้านทานพื้นผิว ทั้งนี้ทางผู้วิจัยจึงศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของฟิล์มด้านอื่นๆด้วยคือ ค่า Surfaceresistivity และ ค่าความชุ่มของสารแต่ละชนิดได้ผลดังต่อไปนี้

กราฟปัจจัยหลักของสารเดี่ยวได้แก่สาร Antistatic (AS) สาร Slip Agent (SL) และสาร Antiblocking (AB) กับฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น วัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง

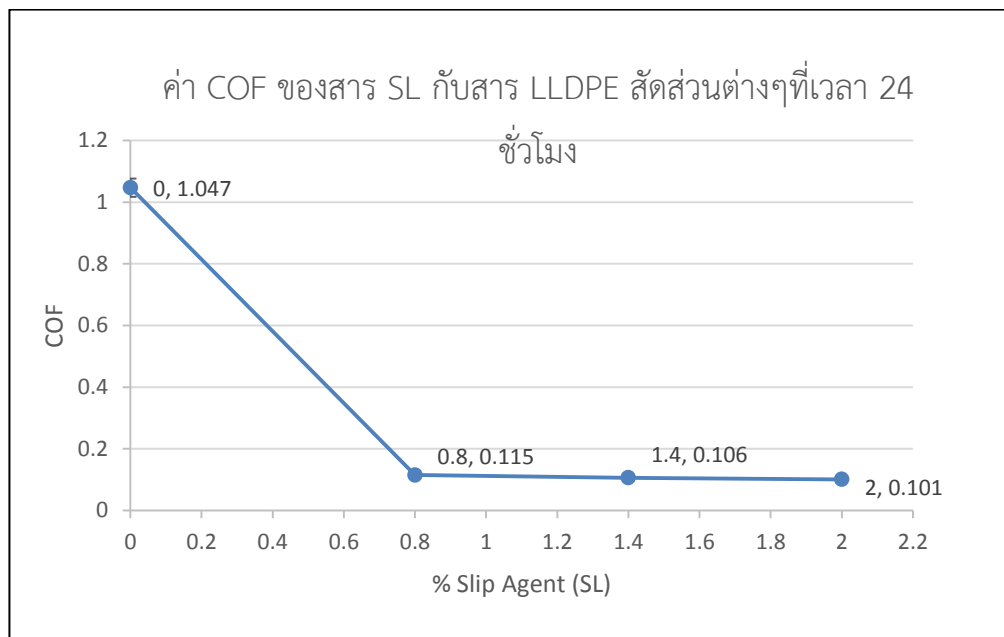
COF	AS 0%	AS 0.5%	AS 1%	AS1.5%
Mean	1.047	1.032	0.947	0.463
SD	0.029	0.060	0.056	0.008



รูปที่ 3.14 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF)ของฟิล์ม LLDPE กับสาร AS ที่เวลา 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่า เมื่อใส่สาร AS สัดส่วนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนถึงสาร AS ที่สัดส่วน 1% และลดลงมาก ที่สัดส่วน 1.5%

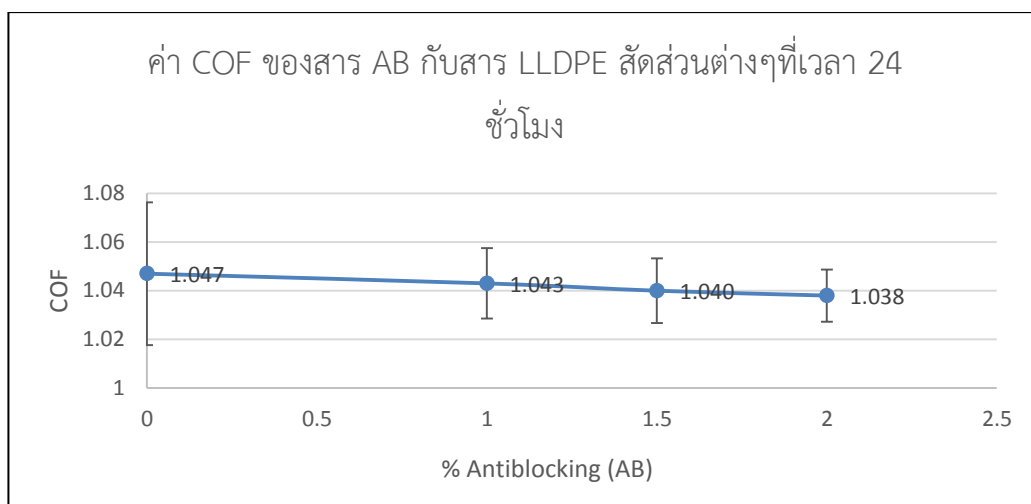
COF	SL 0%	SL 0.8(%)	SL 1.4(%)	SL 2(%)
Mean	1.047	0.115	0.106	0.101
SD	0.029	0.003	0.002	0.003



รูปที่ 3.15 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม LLDPE กับสาร SL ที่เวลา 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นได้ว่า เมื่อใส่สาร SL สัดส่วนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อใส่สารในสัดส่วนเพิ่มขึ้น

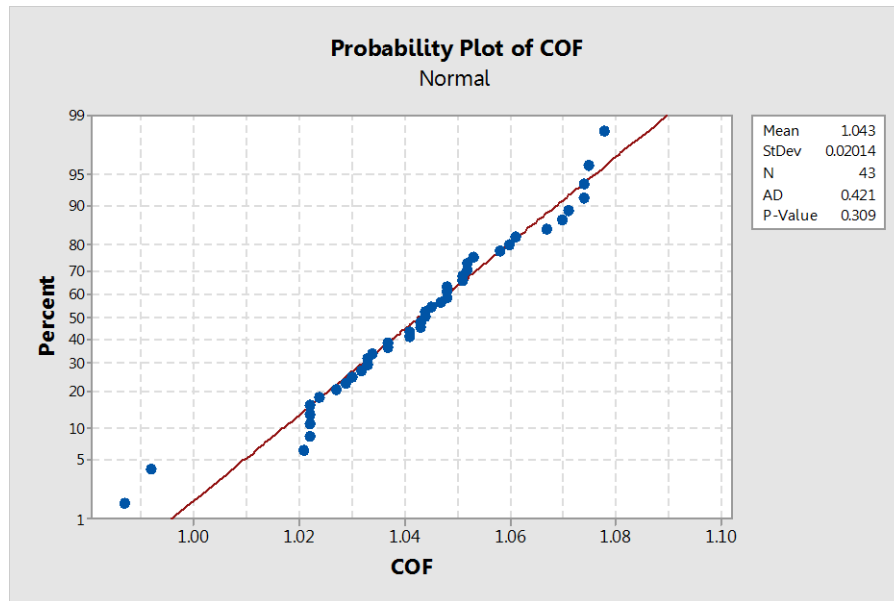
COF	AB 0%	AB 1%	AB 1.5%	AB 2%
Mean	1.047	1.043	1.040	1.038
SD	0.029	0.014	0.013	0.011



รูปที่ 3.16 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ของฟิล์ม LLDPE กับสาร AB ที่เวลา 24 ชั่วโมง

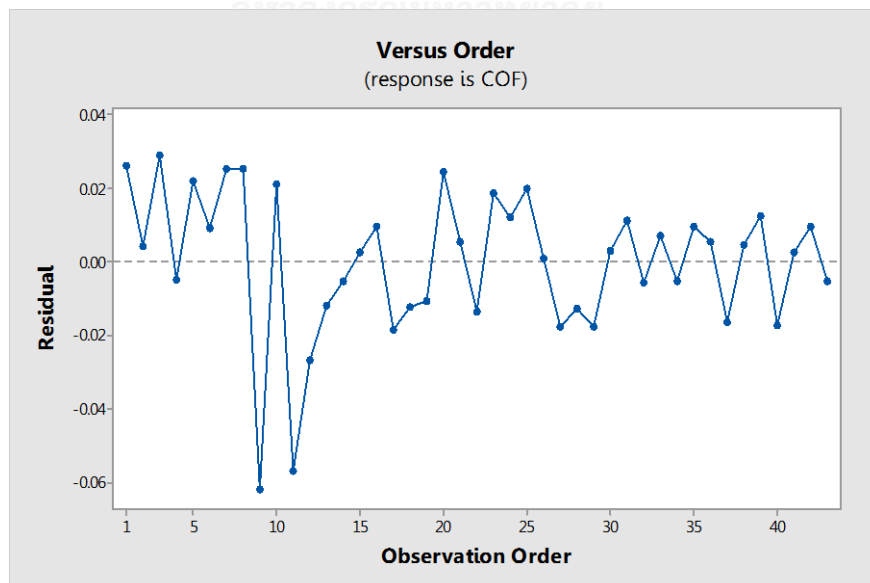
จากรูปที่ 3.16 จะเห็นได้ว่า เมื่อใส่สาร AB สัดส่วนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำข้อมูลมาทดสอบว่าเมื่อใส่ สาร Antiblocking ในสัดส่วนต่างๆทำให้ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแตกต่างกันหรือไม่ โดยการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ย 1 ประชากร คือการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ก่อนทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ จากโปรแกรม Minitab ต้องต้องทำการวิเคราะห์ Residual plot เพื่อดูว่าสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อได้หรือไม่ จากการวิเคราะห์การทดสอบตามกรณีดังนี้

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 3.17 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



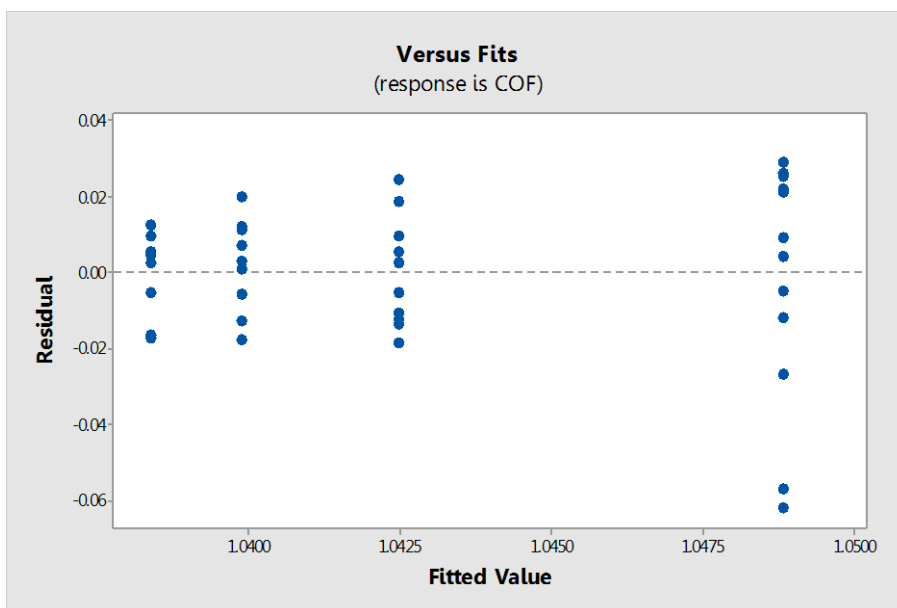
รูปที่ 3.17 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 3.18 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 3.18 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 3.19 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values หากไม่นับสองข้อมูลที่มี Residual ต่ำมาก ๆ นั้น ยังพอยอมรับได้ว่าค่า Residual มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 3.19 Versus Fits Plot
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลจากโปรแกรม

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
%AB	3	0.000604	0.000201	0.50	0.685
Error	41	0.016550	0.000404		
Total	44	0.017154			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0200910	3.52%	0.00%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.04207	0.00304	342.62	0.000	

%AB					
0.0	0.00540	0.00476	1.13	0.264	1.38
1.0	0.00043	0.00543	0.08	0.937	1.46
1.5	-0.00217	0.00543	-0.40	0.692	1.46

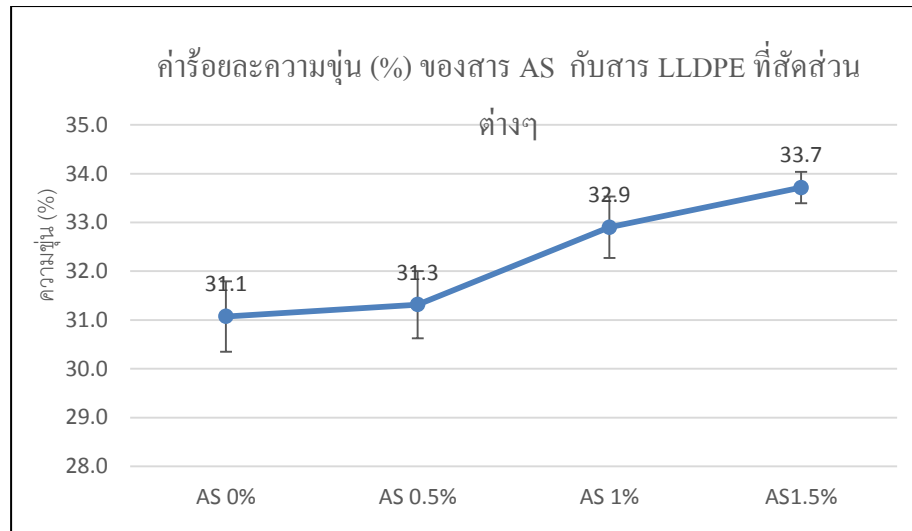
จากตาราง Anova ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสรุปว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของฟิล์ม LLDPE ที่มีสาร Antiblocking ที่สัดส่วนต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

กราฟปัจจัยหลักของสาร Antistatic (AS) สาร Slip Agent (SL) และสาร Antiblocking (AB) แต่ละสารกับ LLDPE วัดค่าร้อยละความชุ่ม

ตารางที่ 3.12 ผลการทดสอบค่าร้อยละความชุ่ม ของฟิล์มที่สัดส่วน Antistatic ต่างๆ

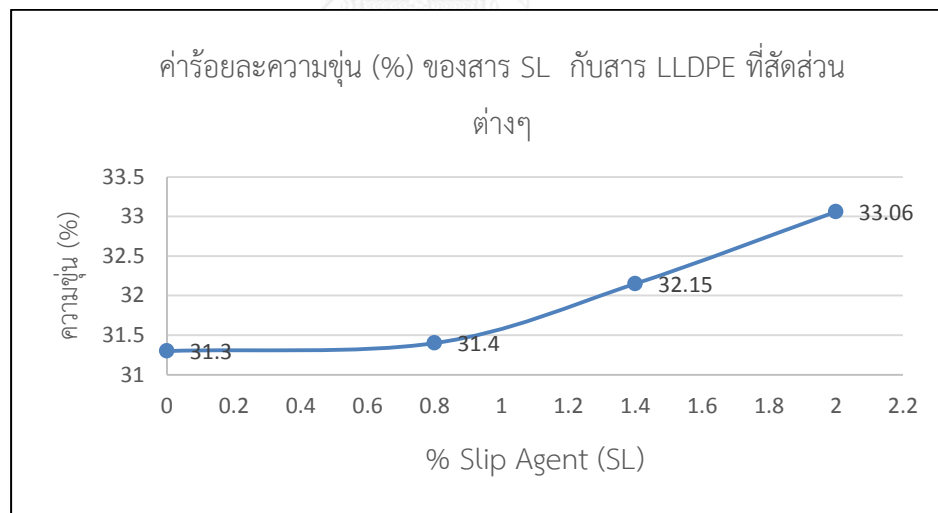
	LLDPE 100%	Antistatic0.5%	Antistatic 1%	Antistatic1.5%
1	29.2	30.8	33.8	34.5
2	31.8	32.4	31.5	31.6
3	32.4	30.5	33.4	31.4
4	32.7	31.4	33.8	34.8
5	30.9	31.2	34.3	33.6
6	30.1	30.4	29.5	35.2
7	30.4	32.5	34	34.9
Mean	31.1	31.3	32.9	33.7
SD	1.28	0.85	1.76	1.59

เมื่อทดสอบครั้งแรก $n=7$ ได้ค่าความแปรปรวน = 1.28^2 จึงนำมาหาขนาด n ที่เหมาะสมโดยที่กำหนด ความคลาดเคลื่อน $E = 1$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ได้ขนาด $n= 7$ ตัวอย่าง



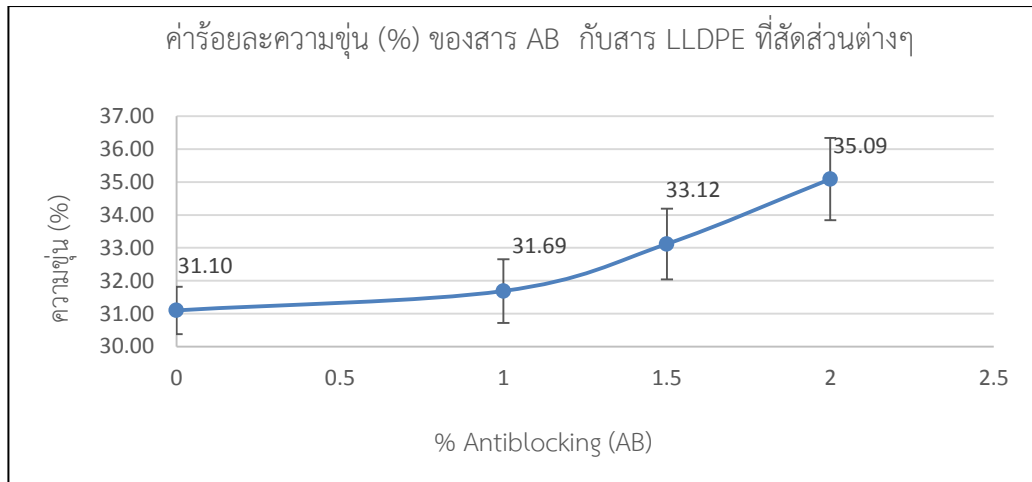
รูปที่ 3.20 ค่า Haze ของสาร AS กับสาร LLDPE ที่สัดส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่า เมื่อสัดส่วน Antistatic เพิ่มมากขึ้น फिल्मจะมีค่า ความทึบแสงเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย นั่นคือ फिल्मที่ได้จะมีความขุ่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.21 ค่า Haze ของสาร SL กับสาร LLDPE ที่สัดส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 3.21 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาร SL จะทำให้ค่า Haze มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย นั่นคือ फिल्मจะขุ่นขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 3.22 ค่า Haze ของสาร AB ของฟิล์ม LLDPE ที่สัดส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 3.22 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาร SL จะทำให้ค่า Haze มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย นั่นคือฟิล์มจะขุ่นขึ้นเล็กน้อย

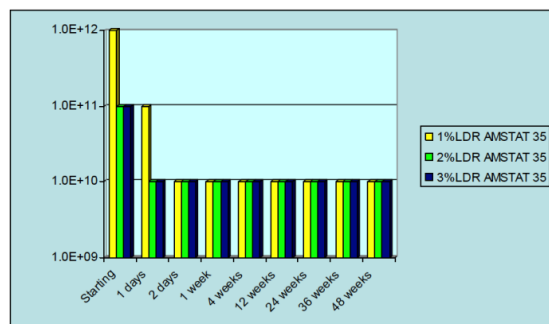
สำหรับการวัดค่า Surfaceresistivity วัดผลเมื่อหลังจากการผลิตอย่างน้อย 2 วัน เนื่องจากไบบอกลคุณสมบัติของสาร Antistatic พบว่าควรวัดอย่างน้อย 2 วัน ค่า Surfaceresistivity ถึงจะเท่ากันไม่ว่าจะใส่ที่ปริมาณสารเท่าใดก็ตาม ดังรูปที่ 3.23



PRODUCT INFORMATION

Ampacet (Thailand) Co., Ltd
331 E-mail: customer@ampacet.com Rayong 21140 THAILAND

Tel.: + 66 (38) 927-999 Eastern Seaboard Industrial Estate Fax.: + 66 (38) 955-250 64/19 Moo 4, Highway

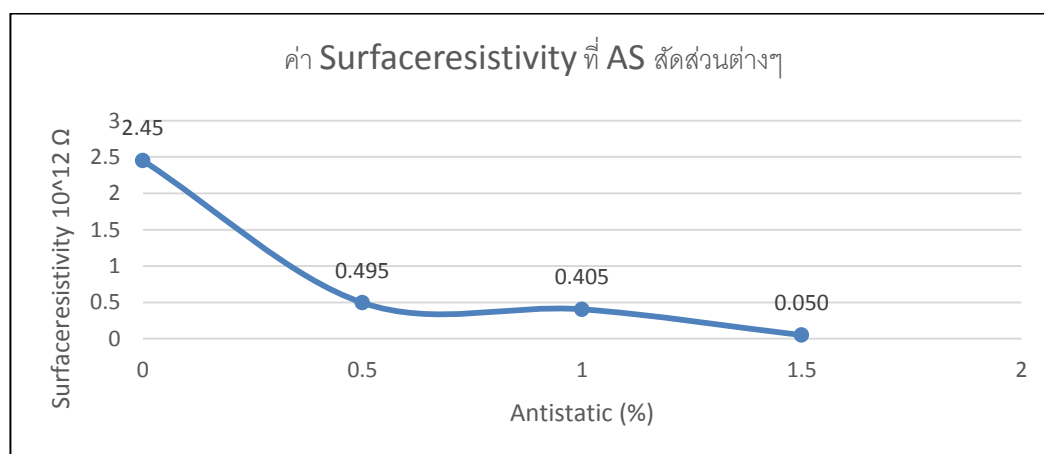


Note. Film samples are made with AMSTAT 35 in 30 μ m LDPE blown film Surface resistivity measured at 50%RH, 25°C

รูปที่ 3.23 datasheet Antistatic ที่มา Ampacet.com

กราฟปัจจัยหลักของสาร Antistatic (AS) สาร Slip Agent (SL) และสาร Antiblocking (AB) กับ LLDPE วัดค่า Surface Resistivity (หน่วย : Ω)

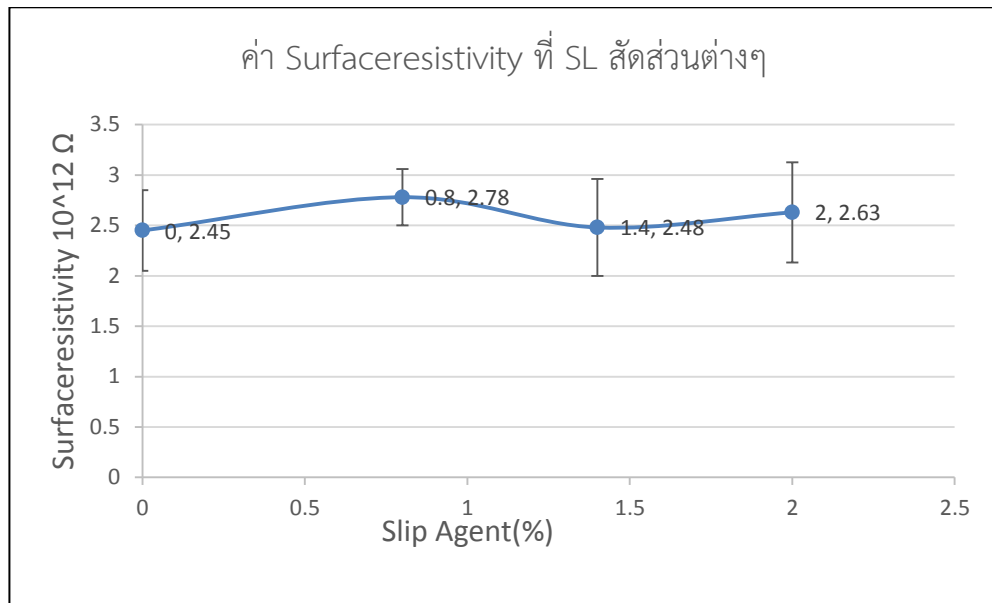
AS	AS 0%	AS 0.5%	AS 1%	AS1.5%
Surfaceresistivity	2.45×10^{12}	4.95×10^{11}	4.05×10^{11}	5.92×10^{10}



รูปที่ 3.24 ค่า Surface Resistivity ของฟิล์มที่ สาร Antistatic (AS) กับ LLDPE สัดส่วนต่างๆ (ฐาน 1×10^{12})

จากตารางผลการทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว พบว่า ฟิล์ม LLDPE 100% ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว เป็นวัสดุประเภทฉนวน (Insulative Material) ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก เป็นสาเหตุให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ขึ้น และเมื่อใส่สาร Antistatic ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าฟิล์ม ได้เปลี่ยนเป็นประเภทวัสดุ กึ่งตัวนำไฟฟ้า (Dissipative Materials) สามารถลดการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ โดยใช้หลักการนำพาอิเล็กตรอนจากชิ้นงานออกสู่ สิ่งแวดล้อม ทำให้ประจุไฟฟ้า ที่สะสมในพลาสติกลดลงโดยที่ ระดับความเข้มข้นสาร Antistatic ที่ 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวใกล้เคียงกันมาก และ ระดับความเข้มข้นสาร Antistatic ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวต่ำที่สุดโดยประมาณ $10^{10} \Omega$ อ้างอิงโดยตารางที่ 2.1

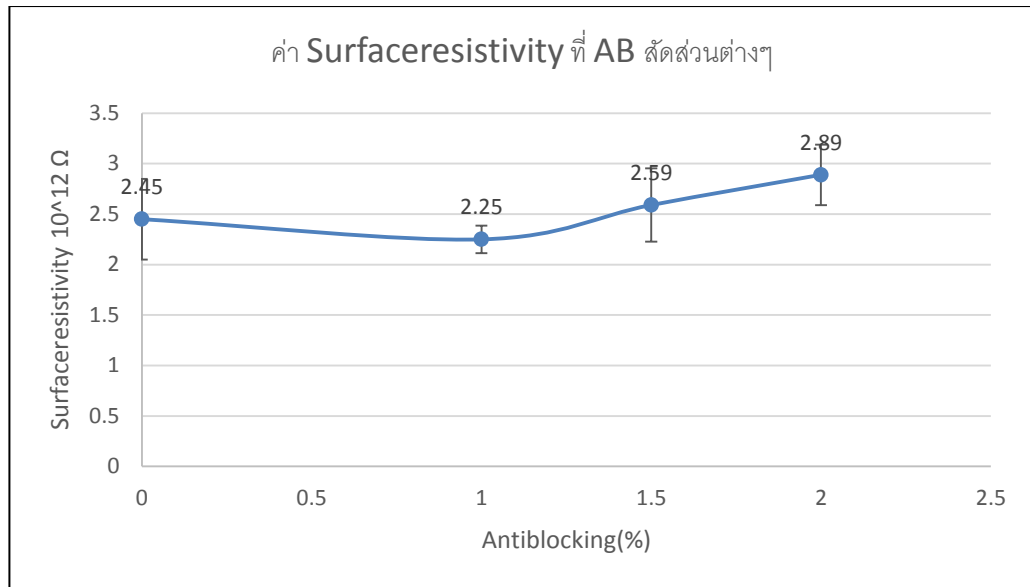
SL	SL 0%	SL 0.8(%)	SL 1.4(%)	SL 2(%)
Surfaceresistivity	2.45×10^{12}	2.78×10^{12}	2.48×10^{12}	2.63×10^{12}



รูปที่ 3.25 ค่า Surface Resistivity ของฟิล์มที่ สาร Slip Agent (SL) กับ LLDPE สัดส่วนต่างๆ
(ฐาน 1×10^{12})

จากรูปที่ 3.25 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาร Slip Agent ค่า Surfaceresistivity มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ไม่เกินค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เฉลี่ยที่ $2.59 \times 10^{12} \Omega$

AB	AB 0%	AB 1%	AB 1.5%	AB 2%
Surfaceresistivity	2.45×10^{12}	2.25×10^{12}	2.59×10^{12}	2.89×10^{12}



รูปที่ 3.26 ค่า Surface Resistivity ของฟิล์มที่ สาร Antiblocking (AB) กับ LLDPE สัดส่วนต่างๆ
(ฐาน 1×10^{12})

จากรูปที่ 3.26 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาร Antiblocking ค่า Surfaceresistivity มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ไม่เกินค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เฉลี่ยที่ $2.55 \times 10^{12} \Omega$

บทที่ 4

วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

4.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมส่วนผสมและการเป่าขึ้นรูป

- พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) ที่มีความหนาแน่น 0.918 กรัม/ตารางเซนติเมตร ดัชนีการหลอมไหล 1.0 กรัม/10 นาที (190 °C/2.16 กิโลกรัม)
- สารป้องกันไฟฟ้าสถิต ที่มีสาร Antistatic 7% ในพอลิเอทิลีน (LDPE) มีความหนาแน่น 550 กรัม/ลิตร ดัชนีการหลอมไหล 3.4 กรัม/10 นาที (190 °C/2.16 กิโลกรัม)
- สารทำให้ลื่น ที่มีสารเคมีประเภท Amides 5% ในพอลิเอทิลีน (PE) มีความหนาแน่น 550 กรัม/ลิตร ดัชนีการหลอมไหล 10 กรัม/10 นาที (190 °C/2.16 กิโลกรัม) ประเภทแพร่ไปที ผิวอย่างช้า (Slow Migrat)
- สารป้องกันการยึดติด ที่มีซิลิกา 20% ในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ดัชนีการหลอมไหล 5 กรัม/10 นาที (190 °C/2.16 กิโลกรัม)
- เครื่องเป่าขึ้นรูปแบบ 1 สกรู ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องเป่าฟิล์มแบบ 1 สกรู

- เครื่องชั่ง ใช้สำหรับชั่งเตรียมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งในสัดส่วนต่างๆที่วางแผนไว้



รูปที่ 4.2 เครื่องชั่ง
ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา

- เครื่องวัดความหนา ใช้เพื่อวัดความหนาของฟิล์มเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ



รูปที่ 4.3 เครื่องวัดความหนา
ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา

4.1.2 เครื่องวัด

- เครื่องทดสอบ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม Coefficient of Friction Tester (COF) วัดตามมาตรฐาน ASTM D1894



รูปที่ 4.4 เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม Model SDT-100

ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา

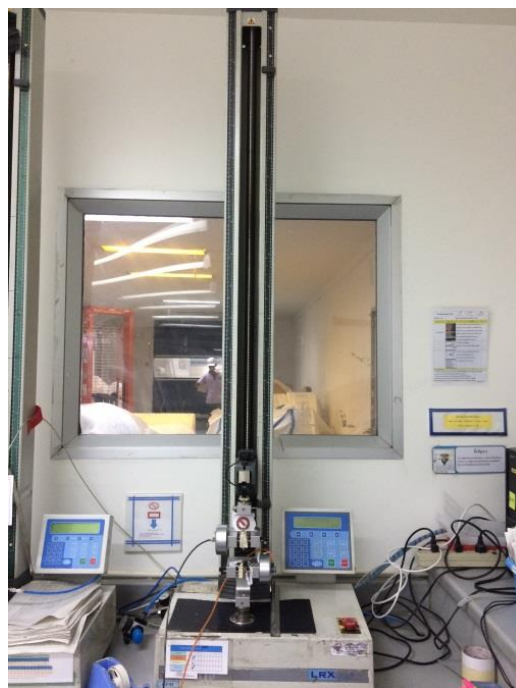
- เครื่องมือวัดค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) วัดตามมาตรฐาน ASTM D 257



รูปที่ 4.5 เครื่องวัดความต้านทานพื้นผิว รุ่น PRS-812

ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา

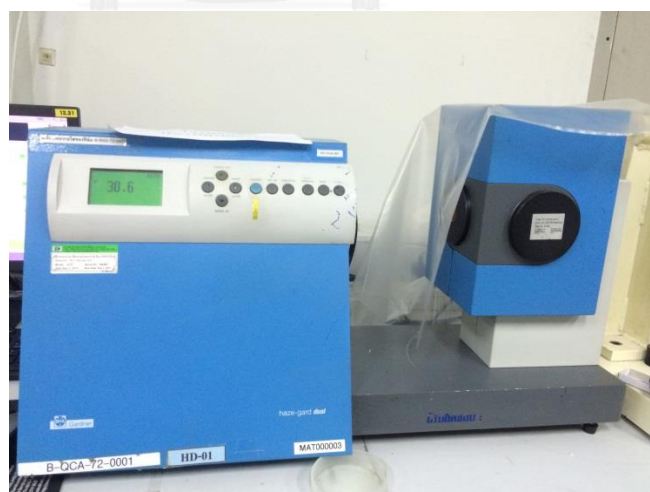
- เครื่องมือทดสอบแรงดึง (Tensile Test) วัดตามมาตรฐาน ASTM D 882



รูปที่ 4.6 เครื่องมือทดสอบแรงดึง Model LRX-Plus

ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา

- เครื่องวัดความใสหรือขุ่นมัวของฟิล์ม (Haze-Gard Plus, Dual) วัดตามมาตรฐาน ASTM D1003



รูปที่ 4.7 เครื่องวัดความใสหรือขุ่นมัวของฟิล์ม Model Haze-Gard plus

ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. วางแผนการทดลองโดยการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่ สาร Slip agent สาร Antistatic และสาร Antiblocking คัดเลือกระดับของปัจจัย และออกแบบตารางการทดลอง
2. ทำการเบิกเม็ดพลาสติก และ สารเติมแต่งที่ใช้ให้เพียงพอในล็อตเดียวกัน
3. ชั่งน้ำหนักสารผสมตามสัดส่วนที่ได้ออกแบบการทดลอง
4. เป่าขึ้นรูปและดูว่าได้ฟิล์มตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ความหนา น้ำหนักต่อเมตร ความกว้างของฟิล์ม โดยกำหนด อุณหภูมิ ความเร็วรอบสกรู คงที่ทุกการทดลอง ดังตารางที่ 4.1 โดยกำหนด เป่าฟิล์มหนา 50 ไมครอน (0.05mm) ขนาดมาตรฐาน อัตราการเบ่ง 2.5 BUR (2.5 เท่าหัว DIE) เครื่องที่ใช้คือ เครื่องเป่าฟิล์มแบบ 1 ชั้น ขนาดหัว DIE = 120 (DIE DIAMETER) ความกว้างฟิล์มคือ 470 mm ใช้เวลาเป่าไม่ต่ำกว่า 1 ชม. ต่อ 1 เงื่อนไข

ตารางที่ 4.1 ค่า Setting ต่างๆ ของเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม

เงื่อนไขต่างๆ	ค่าที่ตั้งไว้
ลมเย็น	34.4
ลูกกลิ้งตัวล่าง	6.3
หนาบาง	10.8
อุณหภูมิท่อ 1	149
อุณหภูมิท่อ 2	155
อุณหภูมิท่อ 3	156
อุณหภูมิท่อน้ำแปะ	161
หัวเป่าบน	160
อุณหภูมิหัวเป่า	160
ความเร็วสกรู	26.5

ตอนเป่าความหนาวัดเป็น น้ำหนักต่อเมตร เช่น กำหนดหนา 50 ไมครอน จะได้ น้ำหนักต่อเมตรคือ 44.8 กว้าง 47 check โดย QC ประจำเครื่อง

5. บันทึกเวลาที่ผลิตเสร็จลงตาราง

6. ตัดฟิล์มเพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตามช่วงเวลาที่กำหนด และทดสอบคุณสมบัติอื่นๆที่ต้องการ
7. วิเคราะห์ผลการทดสอบ ตามที่ออกแบบการทดลองไว้

4.2.2 วิธีการทดลอง

1. นำสาร LLDPE มาขึ้นรูปเป็นฟิล์ม LLDPE 100%
2. นำสาร LLDPE มาผสมกับสาร Antistatic (AS) ที่สัดส่วนร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5
3. นำสาร LLDPE มาผสมกับสาร Slip Agent (SL) ที่สัดส่วนร้อยละ 0.8, 1.4 และ 2
4. นำสาร LLDPE มาผสมกับสาร Antiblocking (AB) ที่สัดส่วนร้อยละ 1, 1.5 และ 2
5. นำสาร LLDPE มาผสมกับสาร AS สาร SL และสาร AB ที่สัดส่วนต่างๆ ตามตารางการออกแบบการทดลอง ตารางที่ 4.2
6. นำตัวอย่างที่ทดลองได้ไปลาม้วนมาตัดเป็นแผ่น เพื่อนำมาวัดค่าที่ต้องการทดสอบ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ค่าความขุ่น (Haze) และ ค่า Surface Resistivity
7. จากข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้ นำมาพล็อตกราฟ และ ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน วิธีการออกแบบการทดลองแบบ CCD วิธี Boxbehken และ วิธีแฟคทอเรียล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab
8. เปรียบเทียบผลการทดสอบของแต่ละวิธีการ จากสมการการพยากรณ์ วิธี CCD วิธี Boxbehken และ วิธีแฟคทอเรียล

ตารางที่ 4.2 ตารางออกแบบการทดลองที่สัดส่วนสาร Antistatic (AS), Slip Agent (SL) และ Antiblocking (AB) ในระดับต่างๆ

AS (A)		SL (B)																																						
		% โดยน้ำหนัก																																						
		0					0.4 [-1.633]					0.8 [-1]					1.4 [0]					2 [1]					2.4 [-1.633]													
% โดยน้ำหนัก		AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)													
Uncode	Code	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3			
		(-1.633)	(-1)	(0)	(1)	(1.633)	(-1.633)	(-1)	(0)	(1)	(1.633)	(-1.633)	(-1)	(0)	(1)	(1.633)	(-1.633)	(-1)	(0)	(1)	(1.633)	(-1.633)	(-1)	(0)	(1)	(1.633)	(-1.633)	(-1)	(0)	(1)	(1.633)	(-1.633)	(-1)	(0)	(1)	(1.633)				
0.0		•		•	•	•																																		
0.2	(-1.633)																																							
0.5	(-1)	•																																						
1.0	(0)	•																																						
1.5	(1)	•																																						
1.8	(1.633)																																							

จากตารางที่ 4.2 แสดงการทดลองทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยทั้งสิ้น 49 การทดลอง ประกอบไปด้วยการทดลองที่ระดับของปัจจัยทั้งสามที่ระดับศูนย์ และเพิ่มปัจจัยและระดับของปัจจัยขึ้นตามลำดับ โดยแบ่งเป็นการทดลองเป็นการทดลองของสารแต่ละชนิด และสารทั้งสามชนิดรวมกันตามการออกแบบการทดลองโดยวิธี CCD วิธี Boxbehnken และ วิธีแฟคทอเรียล

4.3 วิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้ นำมาพล็อตกราฟ และ ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล โดยวิธีการ เปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าสาร Antistatic มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังนี้ ที่ 24 ชั่วโมงหลังเป่าเสร็จวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เนื่องจากผลการทดลองพบว่าสาร Antistatic มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน จึงออกแบบการทดลองโดยวิธีการหาค่าผลตอบที่เหมาะสม เพราะในการออกแบบการทดลองต้องมีการตัดสินใจเกี่ยวกับค่าที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้เกิดค่าที่ดีที่สุด โดยสามารถปรับตั้งค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ทำให้พบกับวิธีการที่เราต้องการ และทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยอีกด้วย

ในการกำหนดตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 ตัวได้แก่ คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ค่าความขุ่น(Haze) ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) และค่าแรงดึง ซึ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะให้น้ำหนักของตัวแปร ตอบสนองตัวที่ 1 คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากที่สุด เพราะเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดมาตรฐานของฟิล์มเพื่อส่งขายให้แก่ลูกค้าและเป็นปัญหามากที่สุดเพราะช่วงที่ต้องการค่อนข้างแคบ โดยตัวแปรตอบสนองตัวอื่นๆ จะพิจารณาไปด้วยกันแต่จะให้น้ำหนักที่น้อยกว่า

ตารางที่ 5.2 ผลของค่าร้อยละความขุ่น (Haze) จากการทดลองที่ระดับปัจจัยต่างๆ

AS (A)		SL (B)																																			
		% โดยน้ำหนัก																																			
		0					0.4 [-1.633]					0.8 [-1]					1.4 [0]					2 [1]					2.4 [-1.633]										
		AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)										
Ucode	Code	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3
		[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	
0.0		31.1		31.69	33.12	35.09																															
0.2	[-1.633]																																				
0.5	[-1]	31.31														30.99	33.21	31.16																			
1.0	[0]	32.9														29.83	31.87	33.02																			
1.5	[1]	33.71														29.44	30.51	30.05																			
1.8	[1.633]																																				

ตารางที่ 5.3 ผลของค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface resistivity) หน่วย ; $1 \times 10^{12} \Omega$ จากการทดลองที่ระดับปัจจัยต่างๆ

AS (A)		SL (B)																																				
		% โดยน้ำหนัก																																				
		0					0.4 [-1.633]					0.8 [-1]					1.4 [0]					2 [1]					2.4 [-1.633]											
		AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)					AB (C)											
Ucode	Code	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	0	0.7	1	1.5	2	2.3	
		[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]	[-1.633]	[-1]	[0]	[1]	[1.633]		
0.0		2.45		2.25	2.59	2.89										2.78																						
0.2	[-1.633]																																					
0.5	[-1]	0.50																																				
1.0	[0]	0.41														0.70																						
1.5	[1]	0.05														0.33	0.33	0.4																				
1.8	[1.633]																																					

5.1.1 ผลการทดสอบโดยวิธี CCD

ผลการทดสอบโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design : CCD) โดยมีตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรอิสระ และระดับของตัวแปรอิสระดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ระดับของปัจจัยนำเข้า โดยวิธี CCD

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย				
		$-\alpha$	Low(-1)	Center(0)	High(+1)	$+\alpha$
ปริมาณสาร Antistatic (%)	A	0.2	0.5	1	1.5	1.8
ปริมาณสารSlip Agent(%)	B	0.4	0.8	1.4	2	2.4
ปริมาณสาร Antiblocking(%)	C	0.7	1	1.5	2	2.3

ในการกำหนดตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 ตัวได้แก่ คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF), ค่าความขุ่น (Haze), ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) และแรงดึง ซึ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะให้น้ำหนักของตัวแปร ตอบสนองตัวที่ 1 คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากที่สุด เพราะเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดมาตรฐานของฟิล์มเพื่อส่งขายให้แก่ลูกค้าและเป็นปัญหามากที่สุด เพราะช่วงที่ต้องการค่อนข้างแคบ โดยตัวแปรตอบสนองตัวอื่นๆ จะพิจารณาไปด้วยกันแต่จะให้น้ำหนักที่น้อยกว่าได้ผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางแสดงผลการทดลอง

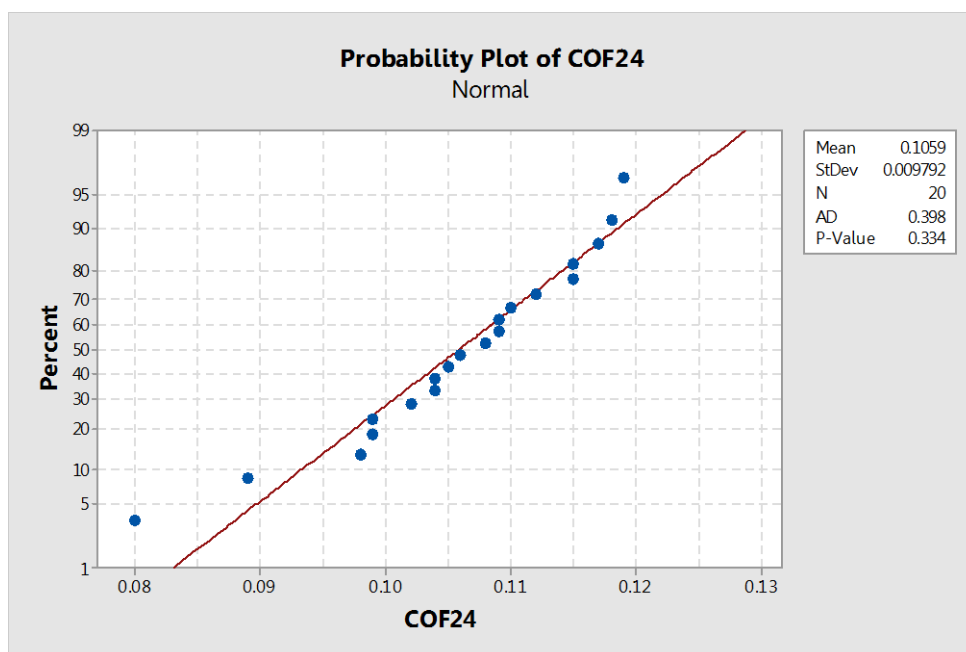
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองระหว่างตัวแปรตอบสนอง ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ค่าความขุ่น (Haze) และ ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) โดยวิธี CCD

ทดลองที่	A	B	C	%AS	%SL	%AB	COF 24 hr	OF 48 hr	Haze (%)	Surface $\times 10^{12} \Omega$
1	-1	-1	-1	0.5	0.8	1	0.111	0.136	30.99	2.6
2	1	-1	-1	1.5	0.8	1	0.155	0.190	29.44	0.33
3	-1	1	-1	0.5	2	1	0.102	0.104	29.36	4
4	1	1	-1	1.5	2	1	0.133	0.136	28.33	0.44
5	-1	-1	1	0.5	0.8	2	0.095	0.097	31.16	3.6
6	1	-1	1	1.5	0.8	2	0.190	0.213	30.05	0.4
7	-1	1	1	0.5	2	2	0.099	0.102	30.34	3.3
8	1	1	1	1.5	2	2	0.106	0.118	29.74	0.32
9	-1.633	0	0	0.2	1.4	1.5	0.118	0.138	32.37	2.4
10	1.633	0	0	1.8	1.4	1.5	0.155	0.180	29.1	0.33
11	0	-1.633	0	1	0.4	1.5	0.169	0.177	31.86	0.70
12	0	1.633	0	1	2.4	1.5	0.111	0.117	28.45	0.69
13	0	0	-1.633	1	1.4	0.7	0.107	0.113	26.69	0.70
14	0	0	1.633	1	1.4	2.3	0.106	0.124	30.93	0.71
15	0	0	0	1	1.4	1.5	0.102	0.110	29.28	0.71
16	0	0	0	1	1.4	1.5	0.103	0.113	30.27	0.69
17	0	0	0	1	1.4	1.5	0.101	0.105	30.69	0.70
18	0	0	0	1	1.4	1.5	0.104	0.110	30.17	0.67
19	0	0	0	1	1.4	1.5	0.106	0.110	29.27	0.69
20	0	0	0	1	1.4	1.5	0.106	0.109	29.12	0.72

การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ที่เวลา 24 ชั่วโมง
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่

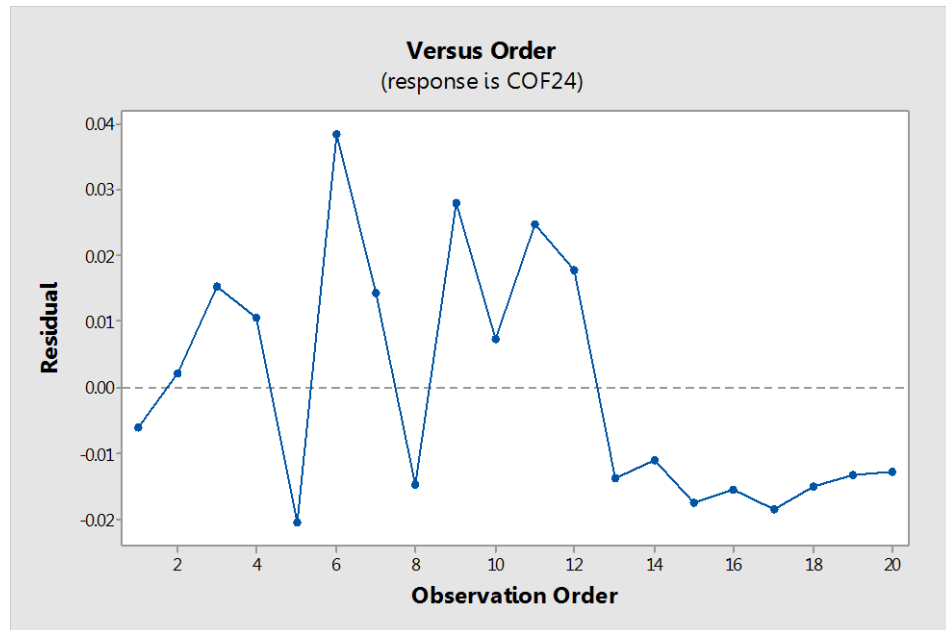
1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติ

หรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.1 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



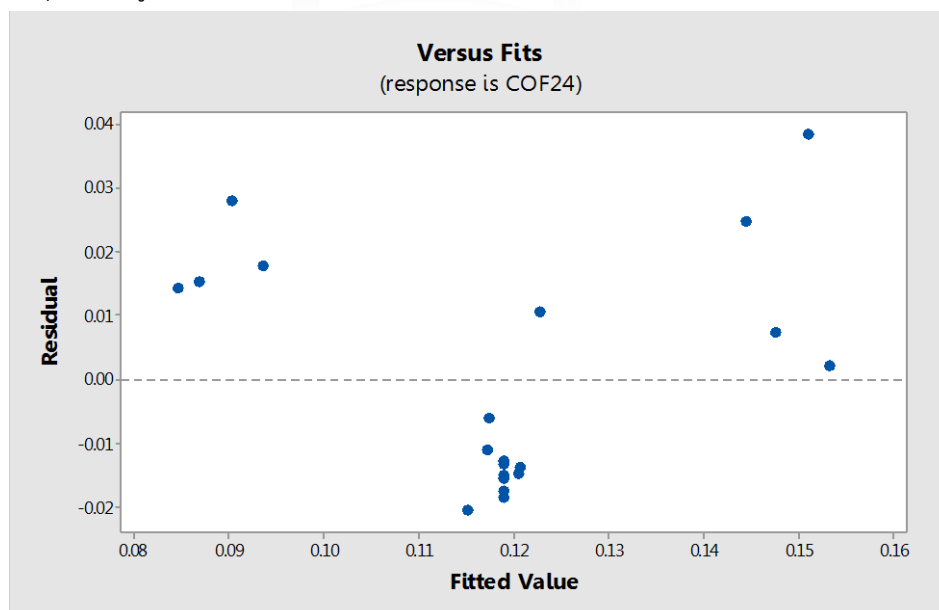
รูปที่ 5.1 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.2 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.2 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้นแผนภาพการกระจายไม่ควรจะมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.3 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.3 Versus Fits Plot

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง

Response Surface Regression: COF 24 versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.012332	0.001370	10.44	0.001
Linear	3	0.007351	0.002450	18.67	0.000
AS	1	0.004190	0.004190	31.92	0.000
SL	1	0.003145	0.003145	23.96	0.001
AB	1	0.000016	0.000016	0.12	0.736
Square	3	0.003333	0.001111	8.46	0.004
AS*AS	1	0.001551	0.001551	11.82	0.006
SL*SL	1	0.001962	0.001962	14.94	0.003
AB*AB	1	0.000003	0.000003	0.02	0.889
2-Way Interaction	3	0.001648	0.000549	4.18	0.037
AS*SL	1	0.001270	0.001270	9.68	0.011
AS*AB	1	0.000087	0.000087	0.66	0.434
SL*AB	1	0.000290	0.000290	2.21	0.168
Error	10	0.001313	0.000131		
Total	19	0.013644			

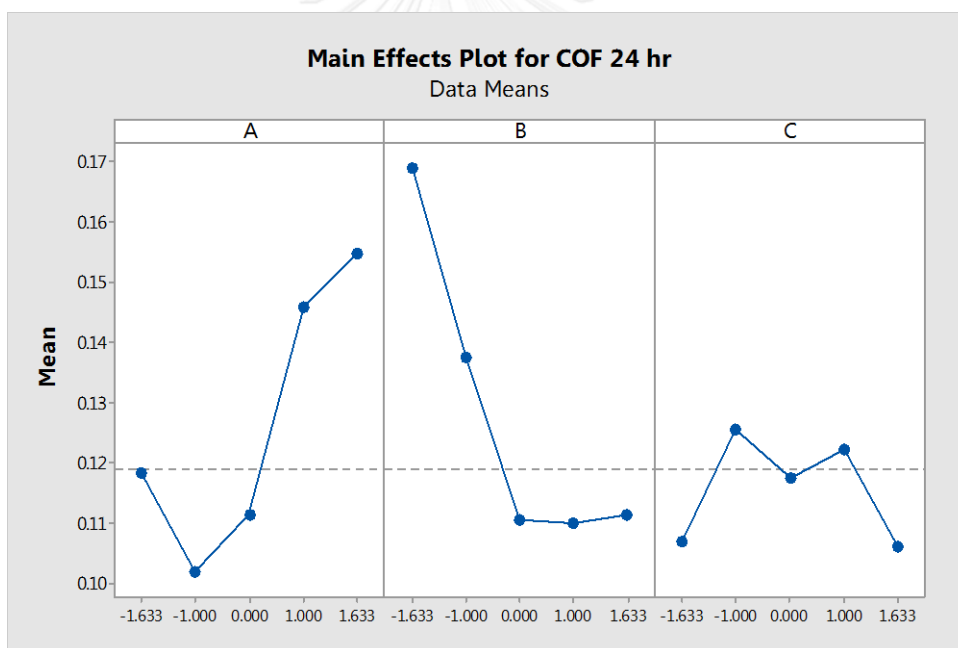
S = 0.01146 R-Sq = 90.4% R-Sq(adj) = 81.7%

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) และ ปริมาณสาร Slip Agent (SL) ปัจจัยหลักกำลังสองมีผล 2 ตัว คือ ปริมาณสาร Antistatic (AS*AS) และ ปริมาณสาร Slip Agent (SL*SL) และ อันตรกิริยา (Interaction) มีผล 1 ตัวคือ ปริมาณสาร Antistatic กับปริมาณสาร Slip Agent (AS*SL) แสดงวิธีการวัดค่าดังภาพผนวก ข (หน้า 147-148)

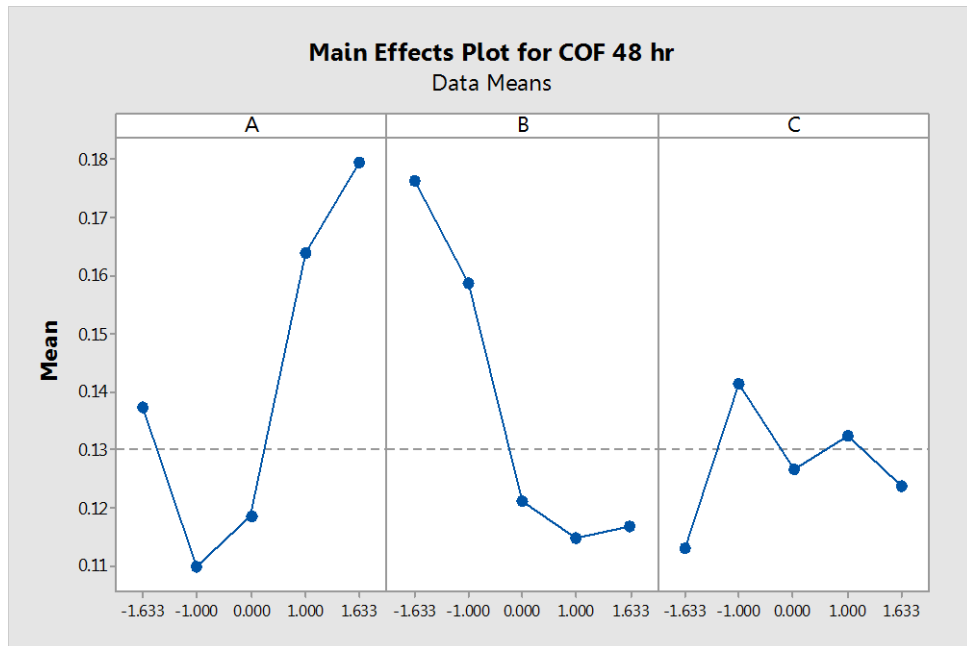
เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี CCD ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{COF}_{24} = & 0.1538 + 0.0045 \text{ AS} - 0.0752 \text{ SL} + 0.0451 \text{ AS*AS} \\ & + 0.03277 \text{ SL*SL} - 0.0420 \text{ AS*SL} \end{aligned} \quad (1)$$

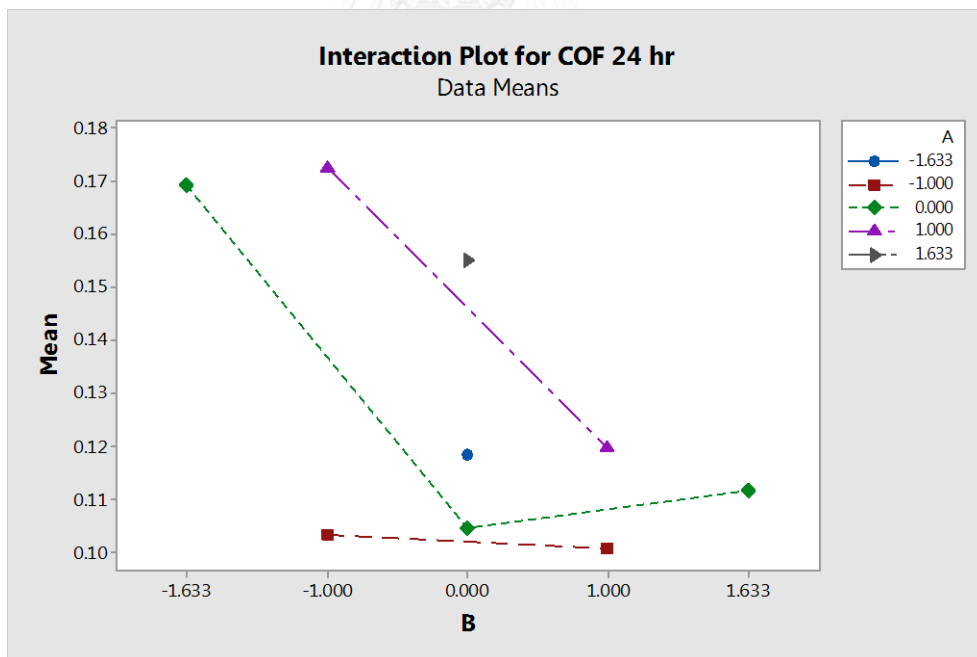
นำข้อมูลมาทำ Main effect plot พล็อตเพื่อดูผลของปัจจัยหลักแต่ละตัวพบว่าเมื่อปริมาณสาร AS เพิ่มขึ้นจาก -1 ถึง 1.633 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นจาก 0.102 ถึง 0.155 นั่นคือฟิล์มที่ได้จะมีความฝืดขึ้น ซึ่งมีความขัดแย้งกับการทดลองครั้งที่ 1 ที่ใส่สาร AS อย่างเดียวยิ่งใส่ปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความลื่นขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงลองนำฟิล์มมาวัดค่าอีกครั้งที่เวลา 48 ชั่วโมง และสำหรับปัจจัยปริมาณสาร SL เมื่อใส่ปริมาณเพิ่มขึ้นจาก -1.633 ถึง 1 พบว่าทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง สำหรับปัจจัย AB ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) เท่ากับ 0.05



รูปที่ 5.4 Main Effect Plot ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ที่เวลา 24 ชั่วโมง



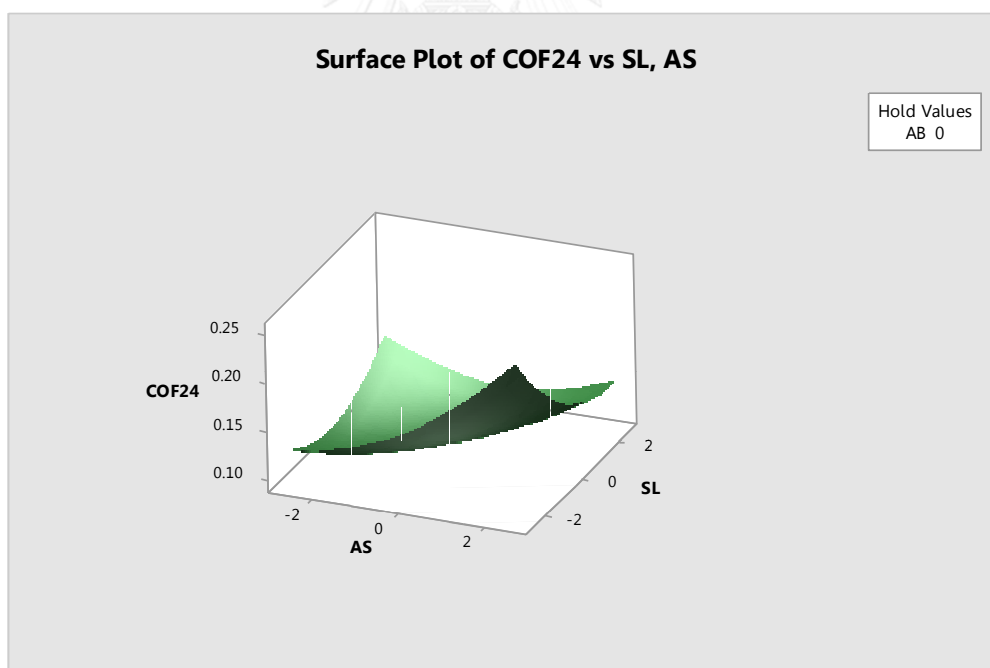
รูปที่ 5.5 Main Effect Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 5.6 Interaction Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับปัจจัยร่วมผู้วิจัยนำข้อมูลมาทำ Interaction Plot เพื่อดูผลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AS (ปริมาณสารAntistatic) และปัจจัย SL (ปริมาณสาร slip) พบว่า ที่ระดับปัจจัย AS อยู่ในระดับ -1 จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าต่ำกว่าปัจจัย AS ที่ระดับใดๆ และที่ระดับปัจจัย AS ที่ระดับ -1, 1 เมื่อปริมาณสาร Slip เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง ดังรูปที่ 5.6

รูปที่ 5.7 แสดง Surface Plots ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟสัดส่วนสาร AS และ สัดส่วนสาร SL มีลักษณะที่บิดโค้งคล้ายพาราโบลา มีจุดวกกลับ แสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของสาร AS และสัดส่วนสาร SL มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อสัดส่วนสาร AS ต่ำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะสูงขึ้นเล็กน้อย หน้ย เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงจนเมื่อจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อสัดส่วนสารSL ต่ำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะสูงขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วน SL ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงจนเมื่อจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น

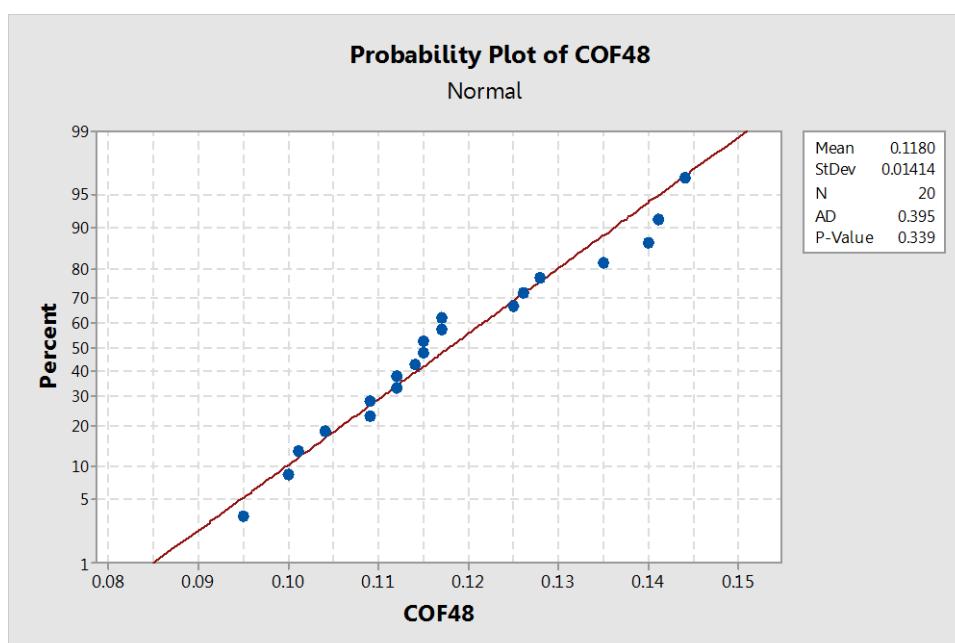


รูปที่ 5.7 Surface Plots ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ที่เวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ 48 ชั่วโมง

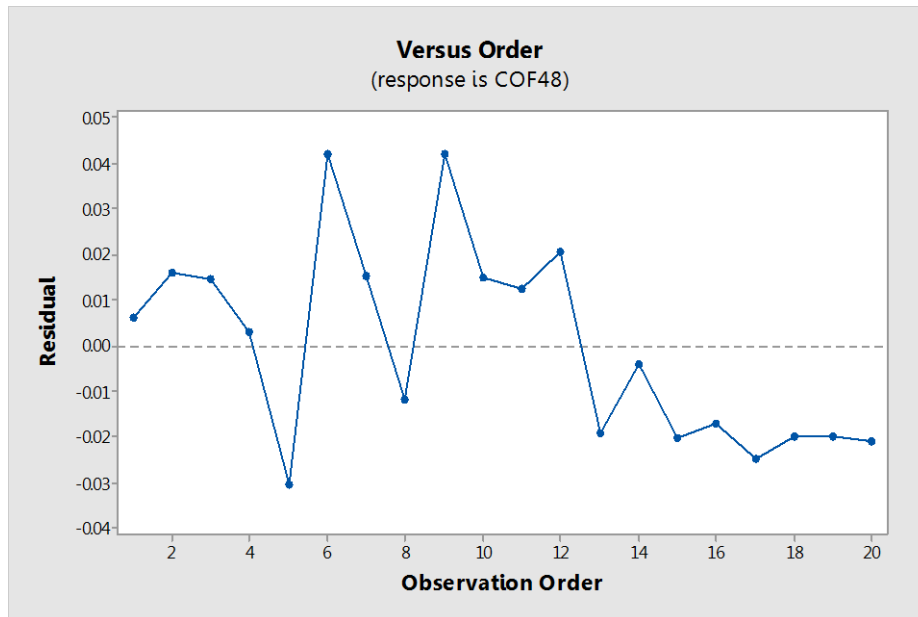
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่ โดยทดสอบข้อตกลงเบื้องต้น 3 กรณีต่อไปนี้

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.8 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



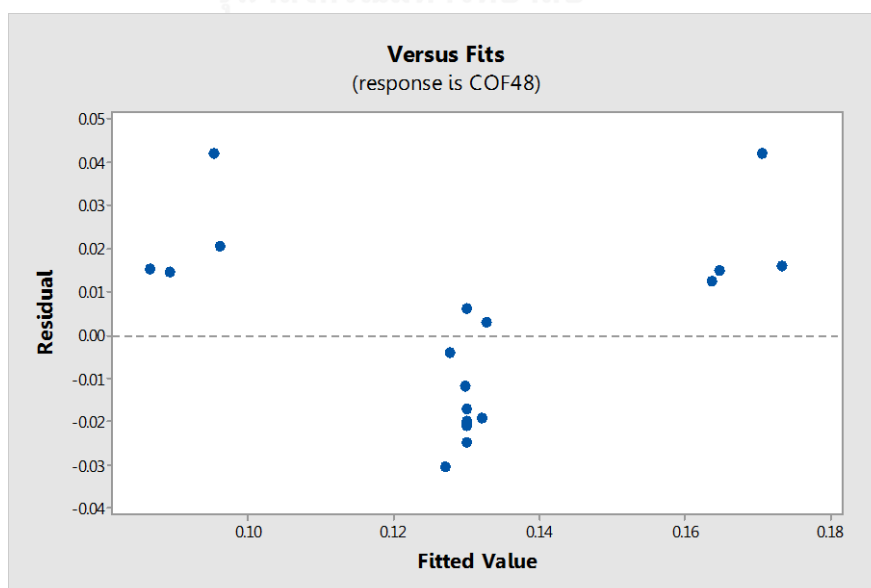
รูปที่ 5.8 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.9 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.9 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.10 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามี การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.10 Versus Fits Plot

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(COF) ที่เวลา 48 ชั่วโมง

Response Surface Regression: COF 48 hr versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.019080	0.002120	11.20	0.000
Linear	3	0.011773	0.003924	20.72	0.000
AS	1	0.006145	0.006145	32.45	0.000
SL	1	0.005603	0.005603	29.59	0.000
AB	1	0.000025	0.000025	0.13	0.725
Square	3	0.005173	0.001724	9.11	0.003
AS*AS	1	0.003608	0.003608	19.05	0.001
SL*SL	1	0.001911	0.001911	10.09	0.010
AB*AB	1	0.000027	0.000027	0.14	0.713
2-Way Interaction	3	0.002134	0.000711	3.76	0.048
AS*SL	1	0.001853	0.001853	9.79	0.011
AS*AB	1	0.000279	0.000279	1.47	0.253
SL*AB	1	0.000002	0.000002	0.01	0.925
Error	10	0.001894	0.000189		
Total	19	0.020973			

Model Summary

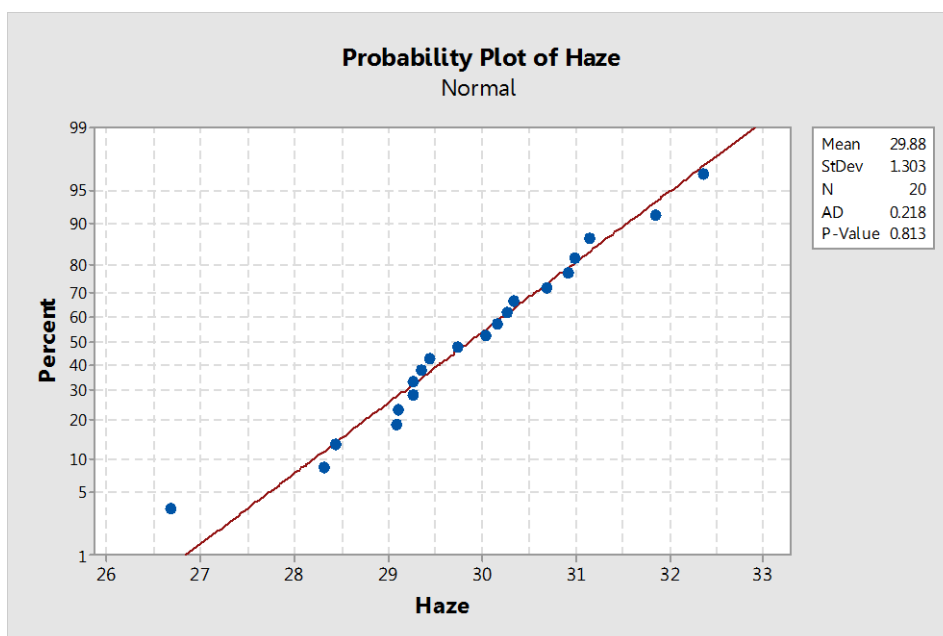
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0137605	90.97%	82.85%	24.98%

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) และ ปริมาณสาร Slip Agent (SL) ปัจจัยหลักกำลังสองมีผล 2 ตัวคือ ปริมาณสาร Antistatic (AS*AS) และ ปริมาณสาร Slip Agent (SL*SL) และ อันตรกิริยา (Interaction) มีผล 1 ตัวคือ ปริมาณสาร Antistatic กับปริมาณสาร Slip Agent (AS*SL) ซึ่งจากผลสรุปพบว่าที่เวลา 48 ชั่วโมง ให้ผลการทดลองเท่ากับที่เวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับค่าความขุ่นมัวของพลาสติก (Haze)

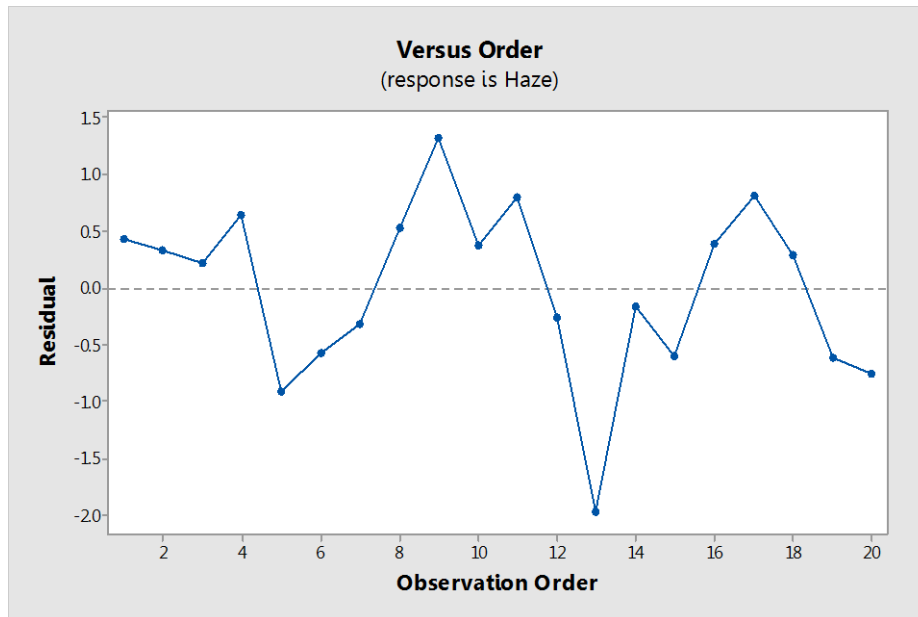
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นหรือตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.11 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



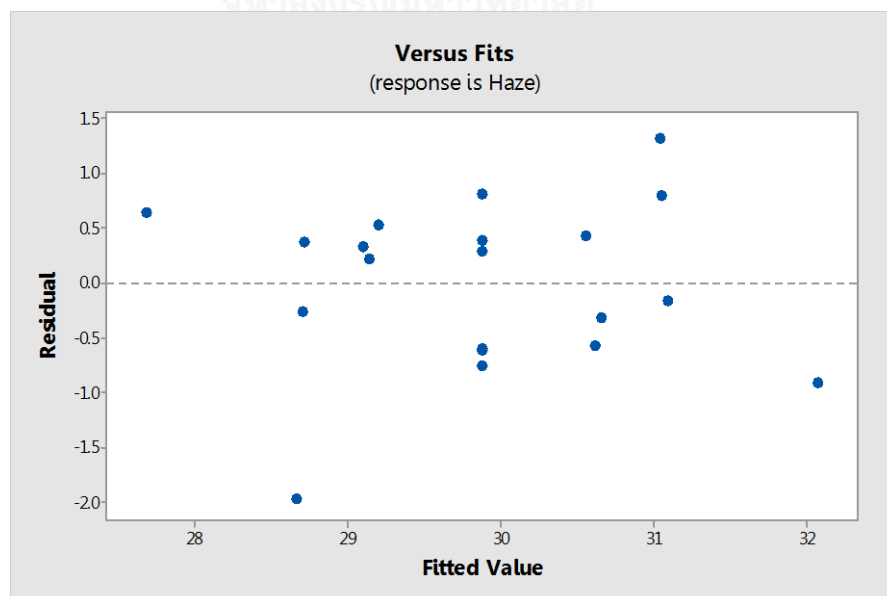
รูปที่ 5.11 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่าเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.12 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.12 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้นแผนภาพการกระจายไม่ควรจะมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.13 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.13 Versus Fits Plot

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Haze

Response Surface Regression: HAZE versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	25.7873	2.86526	4.43	0.015
Linear	3	21.2780	7.09268	10.97	0.002
AS	1	6.9551	6.95511	10.76	0.008
SL	1	6.6814	6.68142	10.34	0.009
AB	1	7.6415	7.64152	11.82	0.006
Square	3	3.9580	1.31935	2.04	0.172
AS*AS	1	1.6531	1.65307	2.56	0.141
SL*SL	1	0.2453	0.24534	0.38	0.552
AB*AB	1	1.7892	1.78919	2.77	0.127
2-Way Interaction	3	0.5512	0.18375	0.28	0.836
AS*SL	1	0.1326	0.13261	0.21	0.660
AS*AB	1	0.0946	0.09461	0.15	0.710
SL*AB	1	0.3240	0.32401	0.50	0.495
Error	10	6.4642	0.64642		
Total	19	32.2515			

S R-sq R-sq(adj)
0.804000 79.96% 61.92%

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่น พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) ปริมาณสาร Slip Agent (SL) และ ปริมาณสาร Antiblocking (AB) มีผลต่อค่าความขุ่น แสดงวิธีการทดสอบค่าความขุ่นดังภาคผนวก ข

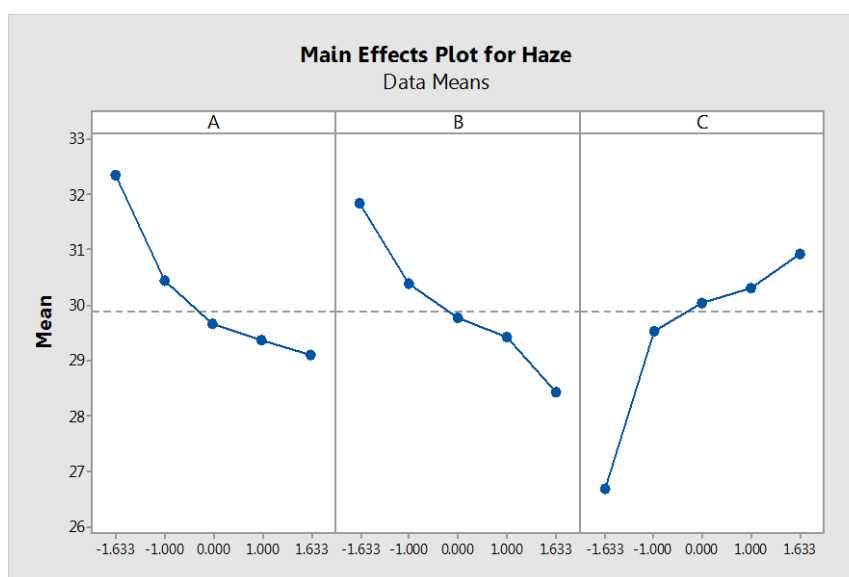
เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี CCD ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Haze} = 30.700 - 1.452 \text{ AS} - 1.175 \text{ SL} + 1.517 \text{ AB} \quad (2)$$

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่า Haze พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณ

สารAntistatic (AS) ปริมาณสาร Slip Agent (SL) และ ปริมาณสาร Antiblock (AB) มีผลต่อค่า Haze

เมื่อนำข้อมูลมาทำ Main effect plot เพื่อดูผลของปัจจัยหลักแต่ละตัวพบว่าเมื่อปริมาณสาร Antistatic (AS)และปริมาณสาร Slip (SL) เพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นลดลง นั่นคือฟิล์มที่ได้จะมีความใสขึ้น สำหรับปัจจัย Antiblocking (AB) เมื่อใส่ปริมาณเพิ่มขึ้น พบว่าทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น นั่นคือยิ่งใส่สารในปริมาณมากจะทำให้ฟิล์มขุ่นขึ้น ดังรูปที่ 5.14

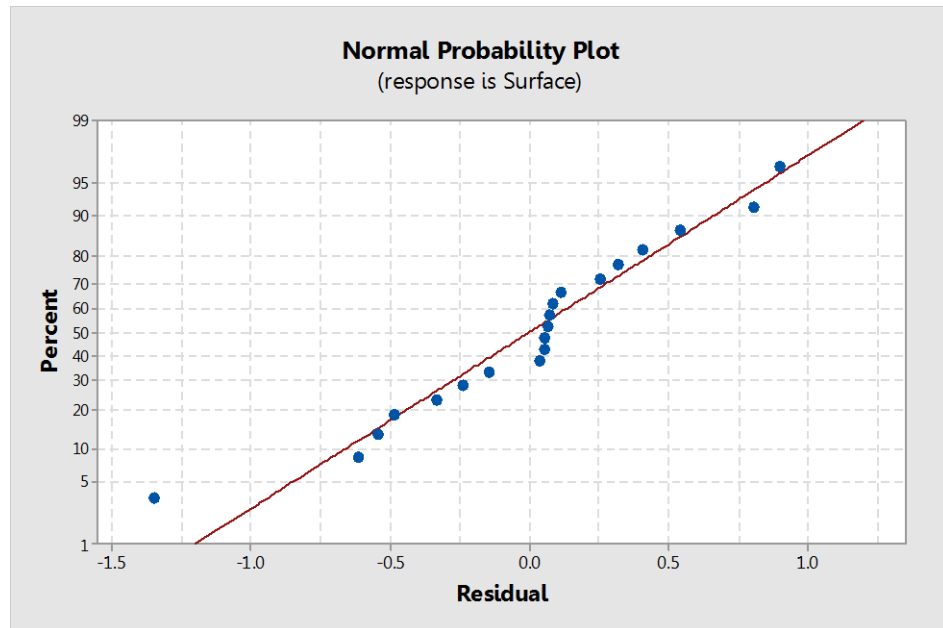


รูปที่ 5.14 Main Effect Plot ของค่า Haze

การวิเคราะห์ค่า Surface Resistivity หน่วย : Ω

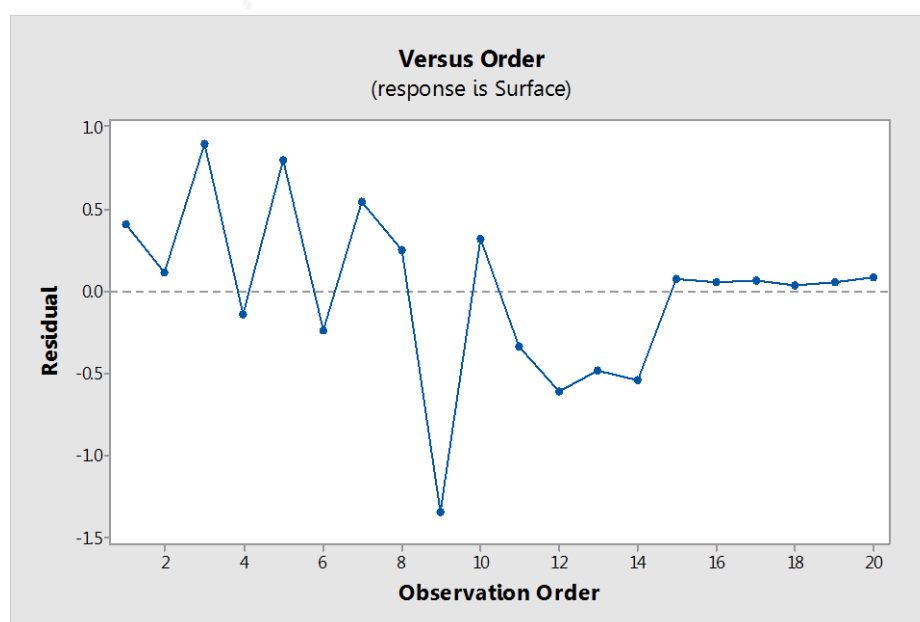
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่ดังข้อตกลงเบื้องต้น 3 กรณี ต่อไปนี้

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.15 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



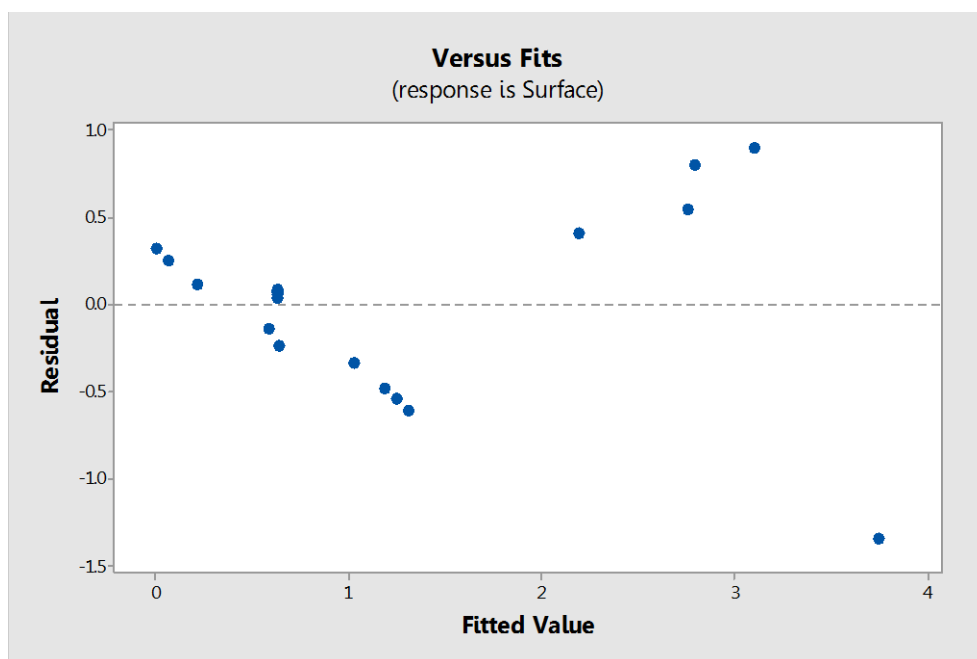
รูปที่ 5.15 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.16 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.16 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.17 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.17 Versus Fits Plot

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Surface Resistivity

Response Surface Regression: surface versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	22.1236	2.4582	4.66	0.012
Linear	3	17.8641	5.9547	11.30	0.001
AS	1	17.7646	17.7646	33.70	0.000
SL	1	0.0943	0.0943	0.18	0.681
AB	1	0.0052	0.0052	0.01	0.923
Square	3	3.6546	1.2182	2.31	0.138
AS*AS	1	2.8317	2.8317	5.37	0.043
SL*SL	1	0.5978	0.5978	1.13	0.312
AB*AB	1	0.6220	0.6220	1.18	0.303
2-Way Interaction	3	0.6049	0.2016	0.38	0.768
AS*SL	1	0.1431	0.1431	0.27	0.614
AS*AB	1	0.0153	0.0153	0.03	0.868
SL*AB	1	0.4465	0.4465	0.85	0.379
Error	10	5.2713	0.5271		

Total 19 27.3949

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.726035	80.76%	63.44%	0.00%

เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี CCD ได้ความสัมพันธ์ตั้งสมการต่อไปนี้

$$\text{Surface} = 5.114 - 6.02 \text{ AS} + 1.845 \text{ AS}^2 \quad (3)$$

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว หน่วย : Ω ที่มีปริมาณสาร Antistatic ระดับต่างๆ

Antistatic (%)	0.2	0.5	1	1.5	1.8
ค่าเฉลี่ย	2.44×10^{12}	3.38×10^{12}	7×10^{11}	3.74×10^{11}	3.34×10^{11}

จากตารางที่ 5.10 พบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวในฟิล์มที่มีสาร Antistatic ในสัดส่วน 1%, 1.5 % และ 1.8 % ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันคือ $10^{11} \Omega$ หรือกล่าวว่าเป็นฟิล์มที่เป็น Antistatic ส่วนฟิล์มที่มีสัดส่วนของสาร Antistatic ที่ 0.2 % และ 0.5% และให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ $2.44 \times 10^{12} \Omega$ ซึ่งยังมีค่าความเป็นฉนวนอยู่ แสดงวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวในฟิล์ม ดังภาคผนวก ข

ผลการทดลองความต้านทานแรงดึงยึดของฟิล์ม

เนื่องจากในการผลิตจริงไม่มีปัญหาเรื่องค่าแรงดึง ไม่ได้ตามที่ลูกค้าต้องการ แต่ในการทดลองเพื่อจะดูว่า การใส่สาร Antistatic เพิ่มเข้ามา และ ปริมาณสารในระดับต่างๆ มีผลต่อค่าแรงดึงหรือไม่ แสดงวิธีการวัดดังภาคผนวก ข ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดสอบค่าแรงดึง (Tensile Strength) และ การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของฟิล์มลามิเนต ในแนว MD และ TD

การทดลอง	ปัจจัย(Coded Unit)			MD		TD	
	A	B	C	Stress at Maximum	Percentage Strain	Stress at Maximum	Percentage Strain
1	-1	-1	-1	33.45	782.11	26.26	837.55
2	1	-1	-1	33.20	781.69	25.39	864.69
3	-1	1	-1	34.36	781.11	29.97	899.11
4	1	1	-1	33.33	722.58	25.34	852.83
5	-1	-1	1	36.14	781.12	29.70	895.50
6	1	-1	1	33.23	726.99	25.44	837.43
7	-1	1	1	35.43	763.14	25.13	894.21
8	1	1	1	36.15	775.33	26.38	841.94
9	-1.633	0	0	32.88	781.28	25.10	835.38
10	1.633	0	0	36.91	782.69	28.03	863.43
11	0	-1.633	0	36.37	743.72	30.27	889.78
12	0	1.633	0	36.32	739.93	26.94	858.36
13	0	0	-1.633	33.37	721.66	27.76	905.95
14	0	0	1.633	36.33	738.51	28.02	856.86
15	0	0	0	34.27	761.54	29.68	845.39
16	0	0	0	35.54	766.95	27.95	842.15
17	0	0	0	36.89	770.73	25.56	838.46
18	0	0	0	36.35	752.52	26.84	839.20
19	0	0	0	36.67	764.93	25.44	847.45
20	0	0	0	36.21	776.24	26.27	879.14
ค่าต่ำสุด				32.88	721.66	25.10	835.38
ค่าสูงสุด				36.91	782.69	30.27	905.95
ค่าสูงสุด - ค่าต่ำสุด				4.04	61.03	5.17	70.57
ค่าเฉลี่ย				35.17	760.74	27.07	861.24
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				1.47	21.34	1.75	23.98

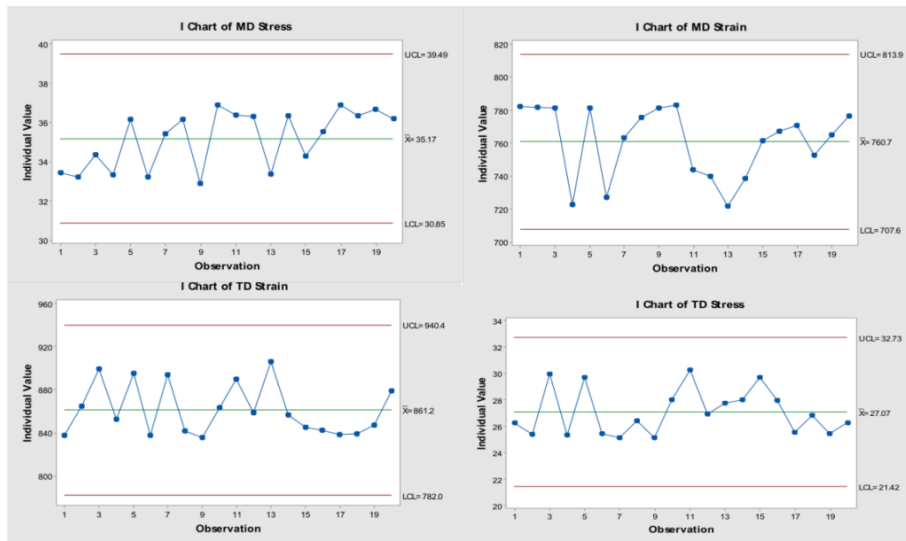
ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ค่าแรงดึง ตามแนว TD เฉลี่ยที่ 27.07 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ลูกค้าต้องการคือ 16 MPa และ ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ตามแนว MD เฉลี่ยที่ 760.74 %

มากกว่าที่ลูกค้าต้องการคือ 300% และตามแนว TD เฉลี่ยที่ 861.24 % มากกว่าที่ลูกค้าต้องการคือ 400 % ตามแนว TD ดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าคุณสมบัติของฟิล์มลามิเนตที่ลูกค้าต้องการเทียบกับค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ทดลองได้

คุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ	ลูกค้า ต้องการ	ผลการทดลอง		
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ความต้านทานแรงดึงยืด(Tensile Strength) :TD:(MPa)	≥16	25.1	30.27	27.07
การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) : MD:(%)	≥300	721.66	782.69	760.74
การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) : TD:(%)	≥400	835.38	905.95	861.24

จากตารางที่ 5.12 พบว่าแต่ละการทดลองค่าความเค้น (stress) ตามแนว MD และ TD ของฟิล์มลามิเนต มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 10 MPa ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ทางโรงงานออกใบ COA (Certificate of Analysis) เพื่อรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพฟิล์มให้ลูกค้า และ ค่าความเครียด (Strain) ตามแนว MD และ TD ของฟิล์มเนต มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 100 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ทางโรงงานออกใบ COA ให้ลูกค้า และค่าเฉลี่ยแต่ละตัวแปรมีค่าอยู่ในช่วงบวกลบ 3 ซิกม่า ดังรูปที่ 5.18 จึงสรุปได้ว่า เมื่อเราใส่ปัจจัยในปริมาณต่างๆ ไม่ส่งผลต่อค่า Stress at Maximum Load , Percentage Strain at Break ทั้งแนว MD และ TD



รูปที่ 5.18 กราฟ I Chart ของค่าความเค้นและความเครียดตามแนว MD และ TD

จากผลการทดลองสามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

ตัวแปรตอบสนอง	เทอมที่มีผล
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) , 24 ชั่วโมง	AS,SL,AS*AS,SL*SL,AS*SL
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) , 48 ชั่วโมง	AS,SL,AS*AS,SL*SL,AS*SL
ความใส (Haze) : (%)	AS,SL,AB
ความต้านทานแรงดึงยืด(Tensile Strength) :TD:(MPa)	-
การยืดตัวจนจุดขาด (Elongation at Break) : MD:(%)	-
การยืดตัวจนจุดขาด (Elongation at Break) : TD:(%)	-
ค่าต้านทานไฟฟ้าที่ผิว(Surface Resistivity) : (Ω /sq)	-

โดยที่ A คือ สัดส่วนสาร AS (%)

B คือ สัดส่วนสาร SL (%)

C คือ สัดส่วนสาร AB (%)

เมื่อทำการทดลองตามวิธีการออกแบบการทดลองโดยวิธี CCD แล้ว เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองจึงทำการทดลองเก็บผลเพิ่มเติมทดลองเพิ่ม 19 การทดลอง เป็นวิธีออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial เท่ากับ 27 การทดลอง และนำข้อมูลที่มีอยู่แล้วมาวิเคราะห์ผลเพิ่มโดยวิธี Boxbehnken แล้วจึงนำทั้งสามวิธีมาเปรียบเทียบว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากวิธีการใดให้ผลดีที่สุดในแต่ละเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อเป็นการหาค่าที่ดีที่สุดในการนำสมการพยากรณ์ไปใช้จริงต่อไป

5.1.2 ผลการทดสอบโดยวิธี Fullfactorial

โดยมีตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรอิสระ และระดับของตัวแปรอิสระดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ระดับของปัจจัยนำเข้า โดยวิธี Fullfactorial

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	Low(-1)	Center(0)	High(+1)
AS	0.5	1	1.5
SL	0.8	1.4	2
AB	1	1.5	2

การทดลองเพิ่ม 19 การทดลอง เป็น Full Factorial เท่ากับ 27 การทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.15 แสดงการออกแบบการทดลองที่ต้องทำเพิ่มโดยวิธี Full Factorial

A	B	C	การทดลองที่
-1	-1	-1	ทำแล้ว
0	-1	-1	1
1	-1	-1	ทำแล้ว
-1	0	-1	2
0	0	-1	3
1	0	-1	4
-1	1	-1	ทำแล้ว
0	1	-1	5
1	1	-1	ทำแล้ว
-1	-1	0	6
0	-1	0	7
1	-1	0	8
-1	0	0	9
0	0	0	ทำแล้ว
1	0	0	10
-1	1	0	11
0	1	0	12
1	1	0	13
-1	-1	1	ทำแล้ว
0	-1	1	14
1	-1	1	ทำแล้ว
-1	0	1	15
0	0	1	16
1	0	1	17
-1	1	1	ทำแล้ว
0	1	1	18
1	1	1	ทำแล้ว

ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

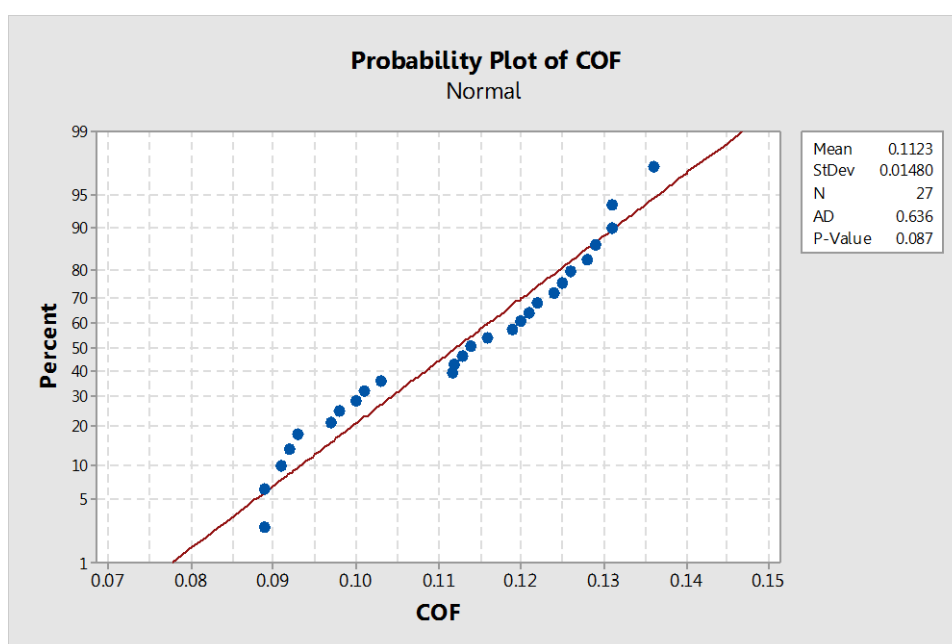
ตารางที่ 5.16 ผลการทดลองระหว่างตัวแปรตอบสนอง COF , Haze และ Surface Resistivity โดยวิธี Fullfactorial

การทดลองที่	ปัจจัย(Coded Unit)			ปัจจัย(Uncoded Unit)			ตัวแปรตอบสนอง		
	A	B	C	%AS	%SL	%AB	COF 24 hr	Haze (%)	Surface $\times 10^{12} \Omega$
1	-1	-1	-1	0.5	0.8	1	0.111	30.99	2.63
2	0	-1	-1	1	0.8	1	0.131	29.83	0.69
3	1	-1	-1	1.5	0.8	1	0.155	29.44	0.33
4	-1	0	-1	0.5	1.4	1	0.107	30.01	2.48
5	0	0	-1	1	1.4	1	0.106	28.77	0.71
6	1	0	-1	1.5	1.4	1	0.134	27.64	0.3
7	-1	1	-1	0.5	2	1	0.102	29.36	4
8	0	1	-1	1	2	1	0.105	27.11	0.74
9	1	1	-1	1.5	2	1	0.133	28.33	0.44
10	-1	-1	0	0.5	0.8	1.5	0.097	33.21	3.92
11	0	-1	0	1	0.8	1.5	0.142	31.87	0.71
12	1	-1	0	1.5	0.8	1.5	0.163	30.51	0.33
13	-1	0	0	0.5	1.4	1.5	0.114	32.48	2.67
14	0	0	0	1	1.4	1.5	0.102	29.28	0.7
15	1	0	0	1.5	1.4	1.5	0.156	28.32	2.35
16	-1	1	0	0.5	2	1.5	0.101	30.02	3.84
17	0	1	0	1	2	1.5	0.103	29.03	0.71
18	1	1	0	1.5	2	1.5	0.109	27.65	0.31
19	-1	-1	1	0.5	0.8	2	0.095	31.16	3.6
20	0	-1	1	1	0.8	2	0.141	33.02	0.71
21	1	-1	1	1.5	0.8	2	0.190	30.05	0.4
22	-1	0	1	0.5	1.4	2	0.11	32.99	3.63
23	0	0	1	1	1.4	2	0.117	31.78	0.71
24	1	0	1	1.5	1.4	2	0.127	30.77	0.28
25	-1	1	1	0.5	2	2	0.099	30.34	3.3
26	0	1	1	1	2	2	0.095	30.04	0.287
27	1	1	1	1.5	2	2	0.106	29.74	0.71

การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับค่า COF ที่ 24 ชั่วโมง

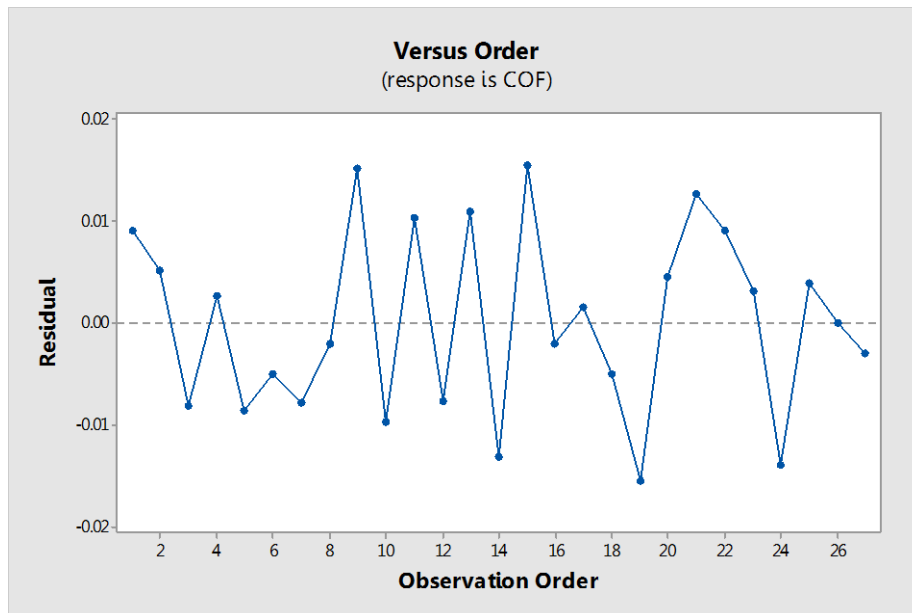
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่จากรูป

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 3.10 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



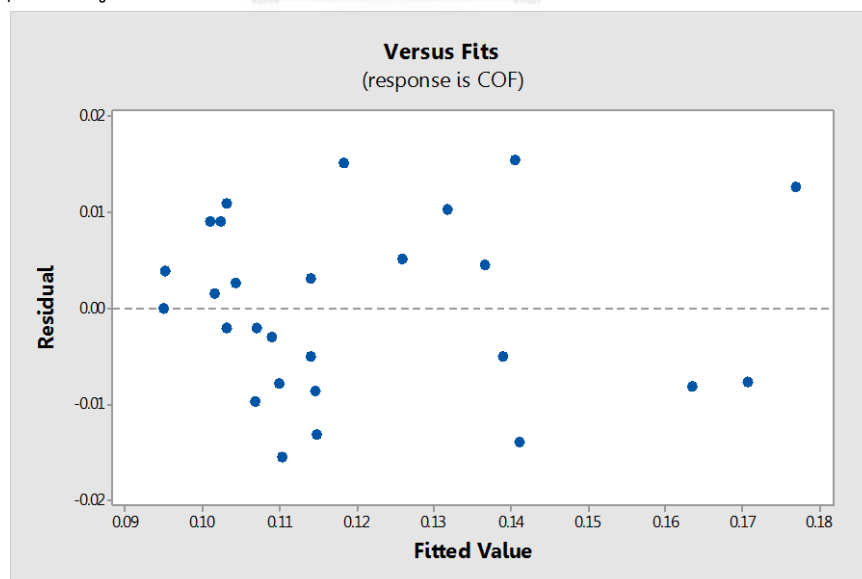
รูปที่ 5.19 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.20 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.20 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.21 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.21 Versus Fits Plot

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า COF

Response Surface Regression: COF versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.013218	0.001469	11.66	0.000
Linear	3	0.010389	0.003463	27.50	0.000
AS	1	0.006294	0.006294	49.98	0.000
SL	1	0.004092	0.004092	32.49	0.000
AB	1	0.000002	0.000002	0.02	0.898
Square	3	0.000318	0.000106	0.84	0.490
AS*AS	1	0.000296	0.000296	2.35	0.144
SL*SL	1	0.000021	0.000021	0.16	0.691
AB*AB	1	0.000001	0.000001	0.01	0.918
2-Way Interaction	3	0.002511	0.000837	6.65	0.004
AS*SL	1	0.002101	0.002101	16.69	0.001
AS*AB	1	0.000022	0.000022	0.18	0.678
SL*AB	1	0.000388	0.000388	3.08	0.097
Error	17	0.002141	0.000126		
Total	26	0.015359			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0112225	86.06%	78.68%	59.69%

SL*AB	1	0.000388	0.000388	3.08	0.097
Error	17	0.002141	0.000126		
Total	26	0.015359			

Model Summary

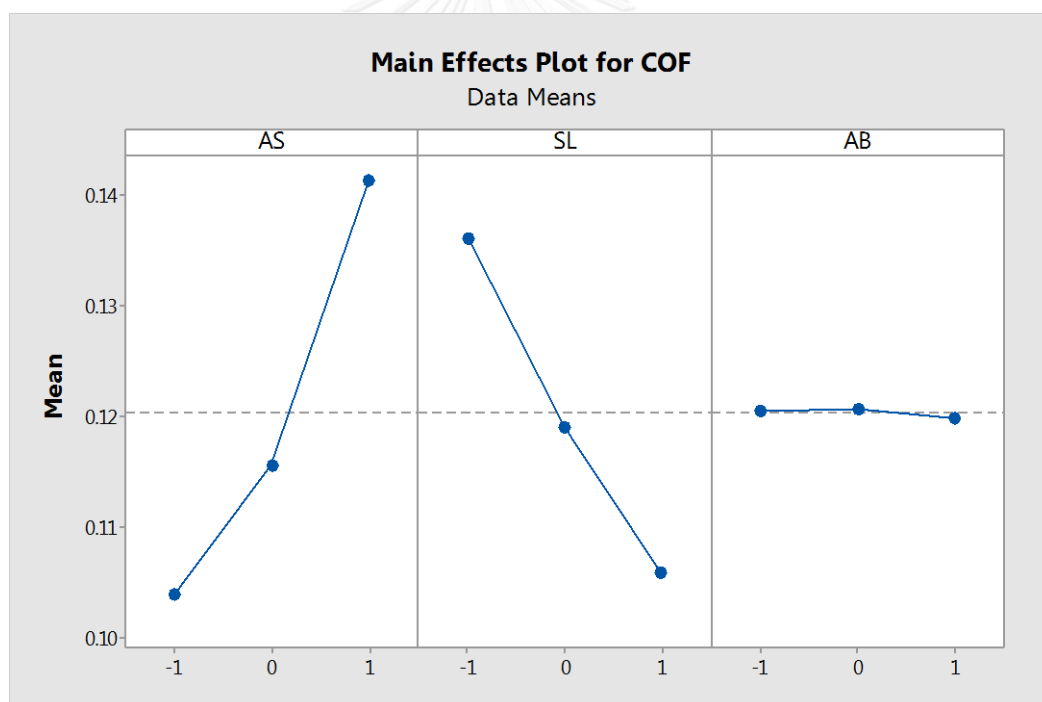
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0112225	86.06%	78.68%	59.69%

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่า COF พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) และ ปริมาณสาร Slip Agent (SL) ปัจจัยหลักกำลังสองมีผล 2 ตัวคือ ปริมาณสาร Antistatic (AS*AS) และ ปริมาณสาร Slip Agent (SL*SL) และ อันตรกิริยา (Interaction) มีผล 1 ตัวคือ ปริมาณสาร Antistatic กับปริมาณสาร Slip Agent (AS*SL)

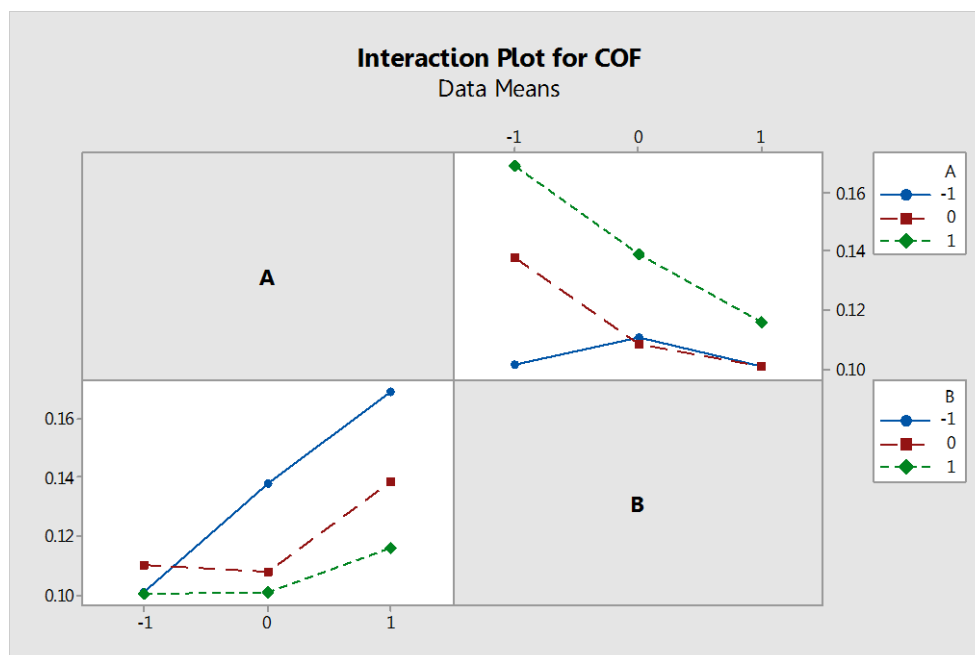
เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธีแฟคทอเรียล ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{COF} = 0.0564 + 0.0992 \text{ AS} + 0.0190 \text{ SL} - 0.0441 \text{ AS*SL} \quad (4)$$

นำข้อมูลมาทำ Main effect plot พล็อตเพื่อดูผลของปัจจัยหลักแต่ละตัวพบว่าเมื่อปริมาณสาร AS เพิ่มขึ้นจาก -1 ถึง 1 พบว่าค่า COF เพิ่มขึ้น นั่นคือฟิล์มที่ได้จะมีความฝืดขึ้น เมื่อใส่ปริมาณ SL เพิ่มขึ้นจาก -1 ถึง 1 พบว่าทำให้ค่า COF ลดลง สำหรับปัจจัย AB ไม่มีอิทธิพลต่อค่า COF ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) เท่ากับ 0.05



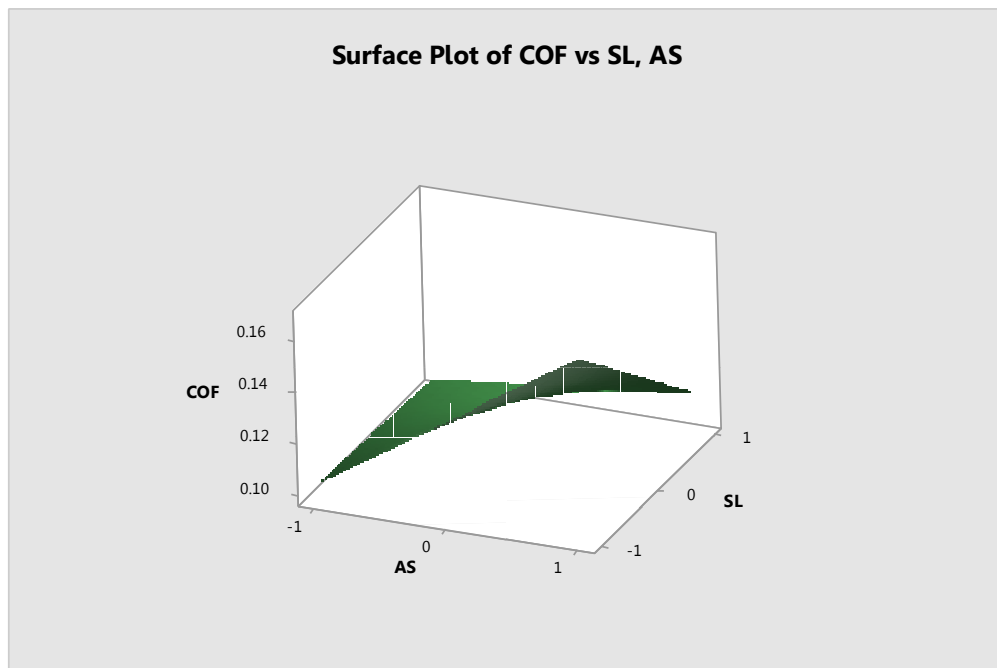
รูปที่ 5.22 Main Effect Plot ของค่า COF



รูปที่ 5.23 Interaction Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับปัจจัยร่วมผู้วิจัยนำข้อมูลมาทำ Interaction Plot เพื่อดูผลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AS (ปริมาณสาร Antistatic) และปัจจัย SL (ปริมาณสาร slip) พบว่า ที่ระดับปัจจัย AS อยู่ในระดับ 1 จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าสูงกว่าปัจจัย AS ที่ระดับใดๆ และที่ระดับปัจจัย SL ที่ระดับ 1 จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าต่ำกว่าปัจจัย SL ที่ระดับใดๆ ดังรูปที่ 5.23

รูปที่ 5.24 แสดง Surface Plots ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟตัดส่วนสาร AS และ สัดส่วนสาร SL มีลักษณะที่บิดโค้งคล้ายพาราโบลา มีจุดวกกลับ แสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของสาร AS และ สัดส่วนของสาร SL มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อสัดส่วนของสาร AS ต่ำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะสูงขึ้นนิดหน่อย เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงจนเมื่อจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อสัดส่วนของสาร SL ต่ำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะสูงขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วน SL ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงจนเมื่อจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น

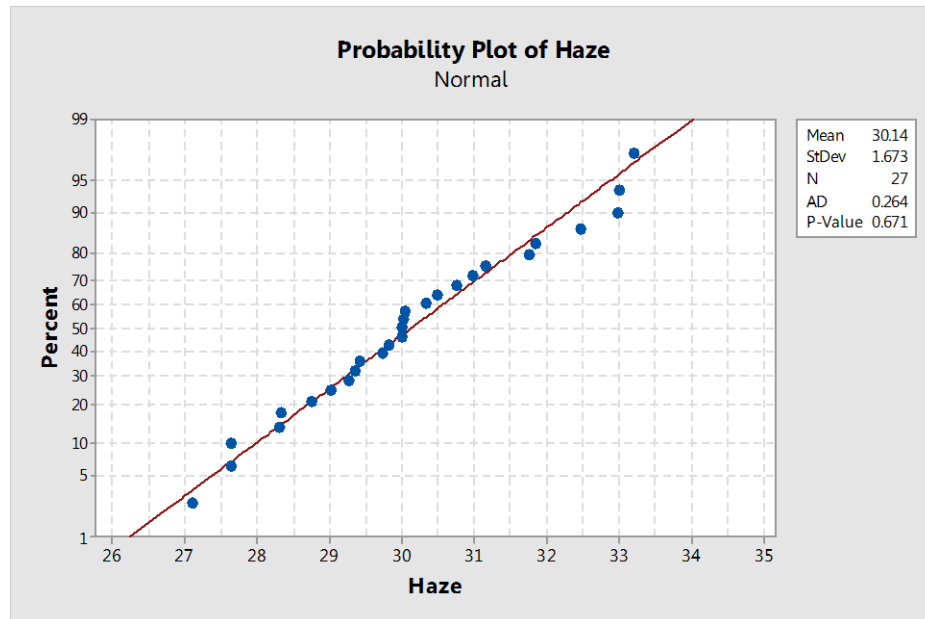


รูปที่ 5.24 Surface Plots ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับค่าความขุ่นมัวของพลาสติก (Haze)

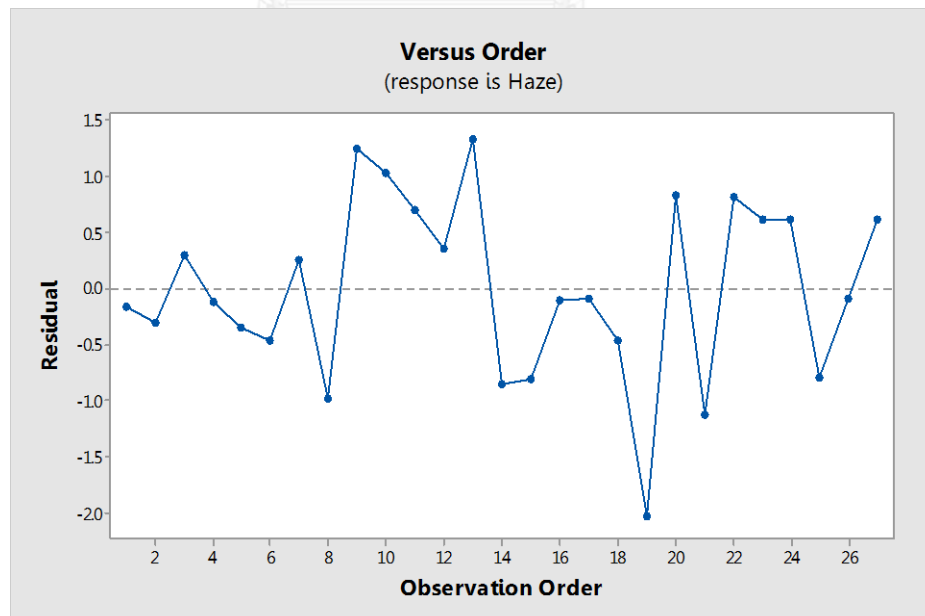
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.25 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



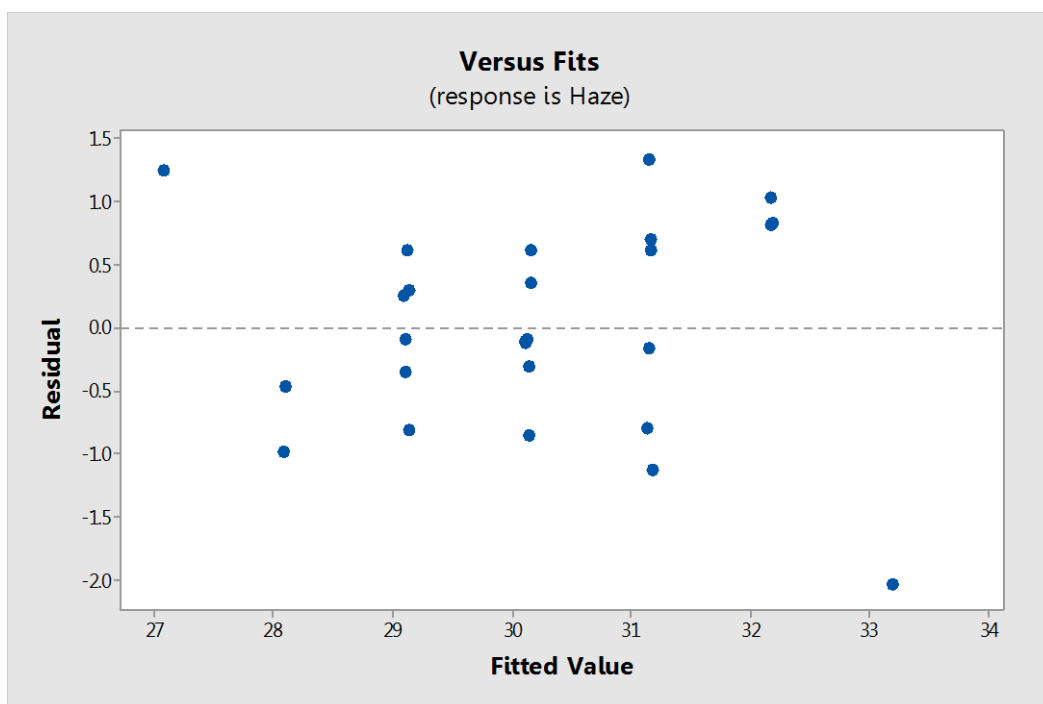
รูปที่ 5.25 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.26 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.26 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.27ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.27 Versus Fits Plot
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Haze

Response Surface Regression: Haze versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	56.7342	6.3038	6.67	0.000
Linear	3	55.9818	18.6606	19.74	0.000
AS	1	18.2207	18.2207	19.27	0.000
SL	1	18.9318	18.9318	20.02	0.000
AB	1	18.8293	18.8293	19.91	0.000
Square	3	0.3597	0.1199	0.13	0.943
AS*AS	1	0.0445	0.0445	0.05	0.831
SL*SL	1	0.1049	0.1049	0.11	0.743
AB*AB	1	0.2103	0.2103	0.22	0.643
2-Way Interaction	3	0.3927	0.1309	0.14	0.936
AS*SL	1	0.1541	0.1541	0.16	0.691

AS*AB	1	0.0867	0.0867	0.09	0.766
SL*AB	1	0.1519	0.1519	0.16	0.694
Error	17	16.0744	0.9456		
Total	26	72.8085			
Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0.972394	77.92%	66.23%	32.98%	

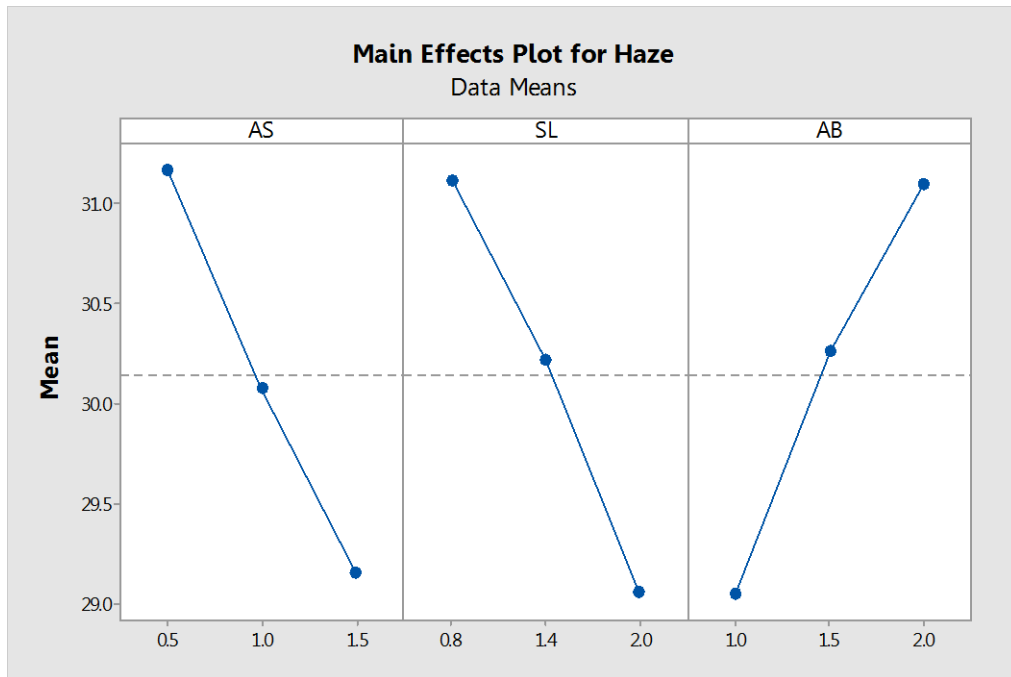
ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่า Haze พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) ปริมาณสาร Slip Agent (SL) และ ปริมาณสาร Antiblocking (AB) มีผลต่อค่า Haze และสมการทำนาย แสดงในสมการที่ 5

เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี Full factorial ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

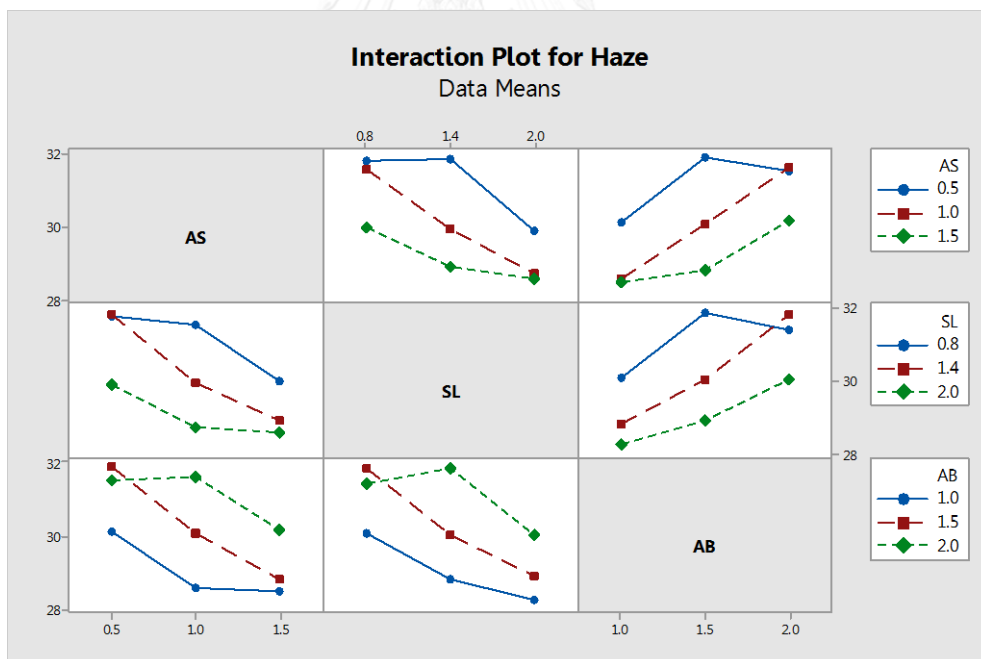
$$\text{Haze} = 31.475 - 2.012 \text{ AS} - 1.709 \text{ SL} + 2.046 \text{ AB} \quad (5)$$

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่า Haze พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) ปริมาณสาร Slip Agent (SL) และ ปริมาณสาร Antiblock (AB) มีผลต่อค่า Haze สมการทำนายแสดงในสมการที่ 5 และให้ผล R-Square เท่ากับ 76.89%

รูปที่ 5.28 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อค่าความขุ่น โดยพบว่าเมื่อระดับสาร AS (%AS) และ ระดับปริมาณสาร SL (%SL) เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความขุ่นลดลง ในขณะที่เมื่อลดระดับสาร AB(%AB) พบว่าส่งผลให้ค่าความขุ่น มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.28 Main Effect Plot ของค่า Haze



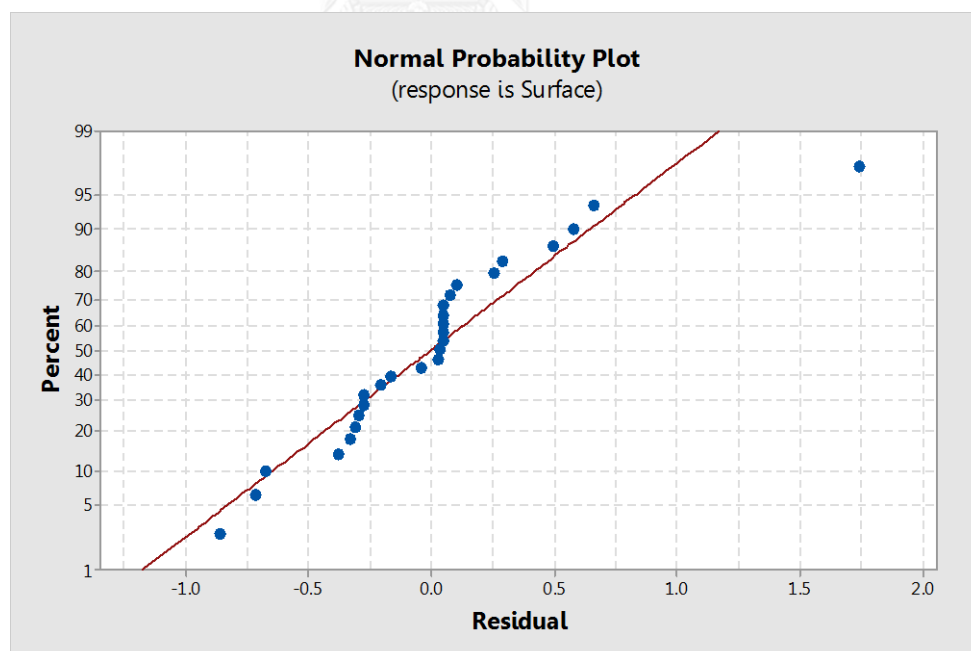
รูปที่ 5.29 Interaction Plot ของค่า Haze

สำหรับปัจจัยร่วมผู้วิจัยนำข้อมูลมาทำ Interaction Plot เพื่อดูผลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AS ปัจจัย SL และปัจจัย AB พบว่า ที่ระดับปัจจัย AS อยู่ในระดับ -1 จะส่งผลให้ค่าความชุ่มมีค่าสูงกว่าปัจจัย AS ที่ระดับ 0, 1 ไม่ว่าจะใช้ปัจจัย SL,AB ที่ระดับใดก็ตาม ที่ระดับปัจจัย SL อยู่ในระดับ -1 จะส่งผลให้ค่าความชุ่มมีค่าสูงกว่าปัจจัย SL ที่ระดับ 0, 1 ไม่ว่าจะใช้ปัจจัย AS,AB ที่ระดับใดก็ตาม และที่ระดับปัจจัย AB อยู่ในระดับ 1 จะส่งผลให้ค่าความชุ่ม มีค่าสูงกว่าปัจจัย AB ที่ระดับ 0, 1 ไม่ว่าจะใช้ปัจจัย AS,SL ที่ระดับใดก็ตาม และปัจจัย AB ที่ระดับ -1, 0 เมื่อปริมาณสาร AS,SL เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าความชุ่มลดลง ดังรูปที่ 5.29

การวิเคราะห์ค่า Surface Resistivity หน่วย : Ω

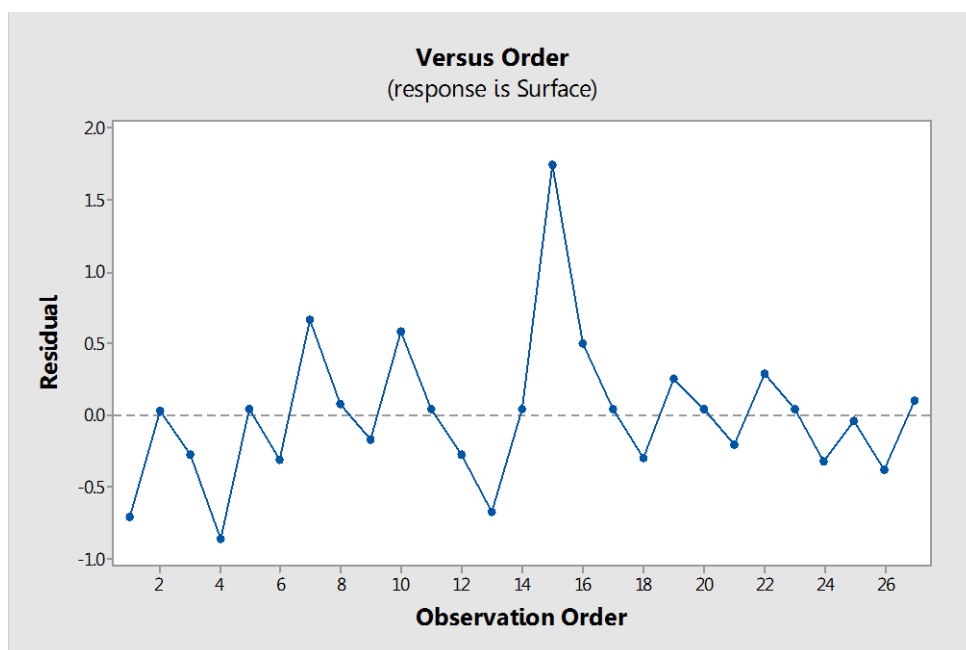
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.30 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ได้



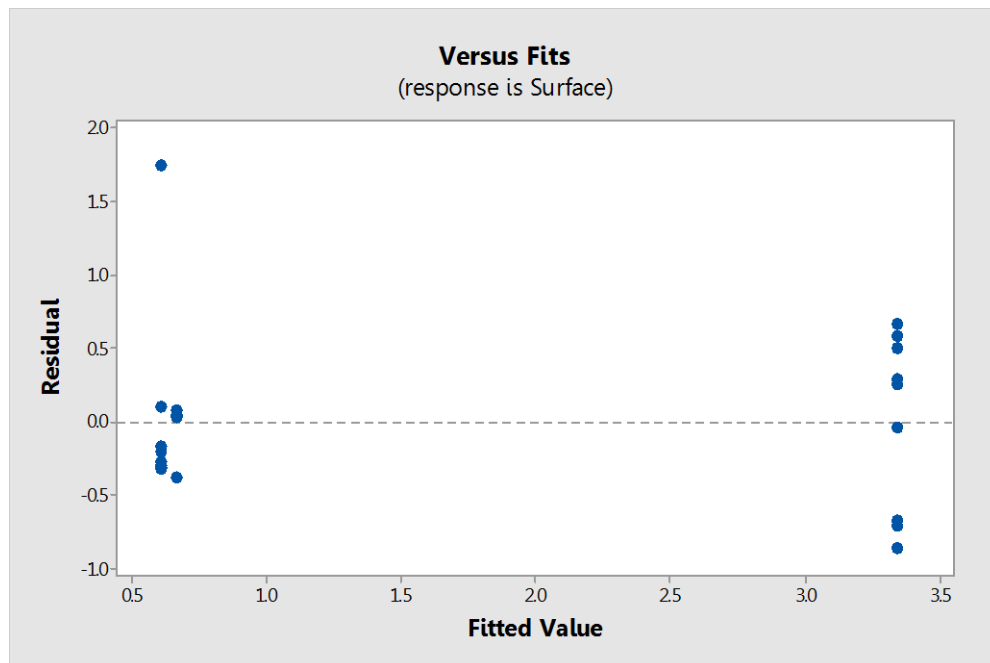
รูปที่ 5.30 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.31 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.31 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.32 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.32 Versus Fits Plot

ตารางที่ 5.19 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าความต้านทานพื้นผิว

Response Surface Regression: Surface versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	49.5259	5.5029	51.42	0.000
Linear	3	41.0218	13.6739	127.77	0.000
AS	1	40.8608	40.8608	381.80	0.000
SL	1	0.0613	0.0613	0.57	0.460
AB	1	0.0998	0.0998	0.93	0.348
Square	3	7.9351	2.6450	24.72	0.000
AS*AS	1	7.5863	7.5863	70.89	0.000
SL*SL	1	0.3345	0.3345	3.13	0.095
AB*AB	1	0.0143	0.0143	0.13	0.719
2-Way Interaction	3	0.5690	0.1897	1.77	0.191
AS*SL	1	0.0800	0.0800	0.75	0.399
AS*AB	1	0.1850	0.1850	1.73	0.206
SL*AB	1	0.3040	0.3040	2.84	0.110
Error	17	1.8194	0.1070		
Total	26	51.3453			

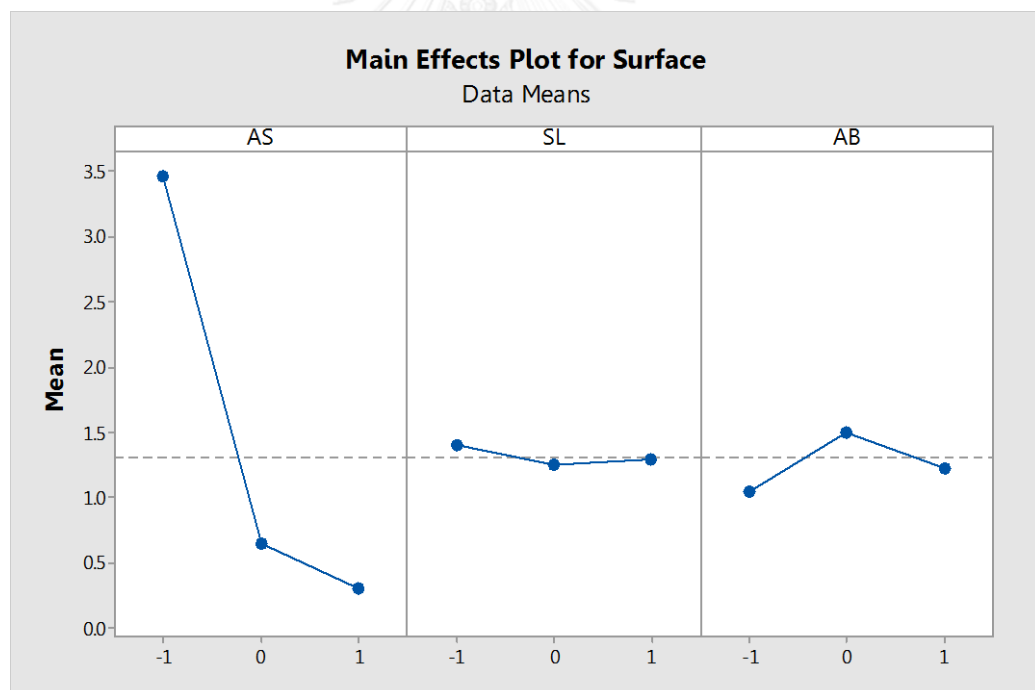
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.327141	96.46%	94.58%	90.54%

เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี CCD ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Surface} = 8.640 - 13.22 \text{ AS} + 5.241 \text{ AS}^2 \quad (6)$$

จากผลการทดลองพบว่า สาร AS มีผลต่อค่าความต้านทานพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญปัจจัยเดียว และจากตารางผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวในฟิล์มที่มีสาร Antistatic ในสัดส่วน 1% และ 1.5 % ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นผิวที่ผิวเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันคือ $10^{11} \Omega$ หรือกล่าวว่าเป็นฟิล์มที่เป็น Antistatic ส่วนฟิล์มที่มีสัดส่วนของสาร Antistatic ที่ 0.5% และให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นผิวเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ $10^{12} \Omega$ ซึ่งยังมีค่าความเป็นฉนวนอยู่ โดย จากกราฟปัจจัยหลักพบว่า ยิ่งใส่สาร AS ที่สัดส่วนเพิ่มขึ้นค่า Surface Resistivity จะมีค่าต่ำลง



รูปที่ 5.33 Main Effect Plot ของค่า Surface Resistivity

5.1.3 ผลการทดสอบโดยวิธี Boxbehnken

โดยมีตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรอิสระ และระดับของตัวแปรอิสระดังตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 ระดับของปัจจัยนำเข้า โดยวิธี Boxbehnken

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	Low(-1)	Center(0)	High(+1)
AS	0.5	1	1.5
SL	0.8	1.4	2
AB	1	1.5	2

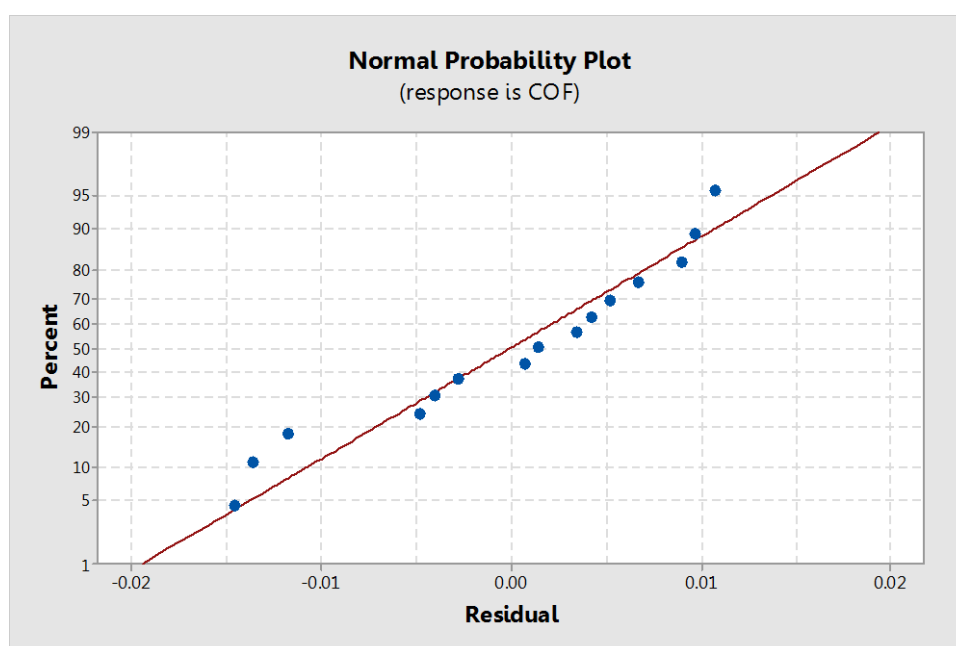
ตารางที่ 5.21 ผลการทดลองระหว่างตัวแปรตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ค่าความขุ่น (Haze) และ ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) โดยวิธี Boxbehnken

การทดลองที่	ปัจจัย (Coded Unit)			ปัจจัย (Uncoded Unit)			ตัวแปรตอบสนอง		
	A	B	C	%AS	%SL	%AB	COF 24 hr	Haze (%)	Surface (Ω /sq)
1	-1	-1	0	0.5	0.8	1.5	0.097	33.21	3.92
2	1	-1	0	1.5	0.8	1.5	0.163	30.51	0.33
3	-1	1	0	0.5	2	1.5	0.101	30.02	3.84
4	1	1	0	1.5	2	1.5	0.109	27.65	0.31
5	-1	0	-1	0.5	1.4	1	0.107	30.01	2.48
6	1	0	-1	1.5	1.4	1	0.134	27.64	0.3
7	-1	0	1	0.5	1.4	2	0.11	32.99	3.63
8	1	0	1	1.5	1.4	2	0.127	30.77	0.28
9	0	-1	-1	1	0.8	1	0.131	29.83	0.69
10	0	1	-1	1	2	1	0.105	27.11	0.74
11	0	-1	1	1	0.8	2	0.141	33.02	0.71
12	0	1	1	1	2	2	0.095	30.04	0.29
13	0	0	0	1	1.4	1.5	0.102	29.28	0.71
14	0	0	0	1	1.4	1.5	0.103	30.27	0.69
15	0	0	0	1	1.4	1.5	0.101	30.69	0.70

การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับค่า COF ที่ 24 ชั่วโมง

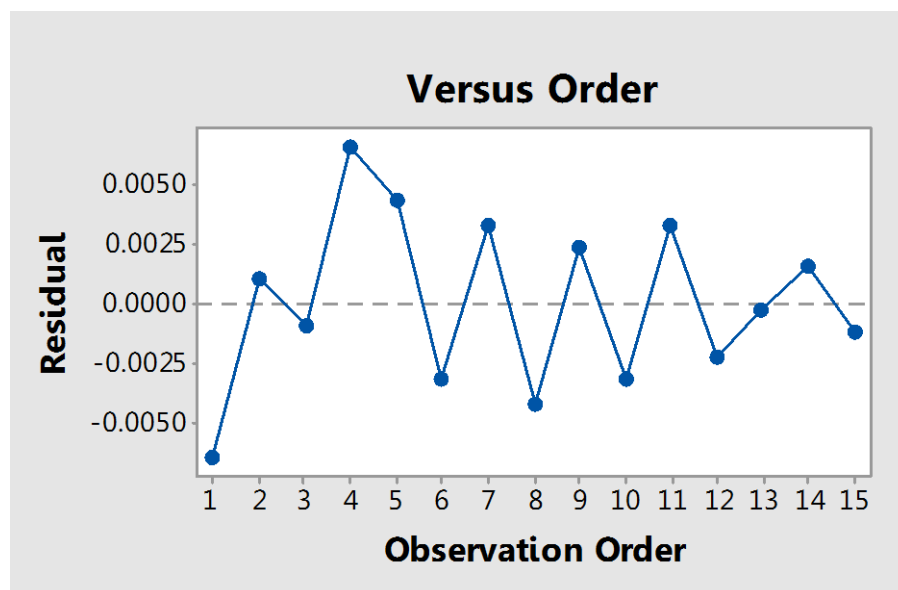
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.34 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



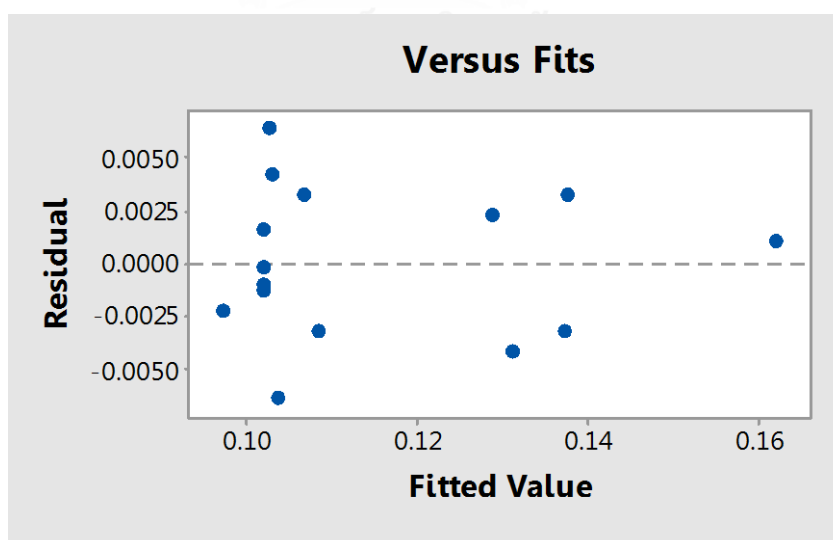
รูปที่ 5.34 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่าเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.35 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.35 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.36 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.36 Versus Fits Plot

ตารางที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF)

Response Surface Regression: COF versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.005236	0.000582	16.25	0.003
Linear	3	0.003603	0.001201	33.54	0.001
AS	1	0.001741	0.001741	48.61	0.001
SL	1	0.001860	0.001860	51.96	0.001
AB	1	0.000002	0.000002	0.06	0.823
Square	3	0.000667	0.000222	6.21	0.039
AS*AS	1	0.000274	0.000274	7.66	0.040
SL*SL	1	0.000187	0.000187	5.22	0.071
AB*AB	1	0.000307	0.000307	8.57	0.033
2-Way Interaction	3	0.000966	0.000322	8.99	0.019
AS*SL	1	0.000841	0.000841	23.49	0.005
AS*AB	1	0.000025	0.000025	0.70	0.441
SL*AB	1	0.000100	0.000100	2.79	0.156
Error	5	0.000179	0.000036		
Total	14	0.005415			

Model Summary

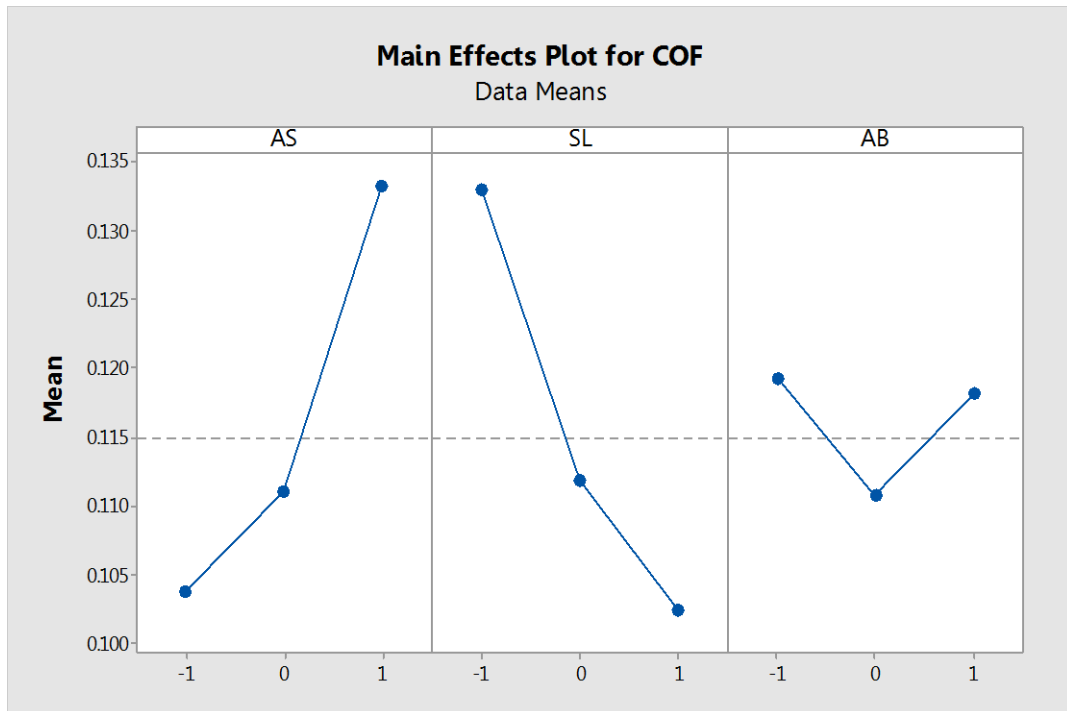
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0059838	96.69%	90.74%	48.13%

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่า COF พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) และ ปริมาณสาร Slip Agent (SL) และ อันตรกิริยา (Interaction) มีผล 1 ตัวคือ ปริมาณสาร Antistatic กับปริมาณสาร Slip Agent (AS*SL) และสมการทำนาย แสดงในสมการที่ 7

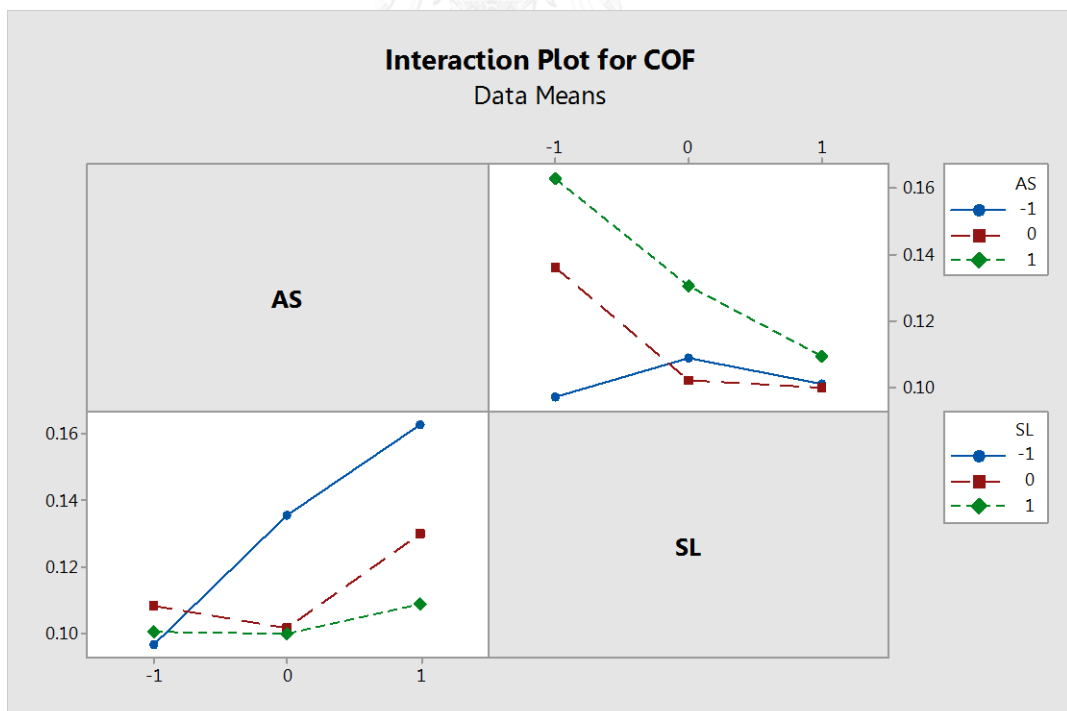
เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี Boxbehken ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{COF} = 0.0534 + 0.0972 \text{ AS} + 0.0229 \text{ SL} - 0.0483 \text{ AS*SL} \quad (7)$$

นำข้อมูลมาทำ Main effect plot พล็อตเพื่อดูผลของปัจจัยหลักแต่ละตัวพบว่าเมื่อปริมาณสาร Antistatic เพิ่มขึ้นจาก -1 ถึง 1 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น นั่นคือฟิล์มที่ได้จะมีความฝืดขึ้น เมื่อใส่ปริมาณสาร Slip Agent เพิ่มขึ้นจาก -1 ถึง 1 พบว่าทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง สำหรับปัจจัยสาร Antiblocking ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) เท่ากับ 0.05



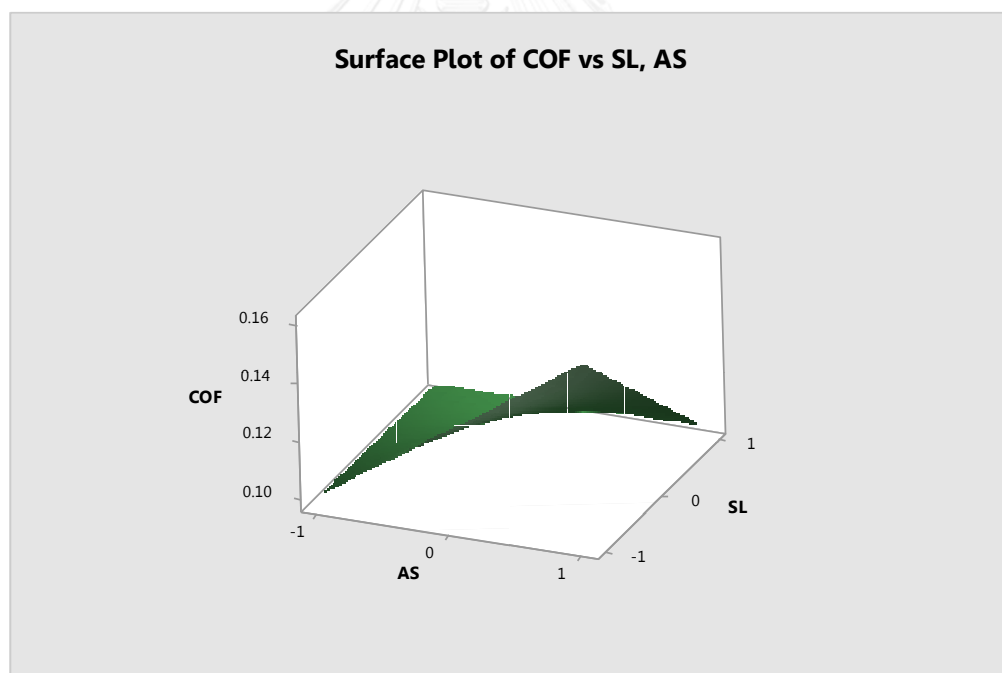
รูปที่ 5.37 Main Effect Plot ของค่า COF



รูปที่ 5.38 Interaction Plot ของค่า COF ที่เวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับปัจจัยร่วมผู้วิจัยนำข้อมูลมาทำ Interaction Plot เพื่อดูผลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AS (ปริมาณสารAntistatic) และปัจจัย SL (ปริมาณสาร slip) พบว่า ที่ระดับปัจจัย AS อยู่ในระดับ 1 จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าสูงกว่าปัจจัย AS ที่ระดับใดๆ และที่ระดับปัจจัย SL ที่ระดับ 1 จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าต่ำกว่าปัจจัย SL ที่ระดับใดๆ ดังรูปที่ 5.38

รูปที่ 5.39 แสดง Surface Plots ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟสัดส่วนสาร AS และ สัดส่วนสาร SL มีลักษณะที่บิดโค้งคล้ายพาราโบลา มีจุดวกกลับ แสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของสาร AS และสัดส่วนสาร SL มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อสัดส่วนสาร AS ต่ำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะสูงขึ้นนิดหน่อย เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงจนเมื่อจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อสัดส่วนสาร SL ต่ำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะสูงขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วน SL ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงจนเมื่อจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มสัดส่วน AS ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น

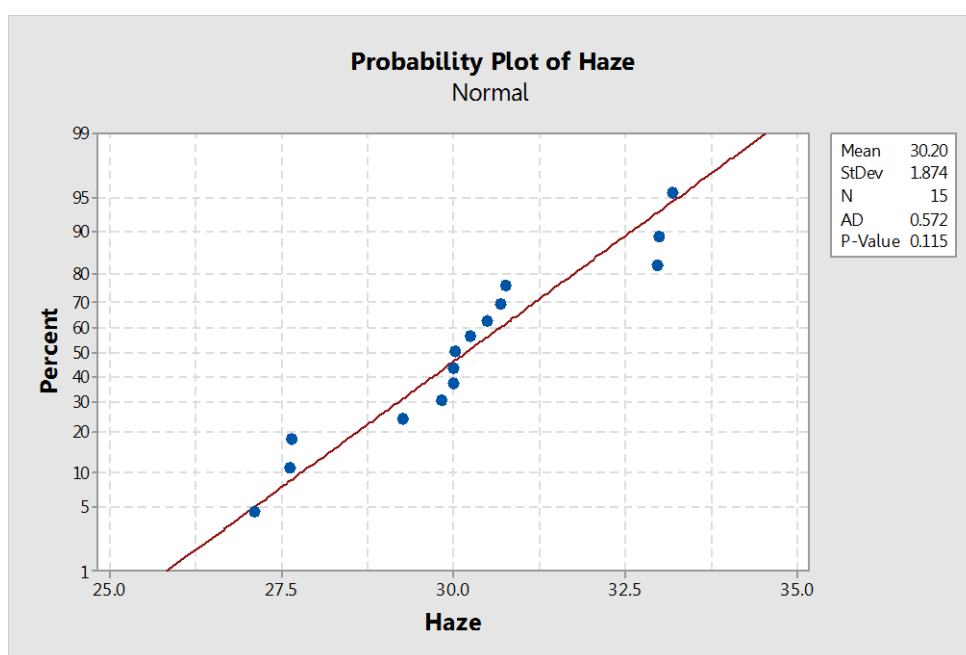


รูปที่ 5.39 Surface Plots ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับค่าความขุ่นมัวของพลาสติก (Haze)

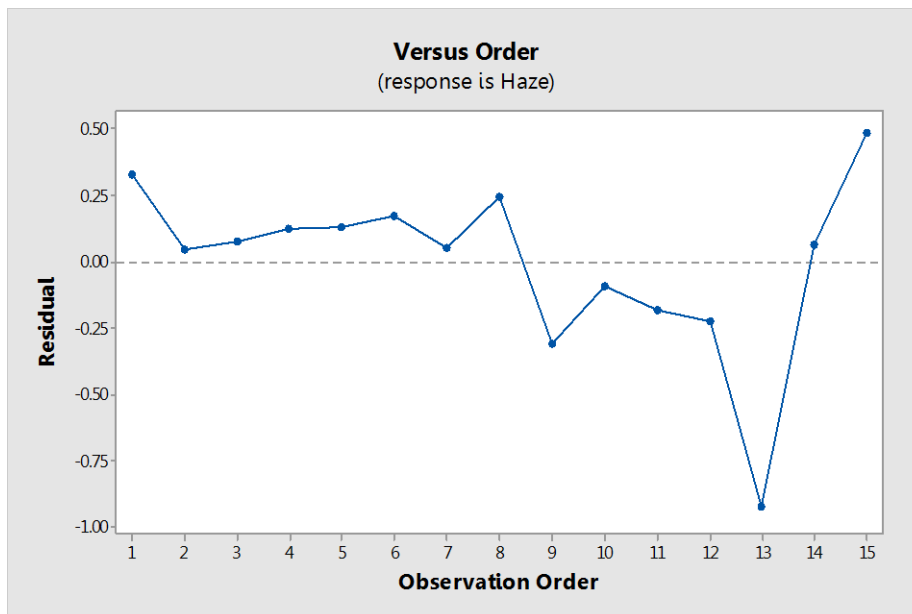
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 3.10 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



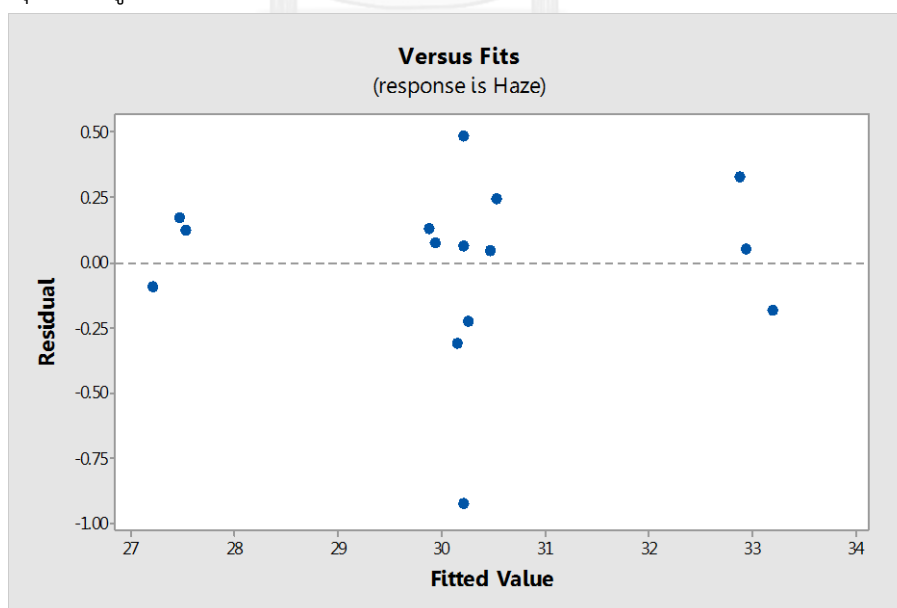
รูปที่ 5.40 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.41 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.41 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.42 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามี การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.42 Versus Fits Plot

ตารางที่ 5.23 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่า Haze

Response Surface Regression: Haze versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	48.0518	5.3391	24.44	0.001
Linear	3	47.6189	15.8730	72.66	0.000
AS	1	11.6644	11.6644	53.39	0.001
SL	1	17.2578	17.2578	79.00	0.000
AB	1	18.6966	18.6966	85.58	0.000
Square	3	0.3831	0.1277	0.58	0.651
AS*AS	1	0.3548	0.3548	1.62	0.259
SL*SL	1	0.0067	0.0067	0.03	0.868
AB*AB	1	0.0052	0.0052	0.02	0.884
2-Way Interaction	3	0.0497	0.0166	0.08	0.970
AS*SL	1	0.0272	0.0272	0.12	0.738
AS*AB	1	0.0056	0.0056	0.03	0.879
SL*AB	1	0.0169	0.0169	0.08	0.792
Error	5	1.0923	0.2185		
Lack-of-Fit	3	0.0441	0.0147	0.03	0.992
Pure Error	2	1.0482	0.5241		
Total	14	49.1441			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.467402	97.78%	93.78%	93.76%

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่น พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณสาร Antistatic (AS) ปริมาณสาร Slip Agent (SL) และ ปริมาณสาร Antiblocking (AB) มีผลต่อค่า Haze และสมการทำนาย แสดงในสมการที่ 8

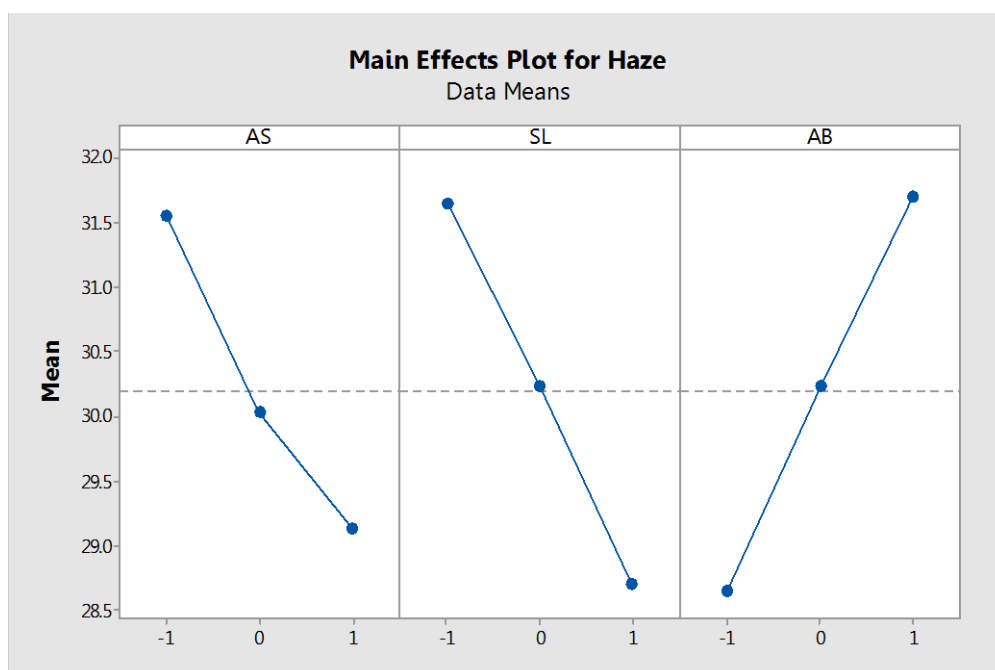
เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี Boxbehken ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Haze} = 31.459 - 2.415 \text{ AS} - 2.448 \text{ SL} + 3.058 \text{ AB} \quad (8)$$

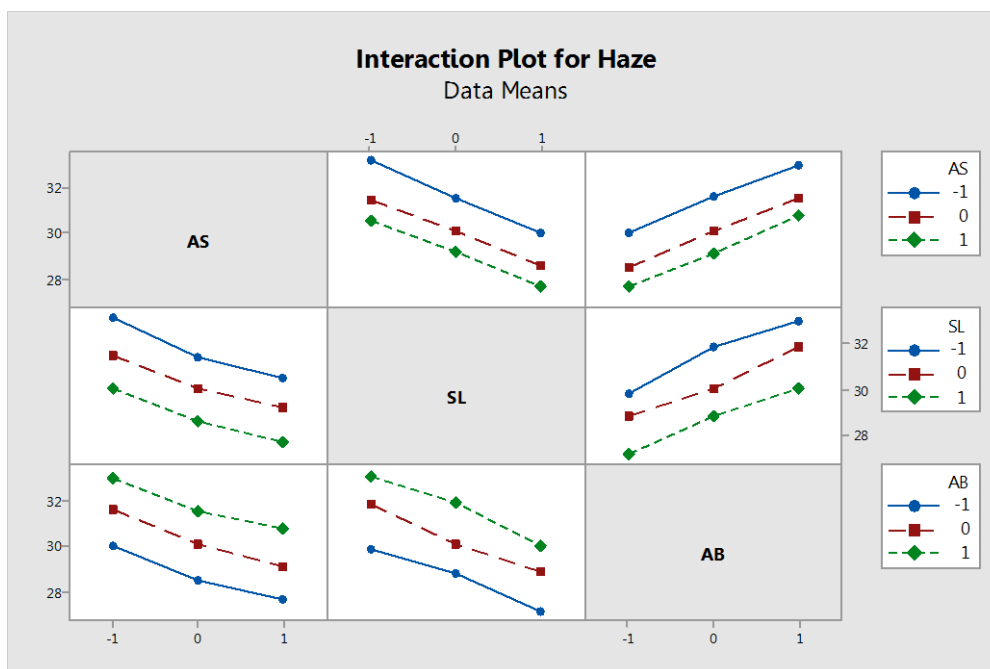
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่น พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณ

สารAntistatic (AS) ปริมาณสาร Slip Agent (SL) และ ปริมาณสาร Antiblocking (AB) มีผลต่อค่า Haze สมการทำนายแสดงในสมการที่ 6 และให้ผล R-Square เท่ากับ 96.9%

รูปที่ 5.43 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อค่า Haze โดยพบว่าเมื่อระดับสาร A (%AS) และ ระดับปริมาณสาร B (%SL) เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่า Haze ลดลง ในขณะที่เมื่อลดระดับสาร C (%AB) พบว่าส่งผลให้ค่า Haze มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.43 Main Effect Plot ของค่า Haze



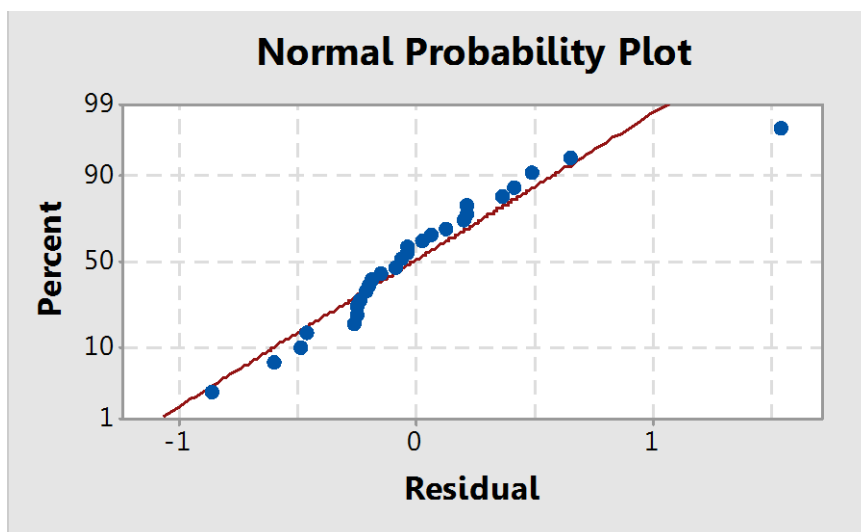
รูปที่ 5.44 Interaction Plot ของค่าความขุ่น (Haze)

สำหรับปัจจัยร่วมผู้วิจัยนำข้อมูลมาทำ Interaction Plot เพื่อดูผลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AS ปัจจัย SL และปัจจัย AB พบว่า ที่ระดับปัจจัย AS อยู่ในระดับ -1 จะส่งผลให้ค่าความขุ่นมีค่าสูงกว่าปัจจัย AS ที่ระดับ 0, 1 ไม่ว่าจะใช้ปัจจัย SL, AB ที่ระดับใดก็ตาม ที่ระดับปัจจัย SL อยู่ในระดับ -1 จะส่งผลให้ค่าความขุ่น มีค่าสูงกว่าปัจจัย SL ที่ระดับ 0, 1 ไม่ว่าจะใช้ปัจจัย AS, AB ที่ระดับใดก็ตาม และที่ระดับปัจจัย AB อยู่ในระดับ 1 จะส่งผลให้ค่า Haze มีค่าสูงกว่าปัจจัย AB ที่ระดับ 0, 1 ไม่ว่าจะใช้ปัจจัย AS, SL ที่ระดับใดก็ตาม และปัจจัย AB ที่ระดับ -1, 0 เมื่อปริมาณสาร AS, SL เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าความขุ่น ลดลง ดังรูปที่ 5.44

การวิเคราะห์ค่าความต้านทานพื้นผิว (Surface Resistivity) หน่วย : Ω

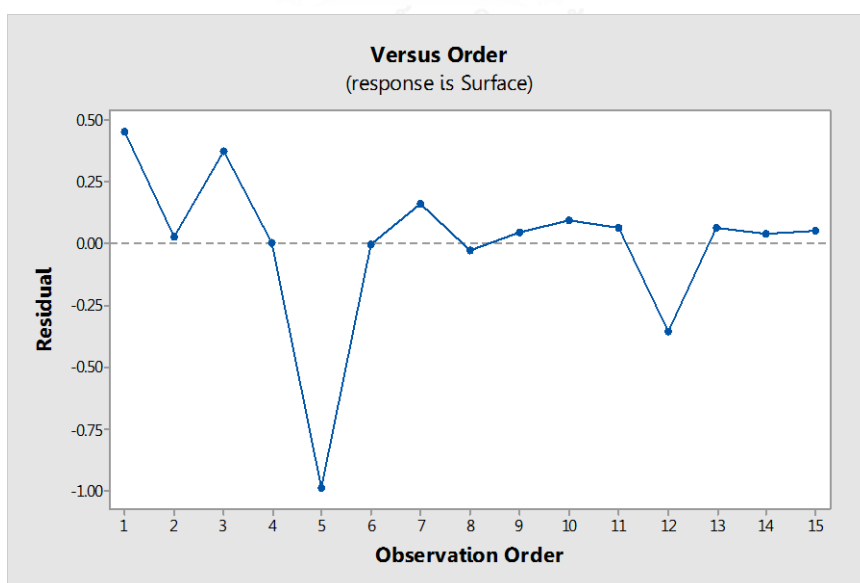
เบื้องต้นทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่จากรูป

1. ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot of Residuals มีค่าเข้าใกล้เส้นตรงหรือไม่ โดยเป็นการตรวจสอบจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูป 5.45 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของข้อมูลอยู่ในแนวเส้นตรง ถือได้ว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้



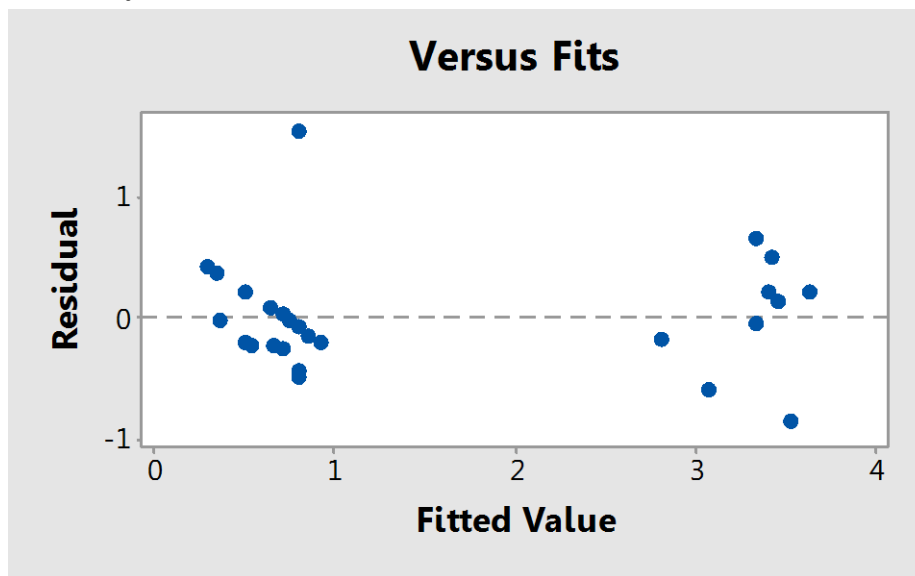
รูปที่ 5.45 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual versus Order ว่าไม่มีรูปแบบของแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถตรวจสอบได้โดยพล็อตแผนภูมิการกระจายของข้อมูล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับการเก็บข้อมูล (Observation order) ว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ จากรูป 5.46 จะเห็นว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีความอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.46 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยการพลอตแผนภูมิการกระจายของข้อมูลจากค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกฟิตซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมนั้น แผนภาพการกระจายไม่ควรมีแนวโน้มเป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 5.47 ตรวจสอบว่ารูปแบบของกราฟ Residual Versus the Fitted Values จะเห็นว่ามีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.47 Versus Fits Plot

ตารางที่ 5.24 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าความต้านทานพื้นผิว

Response Surface Regression: Surface versus AS, SL, AB

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	26.6035	2.9559	23.48	0.001
Linear	3	20.0917	6.6972	53.19	0.000
AS	1	20.0028	20.0028	158.88	0.000
SL	1	0.0276	0.0276	0.22	0.659
AB	1	0.0612	0.0612	0.49	0.517
Square	3	6.1135	2.0378	16.19	0.005
AS*AS	1	5.6103	5.6103	44.56	0.001
SL*SL	1	0.1038	0.1038	0.82	0.406
AB*AB	1	0.2493	0.2493	1.98	0.218
2-Way Interaction	3	0.3983	0.1328	1.05	0.446
AS*SL	1	0.0009	0.0009	0.01	0.936
AS*AB	1	0.3422	0.3422	2.72	0.160
SL*AB	1	0.0552	0.0552	0.44	0.537

Error 5 0.6295 0.1259

Total 14 27.2330

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.354824	97.69%	93.53%	63.02%

เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อผลตอบแต่ละตัวผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์สมการถดถอยจากวิธี Stepwise Regression สำหรับการออกแบบการทดลองโดยวิธี CCD ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Surface} = 8.767 - 13.08 \text{ AS} + 4.957 \text{ AS}^2 \quad (9)$$

จากผลการทดลองพบว่า สาร Antistatic มีผลต่อค่าความต้านทานพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยเดียวและจากตารางผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวในฟิล์มที่มีสาร Antistatic ในสัดส่วน 1% และ 1.5 % ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นผิวเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันคือ $10^{11} \Omega$ หรือกล่าวว่าเป็นฟิล์มที่เป็น Antistatic ส่วนฟิล์มที่มีสัดส่วนของสาร Antistatic ที่ 0.5% และให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นผิวเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ $10^{12} \Omega$ ซึ่งยังมีค่าความเป็นฉนวนอยู่ โดยจากกราฟปัจจัยหลักพบว่า ยิ่งใส่สาร Antistatic ที่สัดส่วนเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานพื้นผิวจะมีค่าต่ำลง

5.2 เปรียบเทียบสมการพยากรณ์ค่า COF และ Haze ของแต่ละวิธี

ตารางที่ 5.25 สมการพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและ Haze ของแต่ละวิธี

วิธี	สมการ	สมการพยากรณ์	R-Sq	R-Sq (adj)
CCD	Y1 (COF)	$0.1538 + 0.0045 \text{ AS} - 0.0752 \text{ SL} + 0.0451 \text{ AS}^2 \text{ AS} + 0.03277 \text{ SL}^2 \text{ SL} - 0.0420 \text{ AS}^2 \text{ SL}$	87.48%	83%
	Y2 (Haze)	$30.700 - 1.452 \text{ AS} - 1.175 \text{ SL} + 1.517 \text{ AB}$	65.98%	59.60%
	Y3 (Surface)	$5.114 - 6.02 \text{ AS} + 1.845 \text{ AS}^2 \text{ AS}$	74.03%	70.98%
Fullfactorial	Y1 (COF)	$0.0564 + 0.0992 \text{ AS} + 0.0190 \text{ SL} - 0.0441 \text{ AS}^2 \text{ SL}$	81.31%	78.87%
	Y2 (Haze)	$31.475 - 2.012 \text{ AS} - 1.709 \text{ SL} + 2.046 \text{ AB}$	76.89%	73.87%
	Y3 (Surface)	$8.640 - 13.22 \text{ AS} + 5.241 \text{ AS}^2 \text{ AS}$	94.36%	93.89%
Boxbehken	Y1 (COF)	$0.0534 + 0.0972 \text{ AS} + 0.0229 \text{ SL} - 0.0483 \text{ AS}^2 \text{ SL}$	82.03%	77.12%
	Y2 (Haze)	$31.459 - 2.415 \text{ AS} - 2.448 \text{ SL} + 3.058 \text{ AB}$	96.90%	96.05%
	Y3 (Surface)	$8.767 - 13.08 \text{ AS} + 4.957 \text{ AS}^2 \text{ AS}$	94.50%	93.59%

จากตารางที่ 5.25 เมื่อเทียบสมการพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของแต่ละวิธีพบว่า วิธี CCD ให้ค่า R-Sq สูงที่สุด การพยากรณ์ค่าความขุ่น (Haze) สมการพยากรณ์จากวิธี Boxbehnken ให้ค่า R-Sq สูงที่สุด ค่าความต้านทานพื้นผิว สมการพยากรณ์จากวิธี Boxbehnken ให้ค่า R-Sq สูงที่สุด สำหรับค่า R-Sq (adj) ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพบว่าวิธี CCD มีค่ามากที่สุด ค่าความขุ่น (Haze) สมการพยากรณ์จากวิธี Boxbehnken ให้ค่าสูงที่สุด และ ค่าความต้านทานพื้นผิว สมการพยากรณ์จากวิธี Fullfactorial ให้ค่าสูงที่สุด เพื่อเป็นการยืนยันสมการพยากรณ์ ว่าสมการวิธีใดให้ผลที่ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุดจึงทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการพยากรณ์ของแต่ละวิธี โดยการใช้ข้อมูลที่ทดลองจริงมาลงในสมการพยากรณ์ โดยแบ่งข้อมูลเป็นสามส่วน โดยที่ส่วนที่ 1คือปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1, 0 ,1 ส่วนที่ 2 คือ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1.633, -1, 0, 1, 1.633 ส่วนสุดท้ายคือจุดที่ทดลองยืนยันผลที่ได้จากสมการหาจุดที่เหมาะสม ดังตารางต่อไปนี้



ตารางที่ 5.26 ผลการแทนค่าสมการพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

COF	A	B	C	ผลจริง [1]	ผลจากแทนค่าสมการ [2]			% ผลต่าง $([1] - [2])/[1] \times 100$		
					CCD	Fullfac	Box	CCD	Fullfac	Box
ส่วนที่ 1	-1	-1	-1	0.111	0.112	0.104	0.101	0.53	7.05	9.32
	1	-1	-1	0.155	0.173	0.167	0.160	11.17	7.80	2.72
	-1	1	-1	0.102	0.106	0.100	0.100	4.18	2.30	2.62
	1	1	-1	0.133	0.117	0.111	0.100	12.50	16.95	25.02
	-1	-1	1	0.095	0.112	0.104	0.101	18.26	9.35	6.67
	1	-1	1	0.190	0.173	0.167	0.160	8.89	11.66	15.82
	-1	1	1	0.099	0.106	0.100	0.100	7.44	0.76	0.42
	1	1	1	0.106	0.117	0.111	0.100	10.33	4.72	5.46
	0	0	0	0.102	0.104	0.120	0.115	2.39	18.62	13.32
	0	-1	-1	0.131	0.131	0.135	0.130	0.37	3.42	0.56
	-1	0	-1	0.107	0.097	0.102	0.100	9.31	4.95	6.29
	0	0	-1	0.106	0.104	0.120	0.115	1.95	13.58	8.51
	1	0	-1	0.134	0.133	0.139	0.130	1.12	3.81	3.16
	0	1	-1	0.105	0.101	0.105	0.100	4.04	0.30	4.98
	-1	-1	0	0.097	0.112	0.104	0.101	15.45	6.75	4.14
	0	-1	0	0.142	0.131	0.135	0.130	7.41	4.59	8.26
	1	-1	0	0.163	0.173	0.167	0.160	5.92	2.71	2.13
	-1	0	0	0.114	0.097	0.102	0.100	14.88	10.79	12.04
	1	0	0	0.156	0.133	0.139	0.130	15.06	10.83	16.81
	-1	1	0	0.101	0.106	0.100	0.100	5.42	1.14	1.47
	0	1	0	0.103	0.101	0.105	0.100	2.17	2.25	3.14
	1	1	0	0.109	0.117	0.111	0.100	7.09	1.64	8.24
	0	-1	1	0.141	0.131	0.135	0.130	6.75	3.91	7.61
	-1	0	1	0.11	0.097	0.102	0.100	11.78	7.55	8.85
0	0	1	0.117	0.104	0.120	0.115	11.17	2.91	1.69	
1	0	1	0.127	0.133	0.139	0.130	4.33	9.53	2.18	
0	1	1	0.095	0.101	0.105	0.100	6.06	10.86	5.02	
เฉลี่ย								7.63	6.69	6.91
SD								4.97	4.91	5.74
ส่วนที่ 2	-1.633	0	0	0.118	0.104	0.090	0.091	12.26	24.10	23.20
	1.633	0	0	0.155	0.162	0.151	0.139	4.38	2.62	10.25
	0	-1.633	0	0.169	0.162	0.145	0.140	4.54	14.29	17.30
	0	1.633	0	0.111	0.111	0.096	0.090	0.04	14.03	19.11
	0	0	-1.633	0.107	0.104	0.120	0.115	2.87	12.52	7.50
	0	0	1.633	0.106	0.104	0.120	0.115	2.14	13.37	8.31
เฉลี่ย								4.82	13.51	15.47
SD								4.20	6.82	6.48
ยืนยันผล	1	-1.633	-0.8533	0.211	0.210	0.185	0.178	0.47	12.32	15.64

ตารางที่ 5.27 ผลการแทนค่าสมการพยากรณ์ค่าความขุ่น (Haze) ของแต่ละวิธี

Haze	A	B	C	ผลจริง [1]	ผลจากแทนค่าสมการ [2]			% ผลต่าง $(([1] - [2])/[1]) \times 100$		
					CCD	Fullfac	Box	CCD	Fullfac	Box
ส่วนที่ 1	-1	-1	-1	30.99	30.29	31.15	31.35	2.25	0.51	1.16
	1	-1	-1	29.44	29.41	29.14	28.93	0.11	1.03	1.72
	-1	1	-1	29.36	29.43	29.10	28.41	0.22	0.90	3.23
	1	1	-1	28.33	28.54	27.08	26.00	0.75	4.40	8.24
	-1	-1	1	31.16	31.22	33.19	34.41	0.19	6.53	10.43
	1	-1	1	30.05	30.34	31.18	31.99	0.95	3.77	6.46
	-1	1	1	30.34	30.35	31.14	31.47	0.05	2.64	3.73
	1	1	1	29.74	29.47	29.13	29.05	0.91	2.05	2.30
	0	0	0	29.28	29.88	30.14	30.20	2.05	2.93	3.15
	0	-1	-1	29.83	29.85	30.14	30.14	0.07	1.05	1.05
	-1	0	-1	30.01	29.86	30.12	29.88	0.50	0.37	0.43
	0	0	-1	28.77	29.42	29.12	28.67	2.25	1.20	0.33
	1	0	-1	27.64	28.98	28.11	27.47	4.83	1.70	0.63
	0	1	-1	27.11	28.98	28.09	27.20	6.91	3.61	0.35
	-1	-1	0	33.21	30.76	32.17	32.88	7.39	3.13	0.99
	0	-1	0	31.87	30.31	31.17	31.67	4.88	2.21	0.62
	1	-1	0	30.51	29.87	30.16	30.46	2.09	1.15	0.15
	-1	0	0	32.48	30.32	31.15	31.41	6.64	4.11	3.29
	1	0	0	28.32	29.44	29.13	28.99	3.95	2.87	2.38
	-1	1	0	30.02	29.89	30.12	29.94	0.43	0.33	0.26
	0	1	0	29.03	29.45	29.11	28.73	1.44	0.29	1.02
	1	1	0	27.65	29.01	28.11	27.53	4.90	1.65	0.45
	0	-1	1	33.02	30.78	32.19	33.20	6.79	2.52	0.55
	-1	0	1	32.99	30.79	32.17	32.94	6.68	2.49	0.15
0	0	1	31.78	30.35	31.16	31.73	4.52	1.94	0.15	
1	0	1	30.77	29.90	30.16	30.52	2.82	2.00	0.80	
0	1	1	30.04	29.91	30.14	30.26	0.43	0.32	0.74	
เฉลี่ย								2.78	2.14	2.03
SD								2.54	1.49	2.58
ส่วนที่ 2	-1.633	0	0	32.37	30.60	31.78	32.18	5.46	1.82	0.60
	1.633	0	0	29.10	29.16	28.50	28.23	0.20	2.07	2.99
	0	-1.633	0	31.86	30.59	31.81	32.60	3.99	0.14	2.33
	0	1.633	0	28.45	29.17	28.46	27.80	2.54	0.05	2.27
	0	0	-1.633	26.69	29.12	28.47	27.71	9.12	6.66	3.81
	0	0	1.633	30.93	30.64	31.81	32.70	0.94	2.84	5.72
เฉลี่ย								3.71	2.26	2.95
SD								3.28	2.42	1.72
ยืนยันผล	1	-1.633	-0.8533	30.78	29.75	29.94	30.09	3.35	3.39	2.90

ตารางที่ 5.28 ผลการแทนค่าสมการพยากรณ์ค่าความต้านทานพื้นผิว(Surface resistivity) ของแต่ละวิธี

Surface resistivity	A	B	C	ผลจริง [1]	ผลจากแทนค่าสมการ [2]			% ผลต่าง $([1] - [2])/[1] \times 100$		
					CCD	Fullfac	Box	CCD	Fullfac	Box
ส่วนที่ 1	-1	-1	-1	2.60	1.82	3.34	3.47	30.16	28.49	33.35
	1	-1	-1	0.33	0.40	0.33	0.31	21.79	0.82	7.58
	-1	1	-1	4.00	1.82	3.34	3.47	54.60	16.48	13.33
	1	1	-1	0.44	0.40	0.33	0.31	8.66	25.61	30.68
	-1	-1	1	3.60	1.82	3.34	3.47	49.56	7.20	3.69
	1	-1	1	0.40	0.40	0.33	0.31	0.47	18.18	23.75
	-1	1	1	3.30	1.82	3.34	3.47	44.97	1.23	5.06
	1	1	1	0.32	0.40	0.33	0.31	25.59	2.28	4.69
	0	0	0	0.71	0.95	0.71	0.65	33.54	0.23	8.67
	0	-1	-1	0.69	0.95	0.71	0.65	37.10	2.90	6.23
	-1	0	-1	2.48	1.82	3.34	3.47	26.78	34.71	39.80
	0	0	-1	0.71	0.95	0.71	0.65	33.24	0.00	8.87
	1	0	-1	0.30	0.40	0.33	0.31	33.97	9.10	1.67
	0	1	-1	0.74	0.95	0.71	0.65	27.84	4.05	12.57
	-1	-1	0	3.92	1.82	3.34	3.47	53.68	14.78	11.56
	0	-1	0	0.71	0.95	0.71	0.65	33.24	0.00	8.87
	1	-1	0	0.33	0.40	0.33	0.31	21.79	0.82	7.58
	-1	0	0	2.67	1.82	3.34	3.47	31.99	25.12	29.85
	1	0	0	0.24	0.40	0.33	0.31	67.46	36.38	27.08
	-1	1	0	3.84	1.82	3.34	3.47	52.71	13.00	9.71
0	1	0	0.71	0.95	0.71	0.65	33.24	0.00	8.87	
1	1	0	0.31	0.40	0.33	0.31	29.65	5.58	1.61	
0	-1	1	0.71	0.95	0.71	0.65	33.24	0.00	8.87	
-1	0	1	3.63	1.82	3.34	3.47	49.98	7.97	4.49	
0	0	1	0.71	0.95	0.71	0.65	33.24	0.00	8.87	
1	0	1	0.28	0.40	0.33	0.31	43.54	16.89	8.93	
0	1	1	0.71	0.95	0.71	0.65	33.24	0.00	8.87	
เฉลี่ย								35.01	10.07	12.78
SD								14.19	11.48	10.46
ส่วนที่ 2	-1.633	0	0	2.40	2.53	6.17	6.53	5.62	156.99	172.20
	1.633	0	0	0.33	0.23	1.25	1.37	31.55	277.85	314.93
	0	-1.633	0	0.70	0.95	0.71	0.65	35.10	1.40	7.60
	0	1.633	0	0.69	0.95	0.71	0.65	36.13	2.17	6.89
	0	0	-1.633	0.70	0.95	0.71	0.65	34.28	0.78	8.16
0	0	1.633	0.71	0.95	0.71	0.65	32.62	0.46	9.29	
เฉลี่ย								29.22	73.28	86.51
SD								11.68	118.02	129.76
ยืนยันผล	1	-1.633	-0.8533	0.40	0.33	0.31	0.34	17.50	22.50	15.00

ตารางที่ 5.29 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์แต่ละวิธี

ส่วนที่ (ค่าอยู่ระหว่าง)	สมการวิธี	ค่าเฉลี่ยของ % ผลต่าง		
		COF	ความขุ่น	ความต้านทานพื้นผิว
1 [-1 0 1]	CCD	7.6 ± 5	2.78 ± 2.5	35 ± 14.2
	Fullfactorial	6.7 ± 4.9	2.14 ± 1.5	10.1 ± 11.5
	Boxbehnken	6.9 ± 5.7	2.03 ± 2.6	12.8 ± 10.5
2 [-1.633 -1 0 1 1.633]	CCD	4.8 ± 4.2	3.71 ± 3.3	29.22 ± 11.7
	Fullfactorial	13.5 ± 6.8	2.26 ± 2.4	73.28 ± 118
	Boxbehnken	15.5 ± 6.5	2.95 ± 1.7	86.51 ± 129.8
ทดลองยืนยันผล AS : SL : AB [-1 : -1.633 :-0.853]	CCD	0.47	3.35	17.5
	Fullfactorial	12.32	3.39	22.5
	Boxbehnken	15.64	2.9	15

จากตารางแทนค่าสมการของค่า COF พบว่า ส่วนที่ 1 คือ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1, 0, 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี Fullfactorial ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุดคือ 6.7 ± 4.9 ส่วนที่ 2 คือ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1.633, -1, 0, 1, 1.633 พบว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ CCD ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุดคือ 4.8 ± 4.2 วิธี Fullfactorial และ กับ วิธี Boxbehnken ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 13.5 ± 6.8 และ 15.5 ± 6.5 ส่วนสุดท้ายคือจุดที่ทดลองยืนยันผล พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี CCD ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุดคือ 0.47

จากตารางแทนค่าสมการของค่าความขุ่น (Haze) พบว่า ส่วนที่ 1 คือ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1, 0, 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี Boxbehnken ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดคือ 2.03 ± 2.6 ซึ่งใกล้เคียงกับวิธี Fullfactorial เท่ากับ 2.14 ± 1.5 แต่วิธี Fullfactorial ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า จึงสรุปว่าวิธี Fullfactorial ให้ความแม่นยำมากกว่า และวิธี CCD ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.71 ± 3.3 ส่วนที่ 2 คือ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่

ในระดับ -1.633, -1, 0, 1, 1.633 พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี Fullfactorial ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ส่วนสุดท้ายคือจุดที่ทดลองยืนยันผล พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี Boxbehnken ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุด

จากตารางแทนค่าสมการของค่าความต้านทานพื้นผิวพบว่า ส่วนที่1 คือ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1, 0, 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี Fullfactorial และวิธี Boxbehnken ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 10.1 ± 11.5 และ 12.8 ± 10.5 ตามลำดับ ส่วนที่ 2 คือ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1.633, -1, 0, 1, 1.633 พบว่า ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี CCD ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดคือ 29.22 ± 11.7 วิธี Fullfactorial และ กับ วิธี Boxbehnken ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 73.28 ± 118 และ 86.51 ± 129.8 ส่วนสุดท้ายคือจุดที่ทดลองยืนยันผล พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ วิธี Boxbehnken ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับวิธี CCD

บทที่ 6

การหาจุดที่เหมาะสมและการทดลองเพื่อยืนยันผล

6.1 การหาจุดที่เหมาะสม

ในการผลิตฟิล์มลามิเนตส่งลูกค้า ต้องพิจารณาคุณภาพของฟิล์มให้เป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ โดยพิจารณาจากปัจจัยหลัก 3 ตัวแปร ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มด้านต่างๆดังนี้

1) ปริมาณของสาร Antistatic มีผลโดยตรงต่อค่าความต้านทานพื้นผิว โดยการใส่ปริมาณสารมากกว่าหรือเท่ากับ 1% จะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวต่ำที่สุดโดยประมาณ $10^{11} \Omega$ สำหรับผลของสาร Antistatic ต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของฟิล์ม พบว่าเมื่อใส่เดี่ยวจะปลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานทำให้ฟิล์มลื่นขึ้น และอันตรกิริยา (Interaction) มีผลกับปริมาณสาร Slip Agent (AS*SL) กล่าวคือเมื่อใส่ร่วมกับ สาร Slip จะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีความผิดขึ้น และพบว่ามีผลในรูปของกำลังสอง (AS*AS) สำหรับผลของสาร Antistatic มีผลโดยตรงต่อค่า ความขุ่น โดยเมื่อสาร Antistatic เพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นมีค่าลดลง กล่าวคือฟิล์มที่ได้มีความใสเพิ่มขึ้น

2) ปริมาณของสาร Slip Agent มีผลโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของฟิล์ม โดยเมื่อใส่สาร Slip เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง ฟิล์มจึงมีลักษณะลื่นขึ้น และพบว่ามีผลในรูปของกำลังสอง (SL*SL) และ อันตรกิริยา (Interaction) มีผล 1 ตัวคือ ปริมาณสาร Antistatic กับปริมาณสาร Slip Agent (AS*SL) สำหรับผลของสาร Slip Agent มีผลโดยตรงต่อค่าความขุ่นโดยเมื่อสาร Slip Agent เพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นมีค่าลดลง กล่าวคือฟิล์มที่ได้มีความใสเพิ่มขึ้น

3) ปริมาณของสาร Antiblocking สำหรับผลของสาร Antiblocking มีผลโดยตรงต่อค่าความขุ่นโดยเมื่อสัดส่วนของสาร Antiblocking เพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นด้วย กล่าวคือฟิล์มที่ได้มีความขุ่นเพิ่มมากขึ้น

การหาจุดที่เหมาะสม (Optimization)

เนื่องจากในกระบวนการผลิตจริงมีความแปรปรวนอันเนื่องมาจากวัตถุดิบค่อนข้างสูง เช่นคุณภาพของเม็ดพลาสติกที่ใช้ รวมถึงประสิทธิภาพและการควบคุมเครื่องจักร และเนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีกำลังการผลิตสูง การควบคุมคุณภาพจึงกำหนดเป็นช่วง เพื่อรองรับความแปรปรวน ดังนั้นในการกำหนดค่าวัตถุประสงค์ ค่าน้ำหนักและความสำคัญของตัวแปรตอบสนองแต่ละตัว จึงมีข้อพิจารณาในการกำหนดผลดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของฟิล์ม กำหนด Goal แบบ Target โดยกำหนด Lower ที่ 0.1 กำหนด Target ที่ 0.2 กำหนด Upper ที่ 0.3

2. ค่าความขุ่น (Haze) กำหนด Goal แบบ Minimize แต่มีความสำคัญไม่เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพราะเมื่อต้องการความใสหรือขุ่น สามารถใส่สีหรือสารทำให้เกิดความใสได้เมื่อกำหนดเป้าหมายแต่ละแบบให้แก่ผลตอบแต่ละตัว รวมถึงการกำหนดน้ำหนักและความสำคัญแล้วจะใช้คำสั่ง Response Optimizer ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการตั้งค่าตัวแปรแต่ละตัวซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ค่าที่เหมาะสมของสัดส่วน Antistatic (A) ที่ระดับ 1.6330 ค่าที่เหมาะสมของปริมาณสาร Slip (B) ที่ระดับ -1.1558 ค่าที่เหมาะสมของสาร Antiblocking (C) ที่ระดับ -1.633

1. ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว กำหนด Goal แบบ Minimize ต่ำที่สุดโดยประมาณ $0.32 \times 10^{11} \Omega$ ถึง $0.9 \times 10^{11} \Omega$ และ ค่าความต้านทานพื้นผิว จากการทำการทดลองพบว่าขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนของสาร Antistatic เมื่อใส่ปริมาณสาร Antistatic ที่ 1% 1.5% หรือ 1.8% ในทุกกรณีขอการทดลอง ไม่ว่าจะใส่สัดส่วนของสาร Slip gent และสาร Antiblocking ในสัดส่วนใดๆก็ตาม จึงสามารถคำนวณได้จากสมการ ว่าควรใส่สาร Antistatic ไม่น้อยกว่า 1 %

เนื่องจากผลการทดลองค่าแรงดึง ค่าที่มากกว่าที่ต้องการในทุกเงื่อนไขของการทดลอง และไม่เคยเกิดปัญหาค่าแรงดึงน้อยกว่าที่ต้องการ จึงไม่นำเงื่อนไขของตัวแปรมาใส่ในสมการพยากรณ์จึงได้จุดที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.1 Response Optimization

Response Optimization: Surface, Haze, COF24

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Surface	Minimum		0.32	0.90	1	1
Haze	Minimum		26.69	32.37	5	1
COF24	Target	0.1	0.20	0.30	10	1

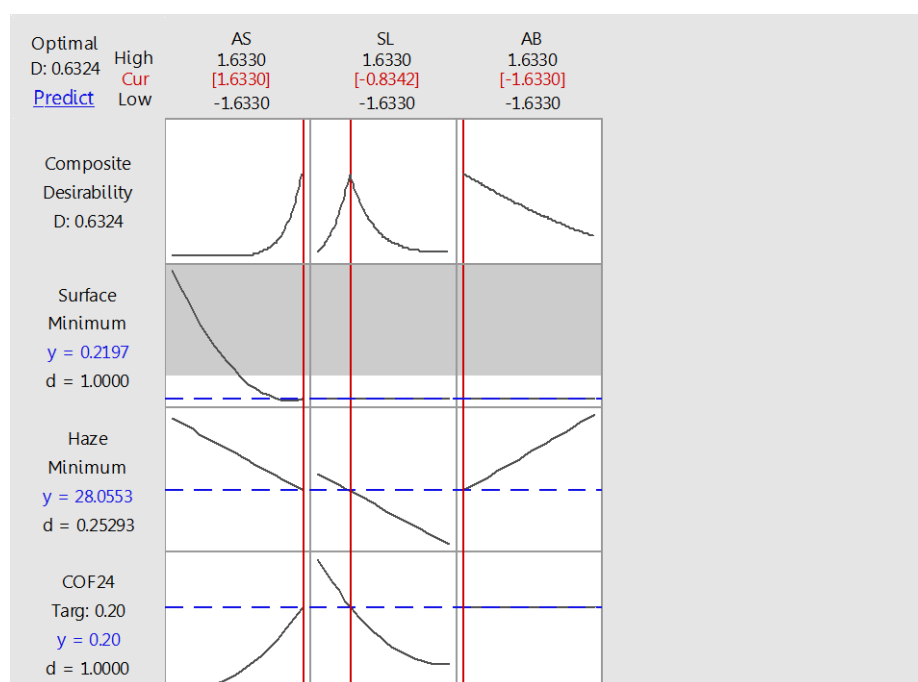
Solution

Composite Solution	AS	SL	AB	Surface Fit	Haze Fit	COF24 Fit	
Desirability	1	1.633	-0.834158	-1.633	0.219731	28.0553	0.200000
	0.632412						

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
AS	1.633
SL	-0.834158
AB	-1.633

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Surface	0.220	0.480	(-0.792, 1.232)	(-1.479, 1.919)
Haze	28.055	0.587	(26.811, 29.299)	(25.904, 30.207)
COF24	0.2000	0.0101	(0.1783, 0.2217)	(0.1679, 0.2321)



รูปที่ 6.1 Optimization Plot

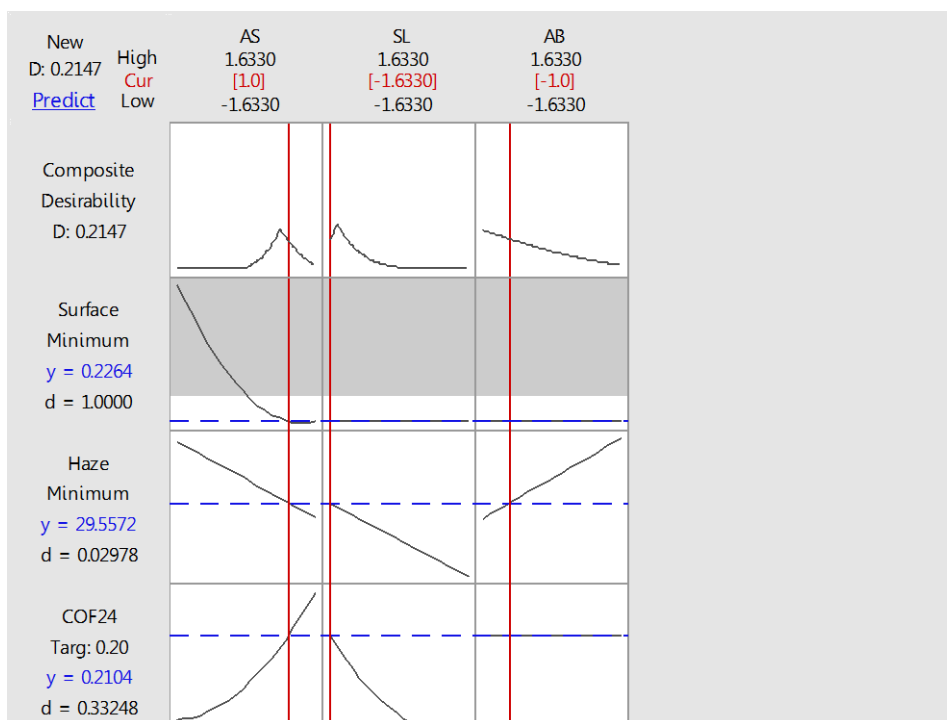
y = 0.2

ปริมาณสาร A= 1.8 %

ปริมาณสาร B= 0.7 %

ปริมาณสาร C= 0.7 %

เนื่องจากผลการทดสอบ ค่า Surface Resistivity พบว่า เมื่อใส่ปริมาณสาร Antistatic ที่ 1.5% หรือ 1.8% จะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวต่ำที่สุดโดยประมาณ $10^{11} \Omega$ และเนื่องจากสาร Antistatic มีราคาค่อนข้างสูง จึงปรับสมการให้เหมาะสมโดยการเลือกใส่สาร Antistatic ที่ระดับ 1.5% ได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 6.2 Optimization Plot

$y = 0.2104$

ปริมาณสาร A= 1.5 %

ปริมาณสาร B= 0.4 %

ปริมาณสาร C= 1. %

จากการวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Response Optimizer สามารถสรุปการตั้งค่าปัจจัยที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม

สัญลักษณ์ ของปัจจัย	ชื่อปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม (Coded Units)	ระดับที่เหมาะสม
A	Antistatic (%)	1	1.5
B	Slip Agent (%)	-1.633	0.4
C	Antiblock (%)	-0.8533	1.0

6.2 การทดลองเพื่อยืนยันผล

ผู้วิจัยได้นำผลที่วิเคราะห์ได้จากการหาจุดที่เหมาะสม (Optimization) ไปทดลองเป่าจริงตามเงื่อนไขการทดลอง ได้ผลการยืนยันการทดลองดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าคุณสมบัติในด้านต่างๆของฟิล์มจากการทดลอง

วัดครั้งที่	ตัวแปรตอบสนอง			MD		TD	
	COF	Surface	Haze	Stress (MPa)	Strain (%)	Stress (MPa)	Strain (%)
1	0.207	2.6×10^{11}	29.95	33.87	792.29	27.25	896.66
2	0.193	4.1×10^{11}	32.40	32.29	788.68	29.35	910.15
3	0.254	3.4×10^{11}	31.10	31.77	792.66	29.56	921.09
4	0.189	2.7×10^{11}	31.40	31.79	793.93	26.14	899.39
5	0.232	4.3×10^{11}	29.60	-	-	-	-
6	0.192	2.4×10^{11}	30.80	-	-	-	-
7	0.221	3.6×10^{11}	31.60	-	-	-	-
8	0.215	2.9×10^{11}	30.30	-	-	-	-
9	0.22	3.6×10^{11}	31.4	-	-	-	-
10	0.187	4.0×10^{11}	29.2	-	-	-	-
เฉลี่ย	0.211	3.36×10^{11}	30.775	32.43	791.89	28.07	906.82
SD	0.02	0.68	0.95	0.99	2.25	1.66	11.15

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าคุณสมบัติในด้านต่างๆของฟิล์มจากการทดลองเทียบกับที่ลูกค้าต้องการ

คุณสมบัติ	ลูกค้า ต้องการ	ก่อนทำการ ปรับปรุง	ตัวอย่าง ยืนยัน
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF)	0.2 ± 0.1	0.41 ± 0.02	0.211 ± 0.02
ความขุ่น (Haze) : (%)	≤ 40	35.17	30.77 ± 1.01
ค่าต้านทานไฟฟ้าที่ผิว (Surface Resistivity) : (Ω)	$< 10^{12}$	$3.1 \pm 0.65 \times 10^{12}$	$3.36 \pm 0.68 \times 10^{11}$
ความต้านทานแรงดึงยืด (Tensile Strength) : TD:(Mpa)	≥ 16	23.14 ± 2.3	28.07 ± 1.34
การยืดตัวจนจุดขาด (Elongation at Break) : MD:(%)	≥ 300	722.76 ± 9.78	791.89 ± 8.88
การยืดตัวจนจุดขาด (Elongation at Break) : TD:(%)	≥ 400	565.19 ± 6.35	906.82 ± 4.36

จากตารางที่ 6.4 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่คำนวณได้จากสมการแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทำทดลองจริง พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นมีความคลาดเคลื่อนกันเพียงเล็กน้อย ทำให้สามารถสรุปได้ว่าสมการแบบจำลองสามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในช่วงปัจจัยของระดับปัจจัยที่ทำการศึกษได้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลระหว่างสาร Slip Agent สาร Antiblocking และสาร Antistatic ในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ต่อคุณสมบัติการใช้งานของฟิล์ม ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน แรงดึง ความขุ่น และ ค่าความต้านทานพื้นผิว ในกระบวนการเป่าฟิล์ม เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารแต่ละชนิดให้ได้คุณสมบัติตามที่ลูกค้าต้องการ ศึกษาโดยใช้วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง จากผลการศึกษารูปได้ว่า

1. สาร Antistatic และสาร Slip Agent มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่า α เท่ากับ 0.05 และ ปริมาณสาร Antistatic สาร Slip Agent และสาร Antiblocking มีผลต่อค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปกติฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นจะมีลักษณะค่อนข้างใส แต่เมื่อใส่สารอื่นๆเข้าไปจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะขุ่นขึ้น
2. เมื่อเปรียบเทียบสมการพยากรณ์ทั้งสามวิธีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน พบว่าถ้าปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1 ถึง 1 สมการพยากรณ์จากวิธีแฟคทอเรียล ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุดและ ปัจจัยทั้งสามตัวอยู่ในระดับ -1.633 ถึง 1.633 พบว่าสมการพยากรณ์จากวิธีแบบส่วนประสมกลาง ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่น้อยที่สุด
3. สัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของสาร สาร Antistatic ต่อ สาร Slip Agent ต่อ สาร Antiblocking ควรมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.5 ต่อ 0.4 ต่อ 1.01 ตามลำดับ เพื่อให้ได้คุณสมบัติการใช้งานของฟิล์มให้มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.2 ± 0.1 และค่าความต้านทานพื้นผิวมีค่าน้อยกว่า 1×10^{12} โอห์ม โดยมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด
4. ความสัมพันธ์ที่ได้นี้สามารถช่วยลดเวลาและของเสียในการลองผิดลองถูกจากการทดลองเป่าตัวอย่างฟิล์มในระหว่างการออกแบบสูตรใหม่ๆได้ อย่างน้อย 500 กิโลกรัมต่อครั้ง

7.2 อุปสรรคและปัญหาในการวิจัย

1. เนื่องจากทำการทดลองกับเครื่องเป่าฟิล์มที่ใช้ในการผลิตจริง จึงเกิดของเสียในการทดลองมากในการเป่าตัวอย่างทดลองแต่ละครั้ง และในการทำการทดลองต้องใช้เวลาและเกิดของเสียในการขึ้นงานใหม่ รอคิวการผลิตนาน

2. ในการทดลองมีการวัดค่าของฟิล์มหลายช่วงเวลา จึงมีความยุ่งยากในการวัดค่าฟิล์มให้ตรง ช่วงเวลาที่ต้องการเพราะบางช่วงเวลาเป็นช่วงกลางดึก และเนื่องจากมีการทดสอบมาก และเครื่องที่ทดสอบที่โรงงานต้องใช้ออกใบ COA ตลอดเวลา จึงขาดความต่อเนื่องและยุ่งยากในการทดสอบมากขึ้น

3. การทดลองหนึ่งครั้งเกิดของเสียมาก จึงมีข้อจำกัดในเรื่องของการทำการทดลองซ้ำและการเลือกช่วงเวลาในการทำการทดลอง เพราะต้องวัดค่าตามช่วงเวลาหลังจากที่ผลิตเสร็จ

7.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึง อิทธิพลของส่วนผสมในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่มีต่อคุณสมบัติการใช้งานในด้าน ความลื่น ความชุ่ม ความต้านทานแรงดึง และการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ งานวิจัยต่อไปควรศึกษา คุณสมบัติในด้านอื่นๆ เช่น การใส่สีมีผลต่อคุณสมบัติการใช้งานหรือไม่



รายการอ้างอิง

- Ampacet. (2559a). Antiblock Additives. Retrieved from <http://www.ampacet.com/faqs/reasons-for-using-antiblock-additives/>
- Ampacet. (2559b). Slip Masterbatches and Concentrates. Retrieved from <http://www.ampacet.com/masterbatch-products/slip-concentrates/>
- ASTM Standard D882. (2002). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.
- B. Chul Kim. (2011). *An experimental study of the scratch properties of poly(methyl methacrylate) as a function of the concentration of added slip agent*. Korea University.
- Chow W. S. (2009). Effects of antistatic agent on the mechanical, morphological and antistatic properties of polypropylene/organo-montmo - rillonite nanocomposites. *Malaysia XPRESS Polymer Letters*, 3, 116-125.
- Plastics Intelligence Unit. (2559). อุตสาหกรรมพลาสติก ปี 2557. Retrieved from <http://plastic.oie.go.th/>
- W. Peloso, J. M. (1997). Characterising the degradation of the polymer slip additive erucamide in the presence of inorganic antiblock agents.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2558). การใช้ SPSS FOR WINDOWS ในการวิเคราะห์ข้อมูล. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติพงษ์ คุ่มทรัพย์, & หิรัญวิวัฒน์กุล, จ. ต. (2554). สารเติมแต่งชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic Additive) สำคัญอย่างไร. *PLASTIC BI-WEEKLY NEWS*, 36.
- คุณาลยา สถานสถิต, & ศศิโรจน์ ชูสกุล. (2554). สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติเชิงไฟฟ้าของ LLDPE ที่เติมพอลิพีโรลและคาร์บอนแบล็ก. 21(2).
- บรรเลง ศรีนิล. (2546). เทคโนโลยีพลาสติก. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี.
- ปารเมศ ชูติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วัชรารักษ์ พลแสน. (2549). การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโอสไตรีนทนแรงกระแทกสูง/ คาร์บอนแบล็ก/ เส้นใยมะพร้าวเพื่อประยุกต์ในงานด้านบรรจุภัณฑ์สำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วาริยา อริยชาติผดุงกิจ. (2553). ผลกระทบของสารป้องกันการยึดติดและสารทำให้ลื่นต่อความใส ของ
ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ),
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2559). Linear Low Density Polyethylene / LLDPE.
Retrieved from [http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1587/linear-
low-density-polyethylene-lldpe](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1587/linear-low-density-polyethylene-lldpe)

สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2547). สารปรับแต่งพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ.







ตารางผลการเก็บข้อมูล ทดลองสาร Antistatic (AS) วัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ตาม
ช่วงเวลา

ตัวอย่างที่	ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 6 ชั่วโมง				ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 12 ชั่วโมง				ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 24 ชั่วโมง			
	ปริมาณ Antistatic (%)				ปริมาณ Antistatic (%)				ปริมาณ Antistatic (%)			
	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5
1	1.011	1.104	0.925	0.490	1.065	1.043	0.856	0.503	1.075	1.011	0.890	0.454
2	0.962	0.938	0.664	0.501	1.090	1.056	0.780	0.531	1.053	1.013	0.895	0.470
3	0.933	1.047	0.848	0.451	1.089	0.967	0.864	0.504	1.078	0.999	0.871	0.458
4	0.803	0.989	0.693	0.473	1.073	0.959	0.826	0.527	1.044	1.005	0.969	0.458
5	0.960	0.790	0.879	0.464	1.125	0.984	0.954	0.519	1.071	1.014	0.934	0.476
6	1.028	0.947	0.941	0.462	1.072	1.106	0.873	0.503	1.058	0.984	0.972	0.457
7	0.899	0.896	0.941	0.461	1.068	1.067	0.965	0.502	1.074	1.137	0.983	0.473
8	1.098	0.984	0.831	0.504	1.077	1.067	0.893	0.513	1.074	1.110	0.957	0.459
9	0.815	1.045	0.831	0.466	1.120	0.927	1.000	0.518	0.987	1.113	1.038	0.459
10	1.055	0.968	0.994	0.509	1.120	1.031	0.839	0.522	1.070	1.070	0.879	0.455
11	0.997	0.946	0.924	0.487	1.060	0.958	0.940	0.525	0.992	1.046	1.038	0.465
12	1.058	0.820	0.808	0.482	1.051	1.022	0.922	0.496	1.022	0.978	0.909	0.454
13	0.798	1.078	0.934	0.508	1.112	1.076	0.958	0.512	1.037	0.909	1.022	0.475
14	0.971	0.818	0.908	0.461	1.137	1.013	0.895	0.503	1.032	1.067	0.927	0.471
15	0.824	1.057	0.836	0.490	1.040	1.009	0.993	0.516	1.045	1.031	0.922	0.466
Mean	0.947	0.962	0.864	0.481	1.087	1.019	0.904	0.513	1.047	1.032	0.947	0.463
SD	0.100	0.098	0.092	0.019	0.030	0.052	0.065	0.011	0.029	0.060	0.056	0.008

ตัวอย่างที่	ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 48 ชั่วโมง				ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 72 ชั่วโมง				ค่า COF ที่วัดในระยะเวลา 480 ชั่วโมง			
	ปริมาณ Antistatic (%)				ปริมาณ Antistatic (%)				ปริมาณ Antistatic (%)			
	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5
1	1.019	0.898	1.024	0.459	0.959	1.000	1.002	0.419	0.746	0.688	0.675	0.382
2	1.012	1.023	0.901	0.443	1.096	0.973	0.990	0.440	0.834	0.608	0.586	0.382
3	0.994	1.048	0.866	0.441	1.039	0.998	0.988	0.415	0.832	0.599	0.613	0.367
4	1.047	1.044	0.83	0.445	1.155	1.038	0.973	0.444	0.768	0.625	0.585	0.377
5	1.034	0.996	0.946	0.437	1.074	1.018	0.896	0.427	0.784	0.679	0.644	0.372
6	1.014	1.017	0.929	0.451	1.102	0.983	0.813	0.442	0.83	0.635	0.596	0.376
7	0.991	1.045	0.809	0.459	1.050	1.033	0.969	0.416	0.893	0.591	0.575	0.365
8	1.071	0.981	0.839	0.445	1.002	0.961	0.954	0.454	0.876	0.653	0.554	0.377
9	1.084	0.994	0.882	0.455	1.008	0.743	0.944	0.426				
10	1.041	0.975	0.819	0.434	1.096	0.989	0.965	0.449				
11	1.03	0.975	0.867	0.454	1.046	0.973	0.951	0.426				
12	0.995	1.028	0.875	0.421	1.096	1.002	0.861	0.445				
13	1.181	0.998	0.896	0.45	0.936	1.022	0.980	0.420				
14	1.142	0.956	0.953	0.421	1.082	0.995	0.955	0.450				
15	1.016	1.016	0.889	0.444	1.027	1.007	0.917	0.442				
Mean	1.045	1.000	0.888	0.444	1.051	0.982	0.944	0.434	0.820	0.635	0.604	0.375
SD	0.055	0.040	0.057	0.012	0.058	0.070	0.052	0.013	0.051	0.036	0.039	0.006

ตารางค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ที่ค่า Antistatic สัดส่วนต่างๆ

COF	% AS			
ตัวอย่างที่	0	0.5	1	1.5
1	1.075	1.011	0.890	0.454
2	1.053	1.013	0.895	0.470
3	1.078	0.999	0.871	0.458
4	1.044	1.005	0.969	0.458
5	1.071	1.014	0.934	0.476
6	1.058	0.984	0.972	0.457
7	1.074	1.137	0.983	0.473
8	1.074	1.110	0.957	0.459
9	0.987	1.113	1.038	0.459
10	1.070	1.070	0.879	0.455
11	0.992	1.046	1.038	0.465
12	1.022	0.978	0.909	0.454
13	1.037	0.909	1.022	0.475
14	1.032	1.067	0.927	0.471
15	1.045	1.031	0.922	0.466
Mean	1.047	1.032	0.947	0.463
SD	0.029	0.060	0.056	0.008

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่า ความชุ่ม (%)

ตัวอย่างที่	AS 0%	AS0.5%	AS1%	AS1.5%
1	29.2	30.8	33.8	34.5
2	31.8	32.4	31.5	31.6
3	32.4	30.5	33.4	31.4
4	32.7	31.4	33.8	34.8
5	30.9	31.2	34.3	33.6
6	30.1	30.4	29.5	35.2
7	30.4	32.5	34	34.9
Mean	31.1	31.3	32.9	33.7
SD	1.28	0.85	1.76	1.59

ผลการทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว วัดเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์

ตารางผลการทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว หน่วย : Ω

แผ่นที่	LLDPE 100%	Antistatic0.5%	Antistatic 1%	Antistatic1.5%
แผ่นที่1	1.9×10^{12}	4.9×10^{11}	2.8×10^{11}	4×10^{10}
	2.1×10^{12}	5.3×10^{11}	4.5×10^{11}	4×10^{10}
	3.0×10^{12}	4.6×10^{11}	4.7×10^{11}	7.8×10^{10}
	2.7×10^{12}	5.0×10^{11}	4.8×10^{11}	7.7×10^{10}
	2.5×10^{12}	4.8×10^{11}	3.8×10^{11}	8×10^{10}
แผ่นที่2	2.3×10^{12}	4.7×10^{11}	4.4×10^{11}	2.4×10^{10}
	2.3×10^{12}	5.1×10^{11}	3.8×10^{11}	1.2×10^{10}
	2.7×10^{12}	5.8×10^{11}	4.6×10^{11}	3.6×10^{10}
	3.1×10^{12}	4.9×10^{11}	3.7×10^{11}	4×10^{10}
	2.1×10^{12}	4.5×10^{11}	3.5×10^{11}	3.3×10^{10}
เฉลี่ย	2.45×10^{12}	4.95×10^{11}	4.05×10^{11}	5.92×10^{10}

ตารางค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ที่ค่า Slip Agent สัดส่วนต่างๆ

SL	0.8(%)	1.4(%)	2(%)
ตัวอย่างที่	1	2	3
วัดครั้งที่ 1	0.114	0.102	0.098
วัดครั้งที่ 2	0.113	0.106	0.098
วัดครั้งที่ 3	0.118	0.106	0.101
วัดครั้งที่ 4	0.115	0.107	0.102
วัดครั้งที่ 5	0.116	0.103	0.101
วัดครั้งที่ 6	0.119	0.104	0.103
วัดครั้งที่ 7	0.112	0.108	0.099
วัดครั้งที่ 8	0.111	0.107	0.108
วัดครั้งที่ 9	0.110	0.109	0.098
วัดครั้งที่ 10	0.119	0.103	0.101
ค่าเฉลี่ย	0.115	0.106	0.101
SD	0.003	0.002	0.003

ตารางผลความขุ่นที่ค่า Slip Agent สัดส่วนต่างๆ

SL	0.8(%)	1.4(%)	2(%)
ตัวอย่างที่	1	2	3
1	33.1	30.1	31.6
2	30.8	32.4	32.2
3	32	34.8	34.3
4	31	31.6	33.4
5	30.8	32.7	31.2
6	31.4	32.4	33.1
7	30.6	33.2	34.2
8	31.9	31.4	35.1
9	32	30.9	34.7
10	30.4	32	30.8
Mean	31.40	32.15	33.06
SD	0.84	1.30	1.54

ตารางค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) ที่ค่า Antiblocking สัดส่วนต่างๆ

AB	AB 1%	AB 1.5%	AB 2%
ตัวอย่างที่	1	2	3
วัดครั้งที่1	1.037	1.052	1.033
วัดครั้งที่2	1.045	1.060	1.048
วัดครั้งที่3	1.052	1.041	1.044
วัดครั้งที่4	1.024	1.022	1.022
วัดครั้งที่5	1.030	1.027	1.043
วัดครั้งที่6	1.032	1.022	1.051
วัดครั้งที่7	1.067	1.043	1.021
วัดครั้งที่8	1.048	1.051	1.041
วัดครั้งที่9	1.029	1.034	1.048
วัดครั้งที่10	1.061	1.047	1.033
ค่าเฉลี่ย	1.043	1.040	1.038
SD	0.014	0.013	0.011

ตารางผลค่าความขุ่น ที่ค่า Antiblocking สัดส่วนต่างๆ

AB	AB 1%	AB 1.5%	AB 2%
ตัวอย่างที่	1	2	3
1	31.1	31.9	36.4
2	32.8	34.2	34.2
3	33.1	32.7	33.7
4	31.9	33.9	34.1
5	30.8	33.7	36.8
6	31.4	32.1	35.3
7	30.7	34.3	33.8
8	31.9	32.1	34.2
9	32.8	34.4	35.6
10	30.4	31.9	36.8
Mean	31.69	33.12	35.09
SD	0.97	1.07	1.25

ผลการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานพื้นผิว (Surfaceresistivity) โดยวิธี CCD

การทดลองที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%AS	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5	0.2	1.8
หน่วย : Ω	$\times 10^{12}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{12}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{12}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{12}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{12}$	$\times 10^{11}$
แผ่นที่1	4.1	6.4	2.2	5.4	3.1	1.8	3.4	2.5	2.2	1.9
	2.9	3.4	4.9	2.1	5.1	4.2	6.3	1.1	2.5	3.3
	2.4	9.0	1.8	3.8	2.8	3.8	2.2	4.4	3.9	1.8
	2.1	7.4	7.1	2.2	5.3	5.9	2.6	2.7	4.0	6.0
	2.5	6.5	4.3	8.5	5.5	2.3	4.5	5.3	2.0	3.8
แผ่นที่2	2.6	5.7	6.1	6.3	2.2	2.3	2.5	2.0	2.2	1.9
	2.7	8.5	5.7	5.0	4.2	6.6	2.6	4.6	2.1	5.8
	2.1	6.4	2.6	5.2	1.6	4.1	2.8	2.1	2.2	6.1
	2.1	4.6	2.1	1.6	2.5	5.6	3.1	2.	1.8	2.2
	2.8	5.3	3.1	4.3	3.6	3.7	2.8	4.7	1.6	6.1
เฉลี่ย	2.6	3.3	4.0	4.4	3.6	4.0	3.3	3.2	2..	3.3
การทดลองที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
%AS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
หน่วย : Ω	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$	$\times 10^{11}$
แผ่นที่1	7.4	6.3	7.1	8.0	6.4	6.6	6.1	6.6	5.9	7.1
	7.2	5.3	6.9	5.9	6.8	6.8	7.3	6.8	6.0	7.3
	6.0	6.7	6.4	6.9	7.1	6.5	6.6	8.1	8.1	6.8
	7.4	7.2	6.8	7.4	7.1	7.5	7.1	6.4	7.7	7.2
	7.1	7.9	7.3	7.5	6.4	8.0	7.2	5.7	7.3	7.3
แผ่นที่2	6.4	7.5	6.0	7.6	7.9	7.5	6.7	6.7	6.0	8.6
	7.9	6.5	7.7	6.7	7.3	7.0	6.9	6.4	6.5	6.8
	6.0	7.9	7.8	6.9	5.9	6.1	7.5	7.1	7.9	7.6
	6.9	7.3	8.0	7.1	8.1	5.9	8.0	7.2	7.4	6.8
	7.7	6.8	6.6	7.4	7.9	7.3	6.9	6.5	6.4	6.8
เฉลี่ย	7.0	6.9	7.0	7.1	7.1	6.9	7.0	6.7	6.9	7.2

ผลการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานพื้นผิว (Surfaceresistivity) โดยวิธี Fullfactorial (หน่วย x 10¹²)

การทดลองที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
แผ่นที่	AS 1 %	AS 0.5 %	AS 1 %	AS 1.5 %	AS 1 %	AS 0.5 %	AS 1 %	AS 1.5 %	AS 0.5 %
แผ่นที่1	0.68	2.6	0.68	0.32	0.73	3.70	0.59	0.07	2.40
	0.79	2.6	0.66	0.33	0.74	3.80	0.75	0.07	2.60
	0.72	2.4	0.74	0.36	0.75	4.10	0.68	0.07	2.50
	0.68	2.4	0.71	0.34	0.74	4.00	0.80	0.07	2.90
	0.64	2.5	0.68	0.36	0.69	3.80	0.75	0.07	2.80
แผ่นที่2	0.59	2.5	0.80	0.33	0.65	3.90	0.73	0.07	2.60
	0.76	2.6	0.69	0.32	0.75	4.20	0.64	0.08	2.50
	0.74	2.4	0.73	0.31	0.80	4.00	0.69	0.08	2.70
	0.66	2.5	0.75	0.33	0.82	3.80	0.70	0.08	2.80
เฉลี่ย	0.69	2.48	0.71	0.33	0.74	3.92	0.71	0.07	2.67
การทดลองที่	10	11	12	13	14	15	16	17	18
แผ่นที่	AS 1.5 %	AS 0.5 %	AS 1 %	AS 1.5 %	AS 1 %	AS 0.5 %	AS 1 %	AS 1.5 %	AS 1 %
แผ่นที่1	0.22	3.6	0.77	0.28	0.68	3.5	0.68	0.28	0.75
	0.23	3.9	0.73	0.31	0.69	3.6	0.69	0.26	0.63
	0.25	4	0.73	0.32	0.70	3.8	0.70	0.3	0.68
	0.26	4.1	0.69	0.31	0.79	3.6	0.79	0.32	0.73
	0.22	3.9	0.70	0.29	0.67	3.3	0.67	0.29	0.65
แผ่นที่2	0.27	3.8	0.73	0.29	0.79	3.8	0.79	0.26	0.69
	0.23	3.8	0.68	0.31	0.69	3.7	0.69	0.24	0.75
	0.24	3.5	0.73	0.3	0.81	3.5	0.81	0.32	0.87
	0.22	4	0.72	0.32	0.68	3.7	0.68	0.31	0.64
	0.21	3.8	0.63	0.33	0.65	3.8	0.65	0.29	0.75
เฉลี่ย	0.235	3.84	0.71	0.306	0.71	3.63	0.71	0.287	0.71



ตารางผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาด ของฟิล์มลามิเนต ในแนว MD และ TD

ตัวอย่างที่	วัดครั้งที่	Stress at Maximum Load (MPa)	Percentage Strain at Break
1	วัดครั้งที่ 1	34.171	796.947
	วัดครั้งที่ 2	34.082	780.727
	วัดครั้งที่ 3	31.866	782.523
	วัดครั้งที่ 4	31.395	764.928
	เฉลี่ย	32.878	781.281
2	วัดครั้งที่ 1	38.599	800.580
	วัดครั้งที่ 2	39.301	800.753
	วัดครั้งที่ 3	35.031	741.770
	วัดครั้งที่ 4	36.745	787.673
	เฉลี่ย	37.419	782.694
3	วัดครั้งที่ 1	36.147	728.247
	วัดครั้งที่ 2	36.493	744.380
	วัดครั้งที่ 3	36.370	739.930
	วัดครั้งที่ 4	36.475	758.540
เฉลี่ย	36.372	743.723	
4	วัดครั้งที่ 1	34.208	710.850
	วัดครั้งที่ 2	37.371	766.322
	วัดครั้งที่ 3	36.783	774.309
	วัดครั้งที่ 4	36.933	708.222
	เฉลี่ย	36.324	739.926
5	วัดครั้งที่ 1	33.539	701.054
	วัดครั้งที่ 2	33.381	721.590
	วัดครั้งที่ 3	34.420	722.504
	วัดครั้งที่ 4	32.137	741.425
	เฉลี่ย	33.365	721.661
6	วัดครั้งที่ 1	37.776	761.707
	วัดครั้งที่ 2	36.527	738.570
	วัดครั้งที่ 3	36.331	739.594
	วัดครั้งที่ 4	34.680	714.188
	เฉลี่ย	36.328	738.506
ตัวอย่างที่	วัดครั้งที่	Stress at Maximum Load (MPa)	Percentage Strain at Break
1	วัดครั้งที่ 1	23.656	778.187
	วัดครั้งที่ 2	27.746	842.153
	วัดครั้งที่ 3	24.556	781.987
	วัดครั้งที่ 4	26.842	839.196
	เฉลี่ย	25.700	810.381
2	วัดครั้งที่ 1	28.190	883.200
	วัดครั้งที่ 2	27.863	843.669
	วัดครั้งที่ 3	28.190	883.200
	วัดครั้งที่ 4	27.863	843.669
	เฉลี่ย	28.027	863.434
3	วัดครั้งที่ 1	29.487	879.793
	วัดครั้งที่ 2	31.058	899.771
	วัดครั้งที่ 3	30.398	888.383
	วัดครั้งที่ 4	29.342	886.471
เฉลี่ย	30.071	888.604	
4	วัดครั้งที่ 1	26.983	866.386
	วัดครั้งที่ 2	26.902	850.336
	วัดครั้งที่ 3	26.870	856.586
	วัดครั้งที่ 4	26.763	860.116
	เฉลี่ย	26.880	858.356
5	วัดครั้งที่ 1	27.772	900.549
	วัดครั้งที่ 2	27.755	911.352
	วัดครั้งที่ 3	26.960	910.620
	วัดครั้งที่ 4	27.851	905.439
	เฉลี่ย	27.585	906.990
6	วัดครั้งที่ 1	29.408	888.440
	วัดครั้งที่ 2	26.633	825.281
	วัดครั้งที่ 3	29.403	852.591
	วัดครั้งที่ 4	27.550	859.219
	เฉลี่ย	28.248	856.383

ผลการทดสอบค่าความชุ่ม จากวิธี CCD

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	31.9	34.5	25.9	27.5	27.3	29.2	30	29	30.8	31.3	29.5	29.5	28.8	33.2	35.6	29.2	31.6	30.4	30.8	31.9
2	32.4	33	28.5	29.5	28.2	30.2	30.4	30.3	30.6	30.2	28.9	27.4	30.8	31.8	30.4	30.9	29.9	32.3	28.4	29.1
3	31.2	30.2	26.9	31.5	29.3	32.2	29.3	29.3	28.5	28.4	28.7	29.1	28.3	30	31.4	31.4	29.3	29.6	28.1	27.8
4	33	30	27.8	25.6	28.5	29.6	31.4	29.9	28.3	32.8	27.4	28.4	28.9	34.7	25.5	28.2	31.2	28.1	29.5	28.6
5	33.1	32.3	25.4	31.4	29.6	32.2	32	28.1	27.1	29.7	30.8	29.1	27.5	30.8	27.9	29.8	30.6	29.3	29.4	28.1
6	34.3	29.6	27.4	26.7	27.8	30.4	30.8	28.9	29.4	35.9	27.6	31.8	28.4	32.4	29.9	30.8	31.4	31.3	31.1	32.3
7	32.7	31	25.6	29.8	27.6	31.3	29.9	30.7	28.3	28.8	28.7	29.4	25.1	27.5	32.7	30.1	30.1	32.5	28	29.7
8	30.3	29.9	25.8	28.8	29.8	31.2	29.6	29.9	29.8	31.1	30.8	29.1	28.8	28.6	28.8	32.9	29.8	29.4	30.9	28.3
9	33.7	33.3	27.2	29.8	27.7	30.2	29.4	29.8	30.9	30	29.4	28.9	27.8	32	31	29.3	30.6	28.9	28.1	27.1
10	31.1	34.8	26.4	30.4	28.7	32.8	30.6	31.5	29.1	31.7	32.6	30.9	28.9	30.6	27.3	30.1	32.4	29.9	28.4	28.3
Mean	32.37	31.86	26.69	29.10	28.45	30.93	30.34	29.74	29.24	30.99	29.44	29.36	28.33	31.16	30.05	30.27	30.69	30.17	29.27	29.14

ผลการทดสอบค่าความชุ่ม จากวิธี Fullfactorial

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	28.4	27.1	29.8	27.2	27.8	32.6	34.8	32.7	32.3	25.4	31.5	29.8	25.6	33.3	31.4	31.8	30.2	30.4
2	30.8	28.3	28.5	26.8	29.2	30.2	30.4	30.3	31.1	26.2	29.9	27.4	30.8	36.6	36.1	28.1	29.9	32.3
3	31.2	29.8	26.9	30.5	28.3	32.2	33.7	29.3	29.2	27.4	28.7	29.1	28.3	30.2	35.7	32.7	30.3	25.6
4	30.1	26.7	29.8	25.6	28.5	35.9	31.4	29.9	31.3	30.5	33.2	28.4	28.9	30.1	30.8	35.4	31.2	28.1
5	32.5	32.4	32.1	31.4	26.6	31.2	32	30.1	36.1	29.1	30.8	27.1	27.5	32.3	31.9	32.6	33.8	32.4
6	31.2	27.6	29.2	26.1	25.8	30.2	33.7	28.9	29.4	25.9	27.1	31.8	26.8	31.4	30.6	30.2	31.4	31.3
7	24.4	31	26.6	26.8	27.6	31.3	29.9	30.7	32.3	26.8	28.7	29	25.1	34.6	32.7	30.2	30.1	30.2
8	29.1	31.4	25.7	28.8	23.9	41.5	29.6	29.9	30.1	30.1	29.8	28.2	28.8	35.7	35.8	33.8	29.3	28.1
9	27.7	31.3	27.2	25.8	27.7	30.2	29.4	29.8	35.9	30	28.1	28.6	27.8	32.9	31	29.9	29.1	29.3
10	32.9	34.5	31.9	27.4	25.7	36.8	33.8	33.5	37.1	31.8	32.4	30.9	26.9	33.1	33.9	33.1	32.4	32.7
Mean	29.83	30.01	28.77	27.64	27.11	33.21	31.87	30.51	32.48	28.37	30.07	29.03	27.65	33.07	32.99	31.78	30.77	30.04

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยด้วยวิธี Stepwise regression

ผลการวิเคราะห์การถดถอยของวิธี CCD

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Response Surface Regression: COF 24 versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0.011936	0.002387	19.56	0.000
Linear	2	0.007336	0.003668	30.05	0.000
AS	1	0.004190	0.004190	34.33	0.000
SL	1	0.003145	0.003145	25.77	0.000
Square	2	0.003330	0.001665	13.64	0.001
AS*AS	1	0.001568	0.001568	12.85	0.003
SL*SL	1	0.001982	0.001982	16.24	0.001
2-Way Interaction	1	0.001270	0.001270	10.41	0.006
AS*SL	1	0.001270	0.001270	10.41	0.006
Error	14	0.001709	0.000122		
Lack-of-Fit	9	0.001684	0.000187	37.57	0.000
Pure Error	5	0.000025	0.000005		
Total	19	0.013644			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0110475	87.48%	83.00%	63.89%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.10359	0.00385	26.91	0.000	
AS	0.03546	0.01773	0.00303	5.86	0.000	1.00
SL	-0.03072	-0.01536	0.00303	-5.08	0.000	1.00
AS*AS	0.02174	0.01087	0.00303	3.58	0.003	1.00
SL*SL	0.02444	0.01222	0.00303	4.03	0.001	1.00
AS*SL	-0.02520	-0.01260	0.00391	-3.23	0.006	1.00

Regression Equation in coded Units

$$\text{COF 24} = 0.10359 + 0.01086 \text{ AS} - 0.00941 \text{ SL} + 0.00408 \text{ AS*AS} + 0.00458 \text{ SL*SL} - 0.00472 \text{ AS*SL}$$

ค่าความขุ่น

Response Surface Regression: HAZE versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

 α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	21.278	7.0927	10.34	0.001
Linear	3	21.278	7.0927	10.34	0.001
AS	1	6.955	6.9551	10.14	0.006
SL	1	6.681	6.6814	9.74	0.007
AB	1	7.642	7.6415	11.14	0.004
Error	16	10.973	0.6858		
Lack-of-Fit	11	8.810	0.8009	1.85	0.258
Pure Error	5	2.164	0.4327		
Total	19	32.251			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.828155	65.98%	59.60%	43.20%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		29.881	0.185	161.36	0.000	
AS	-1.444	-0.722	0.227	-3.18	0.006	1.00
SL	-1.416	-0.708	0.227	-3.12	0.007	1.00
AB	1.514	0.757	0.227	3.34	0.004	1.00

Regression Equation in coded Units

$$\text{HAZE} = 29.881 - 0.442 \text{ AS} - 0.433 \text{ SL} + 0.464 \text{ AB}$$

ค่า Surface Resistivity

Response Surface Regression: Surface versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

 α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	20.2806	10.1403	24.23	0.000
Linear	1	17.7646	17.7646	42.45	0.000

AS	1	17.7646	17.7646	42.45	0.000
Square	1	2.5161	2.5161	6.01	0.025
AS*AS	1	2.5161	2.5161	6.01	0.025
Error	17	7.1143	0.4185		
Lack-of-Fit	12	7.1128	0.5927	2086.67	0.000
Pure Error	5	0.0014	0.0003		
Total	19	27.3949			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.646904	74.03%	70.98%	32.31%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.946	0.187	5.07	0.000	
AS	-2.309	-1.154	0.177	-6.52	0.000	1.00
AS*AS	0.869	0.434	0.177	2.45	0.025	1.00

Regression Equation in coded Units

$$\text{Surface} = 0.946 - 0.707 \text{ AS} + 0.1629 \text{ AS*AS}$$

วิธี Fullfactorial

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Response Surface Regression: COF versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.012488	0.004163	33.35	0.000
Linear	2	0.010387	0.005193	41.60	0.000
AS	1	0.006294	0.006294	50.42	0.000
SL	1	0.004092	0.004092	32.78	0.000
2-Way Interaction	1	0.002101	0.002101	16.83	0.000
AS*SL	1	0.002101	0.002101	16.83	0.000
Error	23	0.002871	0.000125		
Total	26	0.015359			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0111728	81.31%	78.87%	73.50%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.12040	0.00215	56.00	0.000	
AS	0.03740	0.01870	0.00263	7.10	0.000	1.00
SL	-0.03016	-0.01508	0.00263	-5.73	0.000	1.00
AS*SL	-0.02647	-0.01323	0.00323	-4.10	0.000	1.00

Regression Equation in coded Units

$$\text{COF} = 0.12040 + 0.01870 \text{ AS} - 0.01508 \text{ SL} - 0.01323 \text{ AS*SL}$$

ค่าความชัน

Response Surface Regression: Haze versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	55.98	18.6606	25.51	0.000
Linear	3	55.98	18.6606	25.51	0.000
AS	1	18.22	18.2207	24.91	0.000
SL	1	18.93	18.9318	25.88	0.000
AB	1	18.83	18.8293	25.74	0.000
Error	23	16.83	0.7316		
Total	26	72.81			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.855336	76.89%	73.87%	67.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		30.139	0.165	183.09	0.000	
AS	-2.012	-1.006	0.202	-4.99	0.000	1.00
SL	-2.051	-1.026	0.202	-5.09	0.000	1.00
AB	2.046	1.023	0.202	5.07	0.000	1.00

Regression Equation in coded Units

$$\text{Haze} = 30.139 - 1.006 \text{ AS} - 1.026 \text{ SL} + 1.023 \text{ AB}$$

ค่า Surfaceresistivity

Response Surface Regression: Surface versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

 α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	48.447	24.2235	200.59	0.000
Linear	1	40.861	40.8608	338.36	0.000
AS	1	40.861	40.8608	338.36	0.000
Square	1	7.586	7.5863	62.82	0.000
AS*AS	1	7.586	7.5863	62.82	0.000
Error	24	2.898	0.1208		
Total	26	51.345			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.347506	94.36%	93.89%	92.86%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.710	0.116	6.13	0.000	
AS	-3.0133	-1.5067	0.0819	-18.39	0.000	1.00
AS*AS	2.249	1.124	0.142	7.93	0.000	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Surface = 0.710 - 1.5067 AS + 1.124 AS*AS

วิธี Boxbehnken

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Response Surface Regression: COF versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

 α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.004442	0.001481	16.73	0.000
Linear	2	0.003601	0.001800	20.35	0.000

AS	1	0.001740	0.001740	19.67	0.001
SL	1	0.001861	0.001861	21.03	0.001
2-Way Interaction	1	0.000841	0.000841	9.50	0.010
AS*SL	1	0.000841	0.000841	9.50	0.010
Error	11	0.000973	0.000088		
Lack-of-Fit	9	0.000969	0.000108	53.50	0.018
Pure Error	2	0.000004	0.000002		
Total	14	0.005415			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0094069	82.03%	77.12%	68.46%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.11502	0.00243	47.36	0.000	
AS	0.02950	0.01475	0.00333	4.43	0.001	1.00
SL	-0.03050	-0.01525	0.00333	-4.59	0.001	1.00
AS*SL	-0.02900	-0.01450	0.00470	-3.08	0.010	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{COF} = 0.11502 + 0.01475 \text{ AS} - 0.01525 \text{ SL} - 0.01450 \text{ AS*SL}$$

ค่าความชุ่น

Response Surface Regression: Haze versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	47.6189	15.8730	114.48	0.000
Linear	3	47.6189	15.8730	114.48	0.000
AS	1	11.6644	11.6644	84.12	0.000
SL	1	17.2578	17.2578	124.46	0.000
AB	1	18.6966	18.6966	134.84	0.000
Error	11	1.5252	0.1387		
Lack-of-Fit	9	0.4770	0.0530	0.10	0.995
Pure Error	2	1.0482	0.5241		
Total	14	49.1441			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.372366	96.90%	96.05%	95.56%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		30.2027	0.0961	314.14	0.000	
AS	-2.415	-1.208	0.132	-9.17	0.000	1.00
SL	-2.938	-1.469	0.132	-11.16	0.000	1.00
AB	3.058	1.529	0.132	11.61	0.000	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Haze} = 30.2027 - 1.208 \text{ AS} - 1.469 \text{ SL} + 1.529 \text{ AB}$$

ค่าความต้านทานพื้นผิว

Response Surface Regression: Surface versus AS, SL, AB

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	25.7362	12.8681	103.17	0.000
Linear	1	20.0028	20.0028	160.37	0.000
AS	1	20.0028	20.0028	160.37	0.000
Square	1	5.7334	5.7334	45.97	0.000
AS*AS	1	5.7334	5.7334	45.97	0.000
Error	12	1.4968	0.1247		
Lack-of-Fit	10	1.4966	0.1497	1711.33	0.001
Pure Error	2	0.0002	0.0001		
Total	14	27.2330			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.353175	94.50%	93.59%	90.46%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.647	0.133	4.85	0.000	
AS	-3.163	-1.581	0.125	-12.66	0.000	1.00
AS*AS	2.478	1.239	0.183	6.78	0.000	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

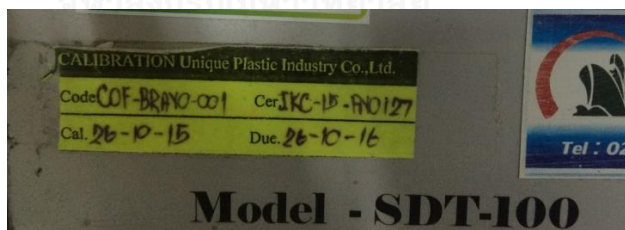
$$\text{Surface} = 0.647 - 1.581 \text{ AS} + 1.239 \text{ AS*AS}$$



1 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม Coefficient of Friction Tester (COF) โดยเครื่อง Bravo COF Series Coefficient of Friction เพื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1894 เพื่อหาค่า Kinaetic Coefficients of Friction of Plastic Film



รูปที่ ข1 เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม
ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ ข2 การสอบเทียบของเครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม
ที่มา : โรงงานกรณีศึกษา

วิธีการใช้งานเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม

1. เปิดสวิตช์ power
2. กดปุ่ม Menu แล้วเลือกไปที่ Memory แล้วเลือก Delete All เพื่อลบข้อมูลเก่าออกก่อน
3. ตัดชิ้นงานทดสอบให้มีขนาด 350 x 120 mm และนำไปวางบนเครื่องทดสอบ แล้วยึดให้แน่น
4. ตัดชิ้นงานทดสอบขนาด 63.5x120mm และนำไปวางบน Sled Weight แล้วยึดให้แน่น



รูปที่ ข3 การใช้งานเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม

5. นำ Sled Weight ไปเสียบที่ Load cell ดังรูป



รูปที่ ข4 การใช้งานเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกฟิล์ม

8. กดปุ่ม Zero แล้วกด Start เครื่องจะทำการทดสอบตามที่ตั้งค่าไว้ และหยุดทำงาน
9. ดูผลการทดสอบ และกดบันทึก โดยกดปุ่ม MEM
10. ยก Sled Weight ออกแล้วกดปุ่ม Return เพื่อกลับมาตำแหน่งเริ่มต้น
11. ทำการทดสอบซ้ำตามต้องการ

การทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว (Surface Resistivity)

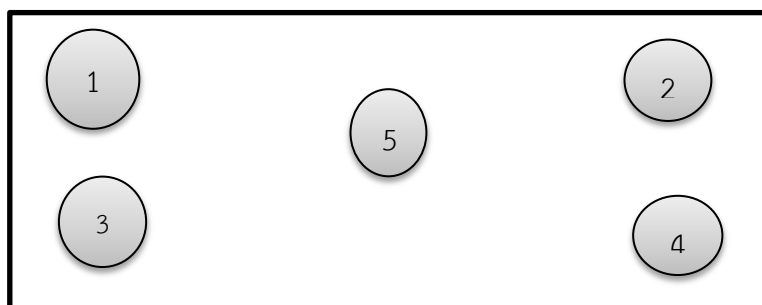
วิธีการทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว วัดตามมาตรฐาน ASTM D 257 ซึ่งค่า Surface Resistivity ที่ได้มีหน่วยเป็น Ω การวัดประเภทนี้ จะเป็นการวัดว่าวัสดุต่างๆ สามารถที่จะเป็นวัสดุที่ป้องกันไฟฟ้าสถิตได้หรือไม่

วิธีการใช้งานทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว

1. ทำการสุ่มตัดตัวอย่างจากฟิล์มที่ทดสอบ ขนาด A4 จำนวน 2 แผ่น
2. นำฟิล์มมาเก็บในที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. นำฟิล์มมาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวโดยเครื่องวัดความต้านทานพื้นผิว รุ่น PRS-812 โดยทำการวัดที่มุมทั้งสี่ และ ตรงกลางของฟิล์มทั้งสองแผ่นดังรูป

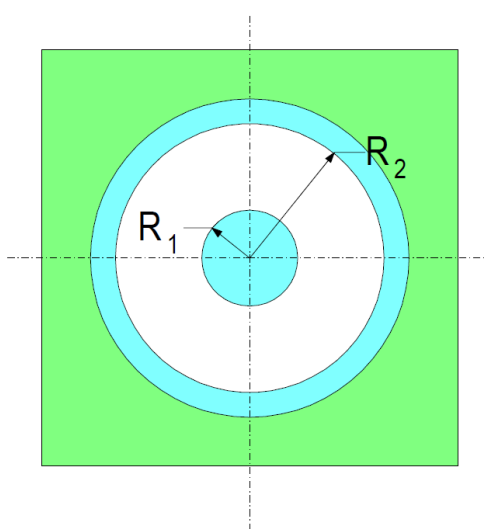


รูปที่ ข5 วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวโดยเครื่องวัดความต้านทานพื้นผิว



รูปที่ ข6 ตำแหน่งการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวโดยเครื่องวัดความต้านทานพื้นผิว

4. หลักการหาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุ จากรูปที่ ข7 การวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว โดยใช้ **Concentric Ring Probe Technique** สามารถคำนวณได้โดยการกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสเชิงพื้นผิว ในพื้นที่ระหว่างวงแหวนทั้งหมดโดยค่าความหนาแน่นกระแสเชิงพื้นผิวสามารถนำไปหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า ระหว่าง **Electrode Ring** จากรูปที่ ข7 กำหนด R_1 คือ ขอบนอกของ **Electrode** วงแหวนตัวใน R_2 คือ ขอบในของ **Electrode** วงแหวนตัวนอกโดยทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า สำหรับทุกวัสดุ เป็นการวัดค่ากระแสที่ผ่าน **Electrode** ที่ระหว่างผิวเท่านั้น



รูปที่ ข7 การหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของพื้นผิวของวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทดสอบความขุ่นโดยเครื่องวัดความขุ่นมัวของฟิล์ม (Haze-Gard Plus, Dual) วัดตามมาตรฐาน ASTM D1003

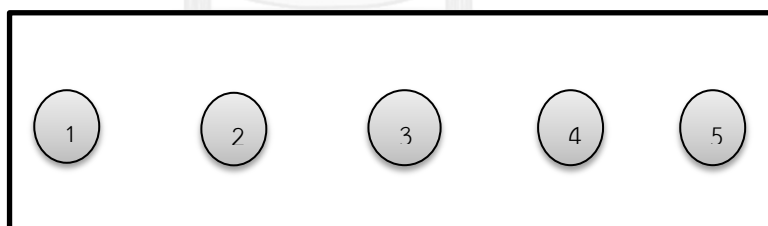
วิธีการใช้งานเครื่องวัดความขุ่น

1. สุ่มตัดฟิล์มจากปลายม้วน
2. นำฟิล์มตัวอย่างที่ได้มาตัดข้าง วัดตามความยาวหน้ากว้างของฟิล์ม
3. นำฟิล์มมาวางกับเครื่องทดสอบ โดยให้แสงส่องผ่านฟิล์มตัวอย่างเครื่องจะทำการวัดค่าการกระเจิงจากการส่งผ่านแสงที่พื้นผิวของชิ้นงาน แล้วคำนวณค่าความขุ่นออกมา ดังรูปที่ ข8



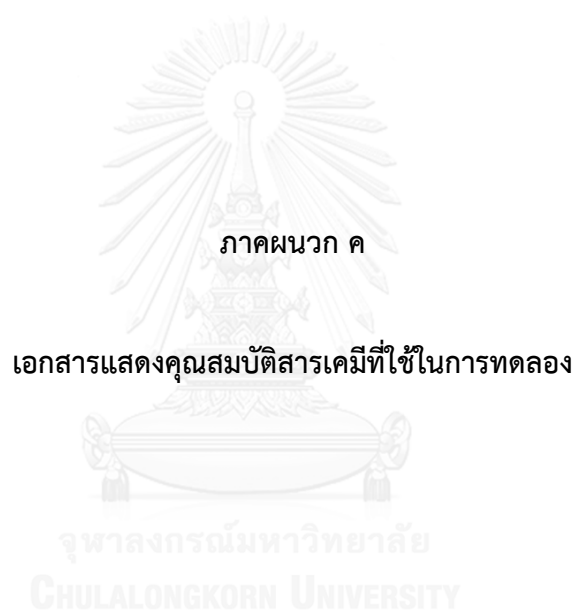
รูปที่ ข8 วิธีการวัดค่าความชุ่มชื้นของฟิล์ม

4. เมื่อวัดเสร็จเครื่องจะบอกค่าความชุ่มชื้นของตัวอย่างทดสอบ โดยจะวัดทั้งสิ้น 5 จุดตลอดแนวความยาว ทดสอบซ้ำกันสองครั้ง ดังรูปที่ ข9



รูปที่ ข9 ตำแหน่งการวัดความชื้นหรือความหนาของฟิล์ม

วิธีการทดสอบคุณสมบัติภายใต้แรงดึง (Tensile Properties) เป็นการทดสอบศักยภาพความทนทานต่อแรงดึงของวัสดุ โดยวัสดุบรรจุภัณฑ์จะถูกแรงดึงอย่างช้าๆ จนกระทั่งขาดออกจากกัน แล้ววัดค่าแรงดึงสูงสุดขณะที่ขาดและยืดตัวของวัสดุสุดท้ายขณะที่ขาด วิธีการทดสอบโดยการตัดฟิล์มตามขนาดที่ต้องการ แล้วดึงโดยเครื่องมือทดสอบแรงดึง Model LRX-Plus ใน 2 ทิศทาง คือ ในแนวทิศที่วัสดุผลิตจากเครื่องจักรแปรรูป เรียกว่า ทิศในแนวของเครื่องจักร (Machine Direction หรือ MD) และอีกทิศหนึ่ง คือแนวที่ตั้งฉากกับเครื่องจักร MD (Cross-Machine Direction หรือ CD)



1. สาร LLDPE

Technical Information


DOW™ Butene 1211P
Polyethylene Resin

Overview Polyethylene 1211P is a butene Linear Low Density Polyethylene for general blown film applications.

Main Characteristics:

- Used in Industrial, Food & Specialty Packaging
- Better optics and processability
- Better color stability
- Good sealing performance

Complies with:

- U.S. FDA 21 177.1520 (c) 3.2a
- EU. No 10/2011
- Consult the regulations for complete details.

Additive • Antiblock: No • Slip: No • Processing Aid: No

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.918 g/cm ³	0.918 g/cm ³	ASTM D792
Base Density	0.918 g/cm ³	0.918 g/cm ³	Dow Method ¹
Melt Index (190°C/2.16 kg)	1.0 g/10 min	1.0 g/10 min	ASTM D1238
Films	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Film Thickness - Tested	2.0 mil	51 µm	
Film Puncture Resistance (2.0 mil (51 µm))	99.0 ft·lb/in ²	8.19 J/cm ²	Dow Method
Secant Modulus			ASTM D882
2% Secant, MD: 2.0 mil (51 µm)	26600 psi	183 MPa	
2% Secant, TD: 2.0 mil (51 µm)	31500 psi	217 MPa	
Tensile Strength			ASTM D882
MD: Yield, 2.0 mil (51 µm)	1500 psi	10.3 MPa	
TD: Yield, 2.0 mil (51 µm)	1600 psi	11.0 MPa	
MD: Break, 2.0 mil (51 µm)	4600 psi	31.7 MPa	
TD: Break, 2.0 mil (51 µm)	3630 psi	25.0 MPa	
Tensile Elongation			ASTM D882
MD: Break, 2.0 mil (51 µm)	660 %	660 %	
TD: Break, 2.0 mil (51 µm)	710 %	710 %	
Dart Drop Impact (2.0 mil (51 µm))	100 g	100 g	ASTM D1709A
Elmendorf Tear Strength			ASTM D1922
MD: 2.0 mil (51 µm)	110 g	110 g	
TD: 2.0 mil (51 µm)	260 g	260 g	
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Vicat Softening Temperature	214 °F	101 °C	ASTM D1525
Melting Temperature (DSC)	241 °F	116 °C	Dow Method
Optical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Gloss (20°, 2.00 mil (50.8 µm))	69	69	ASTM D2457
Haze (2.00 mil (50.8 µm))	11 %	11 %	ASTM D1003

Extrusion Notes

Fabrication Conditions For Blown Film:

- Melt Temperature: 440°F (227°C)
- Die Gap: 70mil (1.8mm)
- Output: 120 lb/hr (55 Kg/hr)
- Blow Up Ratio: 2.5:1
- Frost Line Height: 28 in. (71 cm)

2. สาร Antistatic



PRODUCT INFORMATION

Ampacet (Thailand) Co., Ltd
 Eastern Seaboard Industrial Estate
 64/19 Moo 4, Highway 331
 Rayong 21140 THAILAND

Tel.: + 66 (38) 927-999
 Fax.: + 66 (38) 955-250
 E-mail: customer@ampacet.com

AMSTAT 35 103035-K

1.0. PHYSICAL PROPERTIES

1.1. CARRIER RESIN :

- Type : Polyethylene

1.2. MASTERBATCH

- Melt index (g/10 min) :	3.4	(Provisional) (190C, 2.16 kg)
- Bulk density (g/l) :	550	(Provisional)
- Pellets per gram :	45	(Provisional)
- Additive content (%) :	7	(Nominal)
- Spec. Gravity :	0.95	

2.0. STORAGE and PACKAGING

It is recommended to use this masterbatch within a 9-months period.
 Keep the material in cool and dry place. The opened bag must be well sealed.
 The standard packing is 25 kg polyethylene bag on shrink wrapped hard wood pallet.

3.0. APPLICATION

AMSTAT 35 is high performance antistatic for food packaging which can reach surface resistivity of 10^{10} Ohm (measured at 50%RH, 25°C) within 24 hours aging time.

The let down ratio depends on the thickness of the film. General recommended usage is 2 to 4%.

3. สาร Slip



PRODUCT INFORMATION

Ampacet (Thailand) Co., Ltd
 Eastern Seaboard Industrial Estate
 64/19 Moo 4, Highway 331
 Rayong 21140 THAILAND

Tel.: + 66 (38) 919-019
 Fax.: + 66 (38) 955-250
 E-mail: ampacet@ampacet.co.th

**SLIP 90
 10090-K**

1.0. PHYSICAL PROPERTIES

1.1. CARRIER RESIN :

- Type : Polyethylene

1.2. MASTERBATCH

- Melt index (g/10 min) :	10	(Provisional) (190°C; 2.16 kg)
- Bulk density (g/l) :	550	(Provisional)
- Pellets per gram :	55	(Provisional)
- Additive (%) :	5	(nominal)
- Spec. Gravity :	0.92	

2.0. STORAGE and PACKAGING

It is recommended to use this masterbatch within a 9-months period.
 Keep the material in cool and dry place. The opened bag must be well sealed.
 The standard packing is 25 kg polyethylene bag on shrink wrapped hard wood pallet.

3.0. APPLICATION

SLIP 90 is a slow migrating slip agent, thus reducing potential printing or sealing problems.
 This product should be used at a level of 1 to 3% in polyethylene.

4. สาร Antiblocking

Polyplast Müller

**POLYPLUS AB 1007 LD**

Masterbatch
Black, White, Colour, Additive,
Cable Compound
Toll Compounding

ADDITIV - MASTERBATCH

Product description: *POLYPLUS AB 1007 LD* is an antiblock masterbatch and contains 20% natural silica with an average particle size of 5 µm, for the production of polyethylene films from 50 to 150 µm film thickness.

Applications: The incorporation of *POLYPLUS AB 1007 LD* in PE films prevents blocking during processing and wind-up, gives good unwinding properties from the reels and improves the processibility for the convertor and the end-user. *POLYPLUS AB 1007 LD* will have a minimal effect on film transparency.

Addition levels: The addition levels for LDPE are between 0.5 - 1.5 %. In case of incorporation into LLDPE or EVA-Copolymer with high content of VA, the amount of *POLYPLUS AB 1007 LD* has to be increased.

Combinations: The combined use of antiblock and slip is often required to obtain good slip and antiblocking properties.

Technical data:

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Test-Method</i>
Polymer carrier:	LDPE	
Additiv content:	20%	
MFR 190°C/2,16 kg	5 g/10'	ISO 1133
Moisture content:	< 0,20%	ISO 787-2

Standard packaging: *POLYPLUS AB 1007 LD* will be delivered in 25kg PE bags on 1.250 kg pallets.

Storage: *POLYPLUS AB 1007 LD* should be stored dry, cool and be protected from direct sunlight. The storage temperatures should be below 25°C. If these protective measures are not taken into account impairment of the product is possible. This can result in decolouration, smell or loss of properties. We recommend to use the material within 6 month after delivery. Using material older than shelf life can result in loss of quality.
In case these storage conditions can not be adhered to please contact us for special packaging.

Toxicity/Authorisation: *POLYPLUS AB 1007 LD* is non toxic and can be used in food packaging application according to the valid national regulation.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจุฑารัตน์ สุนทรเวชพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2332 ที่จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนระยองวิทยาคม จังหวัดระยอง และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ที่คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาสถิติประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิตในปีการศึกษา 2554 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานเป็นนักวิเคราะห์ข้อมูลในบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง จากนั้นได้เข้ารับการศึกษาดูในหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในปีการศึกษา 2559

