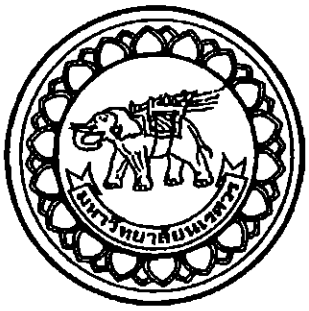


การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลของสภาพพื้นผิวและระยะการพ่นสี ที่มีต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37

DESIGN OF EXPERIMENT FOR STUDY EFFECT OF SURFACE CONDITION AND SPRAYING PAINT DISTANCE WITH THE ADHESION OF THE PAINT ON STEEL ST37

นางสาวจิราภา แสนเพ็ชร รหัส 51363470

นางสาวนัฏฐกา ชลพล รหัส 51363579

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 15929817
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 9536 ๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต 2554

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลของสภาพพื้นผิวและระยะการพ่นสีที่มีต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวจิราภา แสนเพ็ชร รหัส 51363470

นางสาวนัฏฐกา ชลพล รหัส 51363579

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง)

.....กรรมการ

(ดร. โพธิ์งาม สมกุล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลของสภาพพื้นผิวและระยะการพ่นสีที่มีต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวจิราภา แสนเพ็ชร รหัส 51363470
	นางสาวนัฏฐกา ชลพล รหัส 51363579
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลของสภาพพื้นผิว และระยะห่างในการพ่นสีที่มีผลต่อการยึดติดของสี บนเหล็ก ST37 โดยผู้จัดทำโครงงานได้ออกแบบการทดสอบชิ้นงานแบบสองปัจจัย (Two – Way ANOVA) ปัจจัยที่ 1 คือ เบอร์กระดาษทราย ประกอบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 และปัจจัยที่ 2 คือ ระยะห่างในการพ่นสี ประกอบด้วย ระยะที่ 15, 17, 20, 23, 25 เซนติเมตร ผลการการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า เหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์และระยะห่างในการพ่นสีที่แตกต่างกันนั้น ส่งผลให้ความสามารถในการยึดติดของสีเปลี่ยนแปลงไปที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอย พบว่า ปัจจัยแต่ละปัจจัยมีความสัมพันธ์กันน้อย ทำให้สมการถดถอยไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ผู้จัดทำโครงงานจึงได้ทำการวิเคราะห์ ผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effect) หรือเลือกพิจารณาทีละปัจจัย พบว่า สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี แต่ไม่สามารถอธิบายแนวโน้มของผลการทดลองได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในส่วนของการพ่นสีก็มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีเช่นกัน โดยระยะการพ่นสีที่ดีที่สุด คือ 20 เซนติเมตร

ซึ่งผู้จัดทำโครงงานได้สร้างสมการถดถอยของข้อมูล ซึ่งทำให้ทราบว่าค่าที่ได้จากสมการถดถอยมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งของอาจารย์กานต์ ลีวัฒนายิ่งยง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์และข้อคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และวิธีแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการทำโครงงานมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้ความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณ อาจารย์ประเทือง โมรารายที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และช่วยชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางแก้ไขในการทำโครงงาน รวมถึงครูช่างในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้ความอนุเคราะห์ในการให้อุปกรณ์เครื่องมือในการดำเนินโครงงานตลอด

ท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงานใคร่ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรมสั่งสอน และกำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

ผู้จัดทำโครงงาน

นางสาวจิราภา แสนเพ็ชร

นางสาวนัฏฐกา ชลพล

มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูป ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 1

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 1

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 3

2.1 เหล็ก ST37 3

2.2 หลักการพื้นฐานในการพ่นสีชิ้นงาน 3

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) 5

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ 10

2.5 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression) 14

2.6 Polynomial Regression 17

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 20

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล 21

3.2 การออกแบบการทดลอง 21

3.3 การทดลองและการบันทึกผลการทดลอง 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ 28
3.5 สรุปผลการทดลอง 29
3.6 จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์ 29

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 30
4.1 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูล 30
4.2 การออกแบบการทดลอง 30
4.3 ผลการทดลอง 32
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ 34

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 40
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 40
5.2 ข้อเสนอแนะ 41

เอกสารอ้างอิง 42
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 43

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กระบวนการหรือระบบที่สนใจ 5
2.2 แสดงวิธีปฏิบัติต่างๆ ในการออกแบบทดลอง 6
2.3 เขตวิกฤติสมมติฐานทางเดียว ($H_1 : \mu > \mu_0$) 9
2.4 เขตวิกฤติสมมติฐานทางเดียว ($H_1 : \mu < \mu_0$) 9
2.5 เขตวิกฤติสมมติฐานสองทาง ($H_1 : \mu \neq \mu_0$) 10
2.6 ตัวอย่างกราฟการกระจายแบบปกติของข้อมูล 11
2.7 ตัวอย่างกราฟความเป็นอิสระของข้อมูล 11
2.8 ตัวอย่างกราฟความเสถียรของความแปรปรวน 12
2.9 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ $S_{y.x} > 0$ 15
2.10 Polynomial Regression 17
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 20
3.2 กาพ่นสี 23
3.3 เครื่องปั๊มลม 23
3.4 อุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนที่ของแผ่นเหล็ก ST37 24
3.5 ชิ้นงาน 24
3.6 เครื่องขัดผิวชิ้นงาน 25
3.7 การพ่นสีลงบนชิ้นงาน 25
3.8 การปล่อยชิ้นงานให้แห้ง 25
3.9 การตีสเกลบนชิ้นงาน 26
3.10 การกรีดคัตเตอร์ลงบนชิ้นงาน 26
3.11 ชิ้นงานที่ลอกเทปกาวแล้ว 26
4.1 กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล 34
4.2 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล 35
4.3 กราฟความเสถียรของความแปรปรวน 35
4.4 แสดง Main Effect : เบอร์กระดาษทราย 38
4.5 แสดง Main Effect : ระยะการพ่นสี 38

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 2

2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย 14

3.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง 27

4.1 ตารางแสดงค่าร้อยละพื้นที่การยึดติด 32

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 36

4.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล 37

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่กระดาษทรายเบอร์ 120 39

4.5 การวิเคราะห์การถดถอยที่กระดาษทรายเบอร์ 120 39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

สีจัดได้ว่าเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการช่วยเพิ่มสีสันให้กับวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเรา และมีความสำคัญเป็นอย่างมาก อาทิเช่น การทาสีบนไม้ พลาสติก ปูนซีเมนต์ และเหล็ก ซึ่งเหล็กที่นิยมใช้ในงานโครงสร้างทั่วไป คือ เหล็ก ST37 เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและความสวยงามให้กับเหล็ก อีกทั้งยังสามารถช่วยป้องกันการผุกร่อน ซึ่งเกิดจากออกซิเจนในอากาศ หรือน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะกลายเป็นเหล็กออกไซด์ หรือที่เรารู้จักกันว่า สนิมเหล็ก อันเป็นผลทำให้สภาพการใช้งานของเหล็กนั้นเสียไป แต่สีมักพบปัญหาการหลุดลอกของสี เมื่อระยะเวลาผ่านไป หรือเมื่อพื้นผิวได้รับสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น การได้รับขูดขีดจากสิ่งต่างๆ แสงแดด ฝน เป็นต้น ส่งผลให้บริเวณนั้นเกิดการหลุดลอกหรือเกิดความเสียหายได้ และยังเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมเหล็ก จากสาเหตุดังกล่าวทางผู้จัดทำโครงงานจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการยึดติดของสี และได้ทำการคัดเลือกปัจจัย คือ สภาพพื้นผิวที่ขัดด้วยกระดาษทราย (เบอร์กระดาษทราย) และระยะการพ่นสี โดยได้นำความรู้เรื่องการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลอง เพื่อศึกษาผลของสภาพพื้นผิว และระยะการพ่นสีที่มีต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาผลของสภาพพื้นผิว และระยะการพ่นสี ที่มีต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ผลของสภาพพื้นผิว และระยะการพ่นสี ที่มีต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพพื้นผิว และระยะการพ่นสี ที่มีผลต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.5.1.1 เหล็ก ST37 ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

1.5.1.2 สีที่ใช้ในการทดลอง คือ สีพ่นอุตสาหกรรม

1.5.2 กระบวนการทดลอง

1.5.2.1 อัตราส่วนผสม ระหว่างสี : ทินเนอร์ คือ 1 : 1

1.5.2.2 ระยะเวลาที่แห้งสนิทก่อนนำไปทดสอบอย่างน้อย 8 ชั่วโมง

1.5.2.3 ลักษณะการพ่นสีตั้งฉากกับชิ้นงาน

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2554 – เดือน มกราคม พ.ศ. 2555

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.8.1 การศึกษา และรวบรวมข้อมูล	←	→						
1.8.2 การกำหนดปัญหา และวิธีการแก้ไข	←	→	→					
1.8.3 การออกแบบการทดลอง				←	→			
1.8.4 การดำเนินการทดลอง				←	→	→	→	
1.8.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ						←	→	→
1.8.6 สรุปผลการทดลอง							←	→
1.8.7 จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์								← →

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 เหล็ก ST37

เหล็ก ST37 จัดอยู่ในประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลัก โดยจะมีร้อยละของคาร์บอนไม่เกินร้อยละ 0.2 และจะมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย เช่น ซิลิคอน, ฟอสฟอรัส, กำมะถัน และแมงกานีส ซึ่งธาตุที่ผสมเหล่านี้จะมีปริมาณที่น้อยมาก

กรรมวิธีการผลิตเหล็ก ST37 หรือที่เรียกว่าวิธีเบสเซเมอร์ เริ่มต้นด้วย การนำเอาน้ำเหล็กดิบที่ถลุงจากเตาสูงมาเทลงในเตา โดยปากเตาจะมีลักษณะเป็นปากเอียง ตัวเตาตั้งอยู่บนแกนที่สามารถหมุนได้รอบแกนในแนวราบ จะใช้กระแสลมผ่านเข้าไปในท่ออากาศทางก้นเตา จากนั้นออกซิเจนจะเริ่มทำปฏิกิริยารวมตัวกับคาร์บอนในน้ำเหล็ก ทำให้เกิดเปลวไฟเกิดขึ้นจนกระทั่งเปลวไฟร้อนมากจนเปลวไฟดับลง จะเปลี่ยนเป็นขี้ตะกรันลอยอยู่เหนือน้ำเหล็ก จากนั้นเทน้ำเหล็กลงในแบบที่เตรียมไว้แล้วนำแท่งเหล็กที่ยังร้อนอยู่ไปรีดขึ้นรูป หรือตีเป็นแผ่นตามรูปพรรณที่ต้องการ โดยไม่ต้องเพิ่มความร้อนอีก

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติเหนียว แต่ไม่แข็งแรงนักสามารถนำไปกลึง กัด ไส เจาะได้ง่าย นอกจากนี้ยังเป็นเหล็กที่อ่อน สามารถรีดหรือตีเป็นแผ่นได้ง่าย เหล็กชนิดนี้เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความเค้นแรงดึงสูงนัก และไม่สามารถนำมาชุบแข็งหรือชุบผิวแข็งได้ การนำไปใช้งานสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางและพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น เหล็กแผ่นหม้อน้ำ ท่อน้ำประปา, เหล็กเส้นในงานก่อสร้าง, เหล็กเคลือบดีบุก เช่น กระป๋องบรรจุอาหาร, เหล็กอาบสังกะสี เช่น แผ่นสังกะสีมุงหลังคา, ทำตัวถังรถยนต์, ทำสกรู, ลวด, สลักเกลียว, ชิ้นส่วนเครื่องจักร, โซ่ และบานพับประตู เป็นต้น

2.2 หลักการพื้นฐานในการพ่นสีชิ้นงาน

ในการพ่นสี มีหลักการพื้นฐานที่ควรพิจารณา ดังต่อไปนี้

2.2.1 ทินเนอร์ที่ใช้เป็นส่วนผสม

2.2.1.1 ทินเนอร์ที่ใช้ควรมีคุณภาพสูง เนื่องจากจะมีความยุ่งยากกับชิ้นงานตามมาภายหลัง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลา ดังนั้นจึงควรใช้ทินเนอร์ที่มีคุณภาพสูง

2.2.1.2 ปริมาณทินเนอร์ ควรใช้อัตราการผสมที่กำหนดไว้ตามที่ระบุชนิดสีนั้นๆ

2.2.2 การผสมสีให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

ในการผสมสีต้องทราบว่า สีที่จะนำไปพ่นเป็นสีชนิดใด เช่น สีพื้น สีทับหน้า สีแลคเกอร์ และต้องจำไว้เสมอว่าการผสมสีจะต้องคนให้เนื้อสีเข้าเป็นเนื้อสีเดียวกันจริงๆ ก่อนนำไปพ่นสี

2.2.3 เลือกการใช้ความดันลม

ในการพ่นสีควรใช้ความดันลมต่ำ ไม่ควรใช้ความดันลมสูงเกินไป จะทำให้เกิดปัญหามากมาย เช่น สีแห้งก่อนถึงชิ้นงาน หรือสีด้าน การเกาะตัวของสีไม่ดีมีรูพรุน สีไม่ขึ้นเงา ทำให้สีฟุ้งกระจายออกไปหมดซึ่งทำให้สิ้นเปลืองสี ดังนั้นหากผู้พ่นสีผสมสีได้ถูกส่วน และใช้ความดันลมที่ถูกต้อง จะทำให้สีเกิดการกระจายหรือเป็นละอองฝอยได้ดีมาก โดยปกติแล้วจะใช้ความดันลมประมาณ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.2.4 บริเวณพ่นสีควรมีอากาศที่ถ่ายเท

การพ่นสีจะพ่นที่อากาศถ่ายเท และอุณหภูมิของอากาศที่เหมาะสมในการพ่นสี ประมาณ 18 – 35 องศาเซลเซียส และควรเป็นอากาศแห้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างการรอแห้งของสีที่พ่นเสร็จแล้ว ไม่ควรเก็บชิ้นงานไว้ในห้องที่อับอากาศ หรือการระบายอากาศไม่ดีพอ

2.2.5 วิธีการพ่นสีและระยะการพ่นสี

ในขณะทำการพ่นสีจะถือปืนพ่นสีในลักษณะที่ตั้งฉากกับชิ้นงาน และมีระยะห่างจากปลายของปืนพ่นสีจนถึงชิ้นงาน ประมาณ 15 – 25 เซนติเมตร เมื่อพ่นสีชั้นแรกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรรอให้สีชั้นแรกแห้งก่อนแล้วจึงทำการพ่นชั้นถัดไปทับลงไปได้

2.2.6 สภาพพื้นผิวก่อนการพ่นสี

การทำความสะอาดพื้นผิวที่จะพ่นสีให้เรียบร้อยก่อน เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดมาในกระบวนการก่อนหน้า เช่น คราบน้ำมันหรือจารบี ฝุ่นผงหรือเม็ดทราย เป็นต้น

2.2.7 กระดาษทรายที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นงาน

กระดาษทรายที่ใช้ในการขัดเหล็กนั้น จะมีซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นหลัก ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่ทำขึ้นจากทรายซิลิกา มีความแข็ง แต่ค่อนข้างจะเปราะและไม่เหนียว สามารถแบ่งความละเอียด – หยาบ ออกเป็น 5 ระดับ คือ

2.2.7.1 มีความละเอียดมาก เช่น เบอร์ 600, 500, 400, 320, 280, 240, 220

2.2.7.2 มีความละเอียด เช่น เบอร์ 180, 150, 120

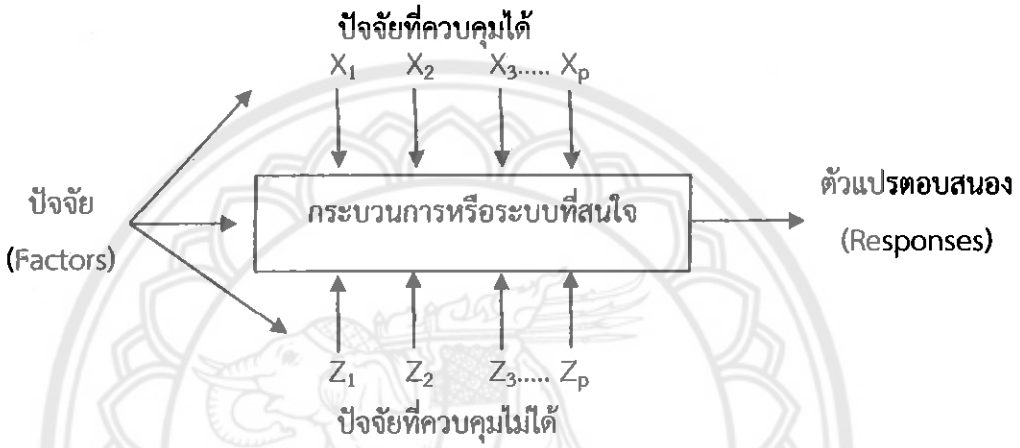
2.2.7.3 มีความปานกลาง เช่น เบอร์ 100, 80, 60

2.2.7.4 มีความหยาบ เช่น เบอร์ 50, 40

2.2.7.5 มีความหยาบมาก เช่น เบอร์ 36, 30, 24, 20, 16, 12

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลอง หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Factors) ของระบบที่สนใจ เพื่อทำให้สามารถสังเกต และชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ได้ (Outputs or Responses) ของระบบนั้น โดยปัจจัยนำเข้าจะถูกจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Variables) หรือ ปัจจัยที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ปัจจัยที่รบกวน (Noise Variables) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ของกระบวนการ หรือระบบที่สนใจ
ที่มา : รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2551)

2.3.1 สิ่งที่ควรทราบในการออกแบบการทดลอง

2.3.1.1 แบบการทดลอง

การเลือกแบบการทดลองจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของจำนวนปัจจัยที่ใช้ กรณีสนใจศึกษาปัจจัยเดียว แบบแผนการทดลองที่ใช้ คือ การจำแนกทางเดียว (One – Way ANOVA) กรณีศึกษาสองปัจจัย แบบแผนการทดลองที่ใช้ คือ การจำแนกสองทาง (Two – Way ANOVA) หรือการออกแบบแบบสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (Complete - Randomized Block Design) กรณีศึกษาสองปัจจัยหรือมากกว่า แบบแผนการทดลองที่ใช้ คือ การทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiments)

2.3.1.2 ตัวแปรตอบสนอง (Responses)

ตัวแปรตอบสนอง คือ ตัวแปรผลลัพธ์ หรือผลลัพธ์ที่ได้ ที่ต้องการควบคุมให้เป็นตามมาตรฐานที่ต้องการ

2.3.1.3 ปัจจัย (Factors)

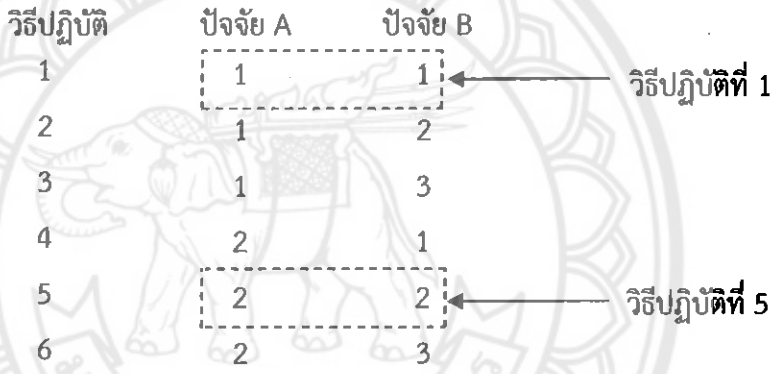
ปัจจัย คือ ตัวแปรนำเข้า ที่ใช้ในระบบ หรือกระบวนการ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยที่ควบคุมได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

2.3.1.4 ระดับปัจจัย (Levels of Factors)

ระดับปัจจัย คือ จำนวนค่าของปัจจัยที่เปลี่ยนไปในการทดลองหนึ่ง เช่น ระยะการพ่นสีที่ใช้ในการทดลอง คือ 15, 17, 20, 23 และ 25 เซนติเมตร โดยที่ระยะการพ่นสีเป็นปัจจัยที่ทำการศึกษาซึ่งมีจำนวน 5 ระดับ

2.3.1.5 วิธีปฏิบัติ (Treatment)

วิธีปฏิบัติ คือ ข้อกำหนดสำหรับทุกปัจจัยที่ศึกษาในการทดลองนั้นๆ เช่น ถ้าในการทดลองทำการศึกษา ปัจจัย A และปัจจัย B ที่ 2 และ 3 ระดับ จะมีวิธีปฏิบัติที่แตกต่างกันเท่ากับ 2 คูณ 3 เท่ากับ 6 วิธี ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีปฏิบัติต่างๆ ในการออกแบบทดลอง

ที่มา : รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2551)

2.3.1.6 จำนวนครั้งที่ทดลอง (Experimental Runs)

จำนวนครั้งที่ทดลอง คือ จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำต่อหนึ่งแผนการทดลอง มีค่าเท่ากับผลคูณของ จำนวนวิธีปฏิบัติ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ (Replicates)

2.3.1.7 ขนาดการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้น ต้องทำการกำหนดว่าวิธีการทดลองแต่ละวิธีการทดลอง ควรใช้จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำเท่าใด หรือกำหนดขนาดของการทดลองเท่าใด เพื่อให้ผลการทดลองนั้นแสดงออกมาชัดเจน และมีความมั่นใจในผลการทดลอง โดยสามารถกำหนดขนาดการทดลองจากสมการการคำนวณจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำแสดงได้ ดังนี้

ก. องค์ประกอบและสมการการคำนวณจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำแสดงได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\sigma^2}{\Delta^2}\left(Z_\alpha + Z_\beta\right)^2 \qquad (2.1)$$

ซึ่งจะอธิบายองค์ประกอบต่างๆ ในสมการได้ดังนี้

ก.1 η คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

ก.2 α (แอลฟา) คือ ระดับของความเสี่ยงที่จะสรุปผลการทดลองผิดพลาดโดยได้สรุปว่าข้อมูลของสองประชากรมีความแตกต่างกัน มากกว่าค่าวิกฤต (Critical Difference) ทั้งๆ ที่จริงๆ แล้วไม่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งโดยปกติการใช้ข้อมูลทางสถิติในการพยากรณ์อะไรก็ตามย่อมต้องมีความผิดพลาดเสมอ เมื่อเราไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ จึงต้องจำกัดความเสี่ยงนี้ให้น้อยที่สุด โดยมาตรฐานจะอยู่ร้อยละ 5 แต่บางกรณีอาจจะมาก หรือน้อยกว่าก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น การทำการทดลองค้นคว้าหาสิ่งใหม่ๆ ค่าความเสี่ยงนี้อาจจะยอมรับได้ถึงร้อยละ 30 เพื่อให้เกิดการค้นพบความรู้ใหม่ๆ หรือในทางตรงกันข้ามบางกรณีก็ไม่สามารถยอมรับความเสี่ยงที่มากเกินไปได้

ก.3 β (เบตา) คือ ระดับความเสี่ยงที่จะสรุปข้อมูลของสองประชากรไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งๆ ที่จริงๆ แล้ว ข้อมูลทั้งสองมีความแตกต่างกัน ซึ่งค่าที่ใช้โดยทั่วไปจะอยู่ที่ร้อยละ 5 – ร้อยละ 20

ก.4 Δ คือ ระดับความแตกต่าง ที่เราจะถือว่าเริ่มมีนัยสำคัญแก่ความแตกต่าง โดยปกติเวลาเราทดสอบสมมติฐาน เราจะใช้วิธีดูค่าความแตกต่างของทั้งสองข้อมูลที่นำมาทดสอบสมมติฐาน เช่น ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ก.5 σ คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ ซึ่งได้จากการเก็บประวัติหรือการประมาณการอย่างมีเหตุผล

อย่างไรก็ตามในการกำหนดขนากการทดลองจากสมการการคำนวณดังกล่าวอาจได้ค่าขนาดการทดลองที่มากเกิน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในกระบวนการทดลองยังมีข้อจำกัดหลายประการ ดังนี้

ข. ข้อจำกัดของการกำหนดจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำที่มากเกินไป

ข.1 ข้อจำกัดด้านต้นทุน เนื่องจากในการทดลองบางการทดลองนั้น ต้องอาศัยต้นทุนในการทดลองสูง ได้แก่ ต้นทุนของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ต้นทุนการทำการทดลอง และต้นทุนการเก็บผลการทดลอง เป็นต้น

ข.2 ข้อจำกัดด้านเวลา เนื่องจากในการทดลองบางการทดลองนั้น ต้องอาศัยเวลานานในการทำการทดลอง เช่น การทดสอบชิ้นงานโดยใช้เครื่องทดสอบ ซึ่งต้องใช้เวลาในการเตรียมชิ้นงาน และการตั้งเครื่องจึงส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนการทดลองซ้ำในแต่ละวิธีการ

ข.3 ข้อจำกัดด้านความผิดพลาด เนื่องจากในการทดลองบางการทดลองนั้นมีจำนวนการทดลองซ้ำที่มากเกินไป จะส่งผลเสียต่อผลการวิเคราะห์ โดยเกิดความคลาดเคลื่อนจากการเก็บข้อมูล เช่น เมื่อต้องการข้อมูลมาก ก็ต้องเพิ่มคนเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นบ่อเกิดของความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

2.3.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

2.3.2.1 การเลือกปัจจัยในการทดลอง

ในการเลือกปัจจัยที่สนใจศึกษา เพื่อนำมาเปลี่ยนแปลงในการทำทดลอง ต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตัวแปรตอบสนองได้อย่างไร ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก เพื่อที่จะต้องตรวจสอบว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่อย่างไร

กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ และกำหนดระดับปัจจัยที่จะใช้ในการทดลอง ซึ่งจะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลที่ตอบสนองได้อย่างไร ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก เพื่อที่จะต้องตรวจสอบว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนั้นมีความสำคัญหรือไม่ และในการกำหนดระดับปัจจัยจะต้องกำหนดให้ปัจจัยแต่ละตัวมีค่ากว้างๆ เมื่อได้รู้ว่าปัจจัยใดมีความสำคัญ และระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จึงจะลดขอบเขตให้แคบลงได้

2.3.2.2 การกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง

การกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง เป็นการกำหนดจำนวนค่าที่ปัจจัยจะเปลี่ยนไปในกระบวนการหนึ่งๆ โดยพิจารณาเพื่อให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนต่อการวิเคราะห์

2.3.2.3 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

สมมติฐาน หมายถึง ข้อสันนิษฐาน หรือเกณฑ์ที่ตั้งขึ้น สำหรับเป็นพื้นฐานในการหาเหตุผลทดสอบ เป็นสิ่งที่ตั้งขึ้นเพื่อการพิสูจน์ให้เกิดการยอมรับ หรือการปฏิเสธ ซึ่งการยอมรับหรือการปฏิเสธจะเกิดจากผลของการสุ่มตัวอย่าง และการทดสอบสมมติฐาน ตามเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นนั้นโดยการเก็บรวบรวมข้อมูล การทดลองหรือการวิจัย ซึ่งการทดสอบสมมติฐาน จะต้องทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาทดสอบ โดยที่การเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น บางครั้งก็ไม่สามารถเก็บได้ทุกหน่วยของประชากร ทำให้ต้องเก็บในลักษณะของการสุ่มตัวอย่าง เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

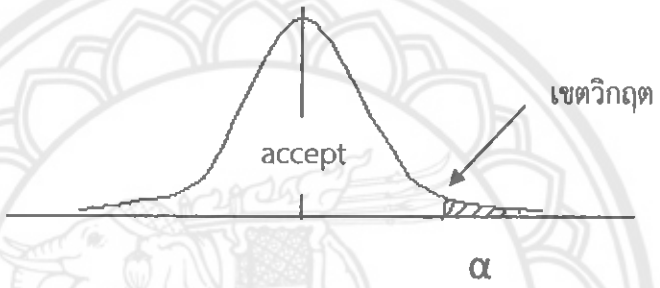
ก. สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis; H_0) เป็นสมมติฐานที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ทราบค่าที่แน่นอน มักจะเป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการการปฏิเสธ หากสิ่งที่สนใจหาคำตอบนั้น ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง หรือหากไม่มีเหตุผล และหลักการเพียงพอ ก็จะยอมรับสมมติฐานหลักนี้

ข. สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis; H_1) เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อให้ขัดแย้งกับสมมติฐานหลัก มักจะเป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการการยอมรับ ซึ่งสมมติฐานรองมี 2 ลักษณะ คือ

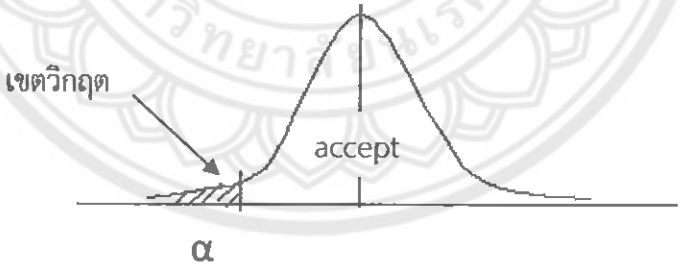
ข.1 สมมติฐานรองแบบทางเดียว เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นโดยกำหนดทิศทาง เช่น $H_1 : \mu < 5,000$ หรือ $H_1 : \mu > 5,000$

ข.2 สมมติฐานรองแบบสองทาง เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นโดยไม่กำหนดทิศทาง เช่น $H_1 : \mu \neq 5,000$

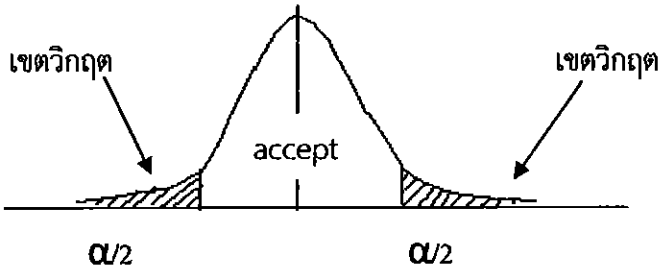
สำหรับการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานนั้นจะยอมรับ H_0 เมื่อค่าตัวอย่างอยู่นอกเขตวิกฤต และจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าตัวอย่างอยู่ในเขตวิกฤต โดยเขตวิกฤตมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 - 2.5



รูปที่ 2.3 เขตวิกฤติสมมติฐานทางเดียว ($H_1 : \mu > \mu_0$)
ที่มา : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง (2553)



รูปที่ 2.4 เขตวิกฤติสมมติฐานทางเดียว ($H_1 : \mu < \mu_0$)
ที่มา : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง (2553)



รูปที่ 2.5 เขตวิกฤติสมมติฐานสองทาง ($H_1 : \mu \neq \mu_0$)
ที่มา : กานต์ ลีวัฒนายิ่งยง (2553)

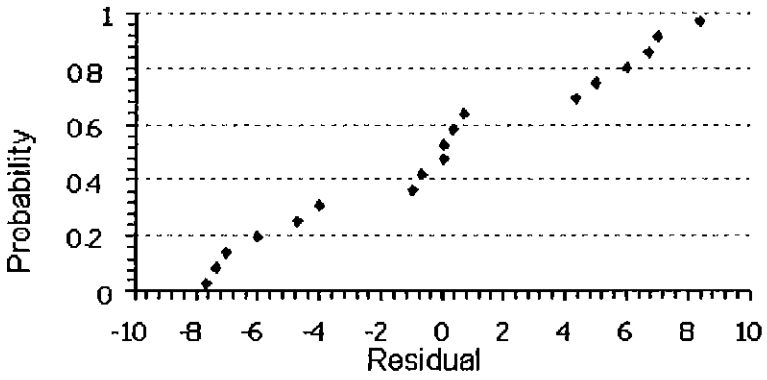
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

2.4.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ในการทดสอบสมมติฐานการเท่ากันของค่าเฉลี่ยของประชากร จะต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไข ดังนี้

2.4.1.1 ตรวจสอบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) เป็นเงื่อนไขที่ข้อมูลต้องได้รับการตรวจสอบก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะต้องแน่ใจว่าข้อมูลดังกล่าว มีการกระจายแบบปกติเสมอ หากไม่เช่นนั้นการทดสอบสมมติฐาน หรือการอนุมานด้วยเครื่องมือทางสถิติอื่นๆ ก็จะให้ผลคลาดเคลื่อน ตั้งแต่น้อยจนไปถึงอาจยอมรับไม่ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

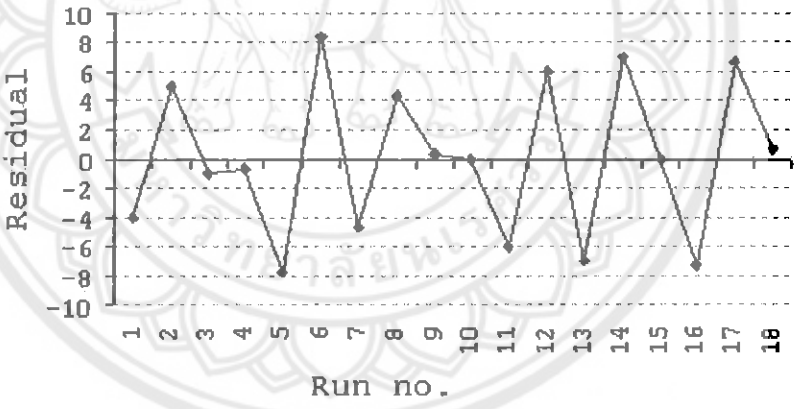
โดยมีหลักฐานว่าถ้าข้อมูลมีการกระจายแบบปกตินั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล ซึ่งทำได้โดยกำหนดให้แกน X คือ ส่วนตกค้างของข้อมูล ซึ่งค่าส่วนตกค้างของข้อมูลหาได้จาก นำค่าการทดลอง (Observation) ลบค่าเฉลี่ย (Fit) และแกน Y คือ ร้อยละของความน่าจะเป็นสะสม หาได้จากนำค่าส่วนตกค้างมาหาความถี่ของข้อมูลจะได้เป็นร้อยละของความน่าจะเป็น จากนั้นทำการสังเกตลักษณะข้อมูลบนแผนภูมิ ถ้าข้อมูลมีการกระจายแบบปกตินั้น จุดตัดจะต้องเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และลักษณะการเกิดจุดจะต้องไม่กระจุกเป็นกลุ่มๆ และค่าห่างระหว่างจุดแต่ละจุดต้องใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ แต่แน่นอนว่าค่าที่อยู่ห่างจากเส้นต้องมีค่ามากน้อยแตกต่างกันไปบ้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟการกระจายแบบปกติของข้อมูล

ที่มา : กานต์ สี่วัฒนายิ่งยง (2553)

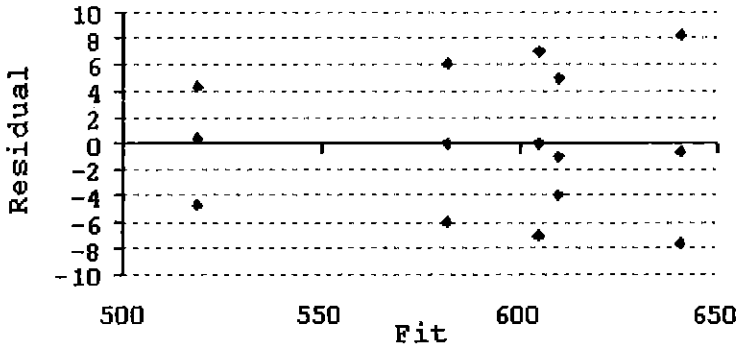
2.4.1.2 ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ทำได้โดยการสร้างแผนภูมิที่**กำหนดให้แกน** X **คือ** ลำดับของข้อมูล และแกน Y คือ ส่วนตกค้างของข้อมูล จากนั้นทำการสังเกตลักษณะการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ โดยมีหลักฐานว่าถ้าข้อมูลความเป็นอิสระของข้อมูล ลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูล จะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอไม่สามารถคาดเดาค่าในอนาคตได้ **ไม่มีแนวโน้มขึ้นหรือลงอย่างเดียว** แสดงว่าข้อมูลมีความอิสระของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

ที่มา : กานต์ สี่วัฒนายิ่งยง (2553)

2.4.1.3 ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ระดับปัจจัย พบว่าส่วนตกค้างของข้อมูลของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างกราฟความเสถียรของความแปรปรวน

ที่มา : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง (2553)

2.4.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือ การออกแบบการทดลองที่สนใจศึกษาอิทธิพลของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไปที่มีผลต่อกระบวนการ และให้ความสนใจกับผลกระทบร่วม (Interaction)

2.4.2.1 ประเภทของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การแบ่งประเภทสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีหลัก ดังนี้

ก. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) หมายถึง การทำการทดลอง และวัดค่าตัวแปรตอบสนองของทุกวิธีปฏิบัติ ซึ่งจะเหมาะกับการทดลองที่มีขนาดเล็ก และต้องการทราบค่าการทดลองหรือทราบค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด

ข. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) หมายถึง การทำการทดลองไม่ครบทุกวิธีปฏิบัติ เนื่องจากมีวิธีปฏิบัติที่มากเกินไป หรือมีข้อจำกัดบางประการ โดยวิธีปฏิบัติที่เลือกมาทำการทดลองจะเลือกมาจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดความไม่แม่นยำของการสรุปผลการทดลองเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

โดยในโครงงานนี้ ผู้จัดทำโครงงานได้เลือกทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment)

2.4.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย มีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

กำหนดให้ SS_T แทน ผลรวมกำลังสองของข้อมูลทั้งหมด

SS_A แทน ผลรวมกำลังสองของปัจจัย A

SS_B แทน ผลรวมกำลังสองของปัจจัย B

SS_{AB} แทน ผลรวมกำลังสองของปัจจัยผลกระทบร่วม

SS_E แทน ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน

$y_{i..}$ แทน ผลรวมของข้อมูลการทดลองที่ระดับ i ของตัวแปร A

$y_{.j.}$ แทน ผลรวมของข้อมูลการทดลองที่ระดับ j ของตัวแปร B

$y_{ij.}$ แทน ผลรวมของข้อมูลการทดลองที่ระดับ ij ใดๆ

$y_{...}$ แทน ผลผลรวมของข้อมูลการทดลองทุกๆ ข้อมูล

τ แทน อิทธิพลของปัจจัย A

β แทน อิทธิพลของปัจจัย B

$(\iota\beta)_{ij}$ แทน อิทธิพลของกิริยาร่วมระหว่างปัจจัย *A* และปัจจัย *B*

โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, a$; เมื่อ a คือ ระดับปัจจัยของ A

$j = 1, 2, \ldots, b$; เมื่อ b คือ ระดับปัจจัยของ B

$k = 1, 2, \ldots, n$; เมื่อ n คือ จำนวนครั้งการทดลอง

ซึ่งมีวิธีการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้

ก. ตั้งสมมติฐาน

$H_o : \tau_1 = \tau_2 = \ldots = \tau_a = 0$

$H_1 : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

$H_o : \beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_b = 0$

$H_1 : \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

$H_o : (\iota\beta)_{ij} = O_k$

$H_1 : (\iota\beta)_{ij} \neq O_k$ อย่างน้อย 1 ค่า

ข. ความแปรปรวนรวม

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E \qquad (2.2)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} - \frac{y_{...}^2}{abn} \qquad (2.3)$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \qquad (2.4)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \qquad (2.5)$$

$$SS_{SUBTOTALS} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} \qquad (2.6)$$

$$SS_{AB} = SS_{SUBTOTALS} - SS_A - SS_B \quad (2.7)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (2.8)$$

สามารถเขียนตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F
A	SS_A	a-1	SS_A/a-1	MS_A/MS_E
B	SS_B	b-1	SS_B/b-1	MS_B/MS_E
AB-Interaction	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	SS_{AB}/(a-1)(b-1)	MS_{AB}/MS_E
Error	SS_E	ab(n-1)	SS_E/ab(n-1)	
Total	SS_T	abn-1		

ที่มา : รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2551)

ซึ่งการสรุปผลว่าปัจจัยแต่ละปัจจัย หรือปัจจัยร่วมมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือไม่นั้น สามารถสรุปผลได้โดยเปรียบเทียบค่า F ที่ได้จากการคำนวณ กับค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง เมื่อค่า F ที่ได้จากการคำนวณ มากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง การสรุปผลจะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แต่ถ้า ค่า F ที่ได้จากการคำนวณ น้อยกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง การสรุปผลจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

2.5 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ใช้ในการทำนายตัวแปรตอบสนอง ซึ่งโดยปกติปัจจัยจะใช้สัญลักษณ์ X และตัวแปรตอบสนองจะใช้สัญลักษณ์ Y

2.5.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์การถดถอย

2.5.1.1 ตรวจสอบว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันหรือไม่

2.5.1.2 สร้างสมการพยากรณ์ เพื่อใช้สำหรับการประมาณค่า Y

2.5.1.3 ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของตัวแปรทั้งสอง โดยทำการตรวจสอบว่า สมการพยากรณ์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากน้อยเพียงใด โดยดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of Determination) ค่าความคลาดเคลื่อน

มาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of the Estimate) และการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าจากการทดลองและการพยากรณ์

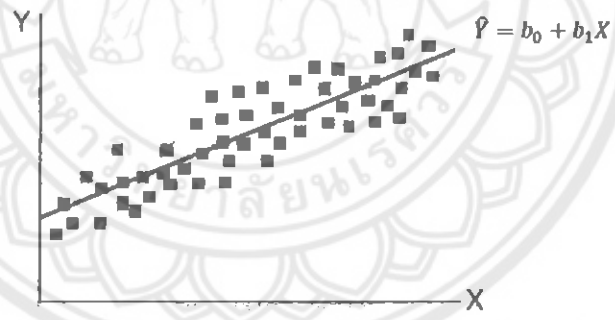
2.5.2 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.5.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of Determination)

ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด เกิดจากการนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มายกกำลังสอง ใช้แสดงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับตัวแปร Y มีผลเนื่องมาจากตัวแปร X คิดเป็นร้อยละ ใช้ศึกษาว่าสมการการพยากรณ์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากหรือน้อยเพียงใด โดยค่าที่คำนวณได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 และสัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่า คือ R ในกรณีที่ค่า R มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y อย่างมาก ซึ่งหมายความว่า สมการการพยากรณ์จะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้มาก ในกรณีที่ค่า R มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y น้อยมาก หมายความว่า สมการการพยากรณ์จะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้น้อย

2.5.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of the Estimate)

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of the Estimate) เป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประมาณค่า Y ด้วย $\hat{Y}$ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ S_{YX}



รูปที่ 2.9 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ $S_{YX} > 0$

ที่มา : รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2551)

2.5.3 การวิเคราะห์ค่าจากการทดลองและการพยากรณ์

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าจากการทดลองและการพยากรณ์ ใช้ค่าทางสถิติ t - test เพื่อทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มใช้สำหรับการทดสอบข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) โดยมีขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐานดังนี้

2.5.3.1 ตั้งสมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยของประชากรของ 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน คือ $\mu_1 = \mu_2$

H_1 : ค่าเฉลี่ยของประชากรของ 2 กลุ่มแตกต่างกัน คือ $\mu_1 \neq \mu_2$

2.5.3.2 กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ α

2.5.3.3 เลือกค่าสถิติที่เหมาะสม

$$\text{ค่าสถิติ} : t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N\sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}} \qquad (2.9)$$

โดยที่ t = ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลอง และจากการคำนวณ

D = ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลอง และจากการคำนวณในแต่ละค่า

$\sum D$ = ค่าผลรวมของค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลองและจากการคำนวณในแต่ละค่า

D^2 = ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลอง และจากการคำนวณในแต่ละค่ายกกำลังสอง

$(\sum D)^2$ = ค่าผลรวมของค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลอง และจากการคำนวณในแต่ละค่า และนำผลรวมทั้งหมดยกกำลังสอง

$N\sum D^2$ = ค่าจำนวนการทดลองคูณกับค่าผลรวมของค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลอง และการคำนวณของแต่ละค่ายกกำลังสอง

$N - 1$ = ค่าจำนวนการทดลองทั้งหมด ลบ 1

2.5.3.4 สร้างกฎการตัดสินใจ นั่นคือ ปฏิเสธ H_0 ถ้า t ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่า t ที่ได้จากตาราง หรือ t ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่า -t ที่ได้จากตาราง

2.5.3.5 คำนวณค่าสถิติ (t) จากกลุ่มตัวอย่าง

2.5.3.6 ตัดสิน และตีความ t ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่า t ที่ได้จากตาราง ดังนั้นให้เราปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 ซึ่งให้ผลว่าทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หากผลทดสอบสมมติฐานได้ผลว่าเราไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างแตกต่างกันแต่ค่าเฉลี่ยของประชากรไม่แตกต่างกัน โดยที่ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันเป็นความคลาดเคลื่อน

2.6 Polynomial Regression

Polynomial Regression คือการวิเคราะห์การถดถอยในรูปแบบของเส้นโค้ง ในกรณีที่ข้อมูลมีความผันผวน และลักษณะของข้อมูลขึ้นๆ ลงๆ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์กำไรและขาดทุนในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ เป็นต้น ลำดับของ Polynomial สามารถกำหนดได้จากจำนวนการเปลี่ยนแปลงในข้อมูลหรือจากจำนวนโค้ง (นูนและเว้า) ที่ปรากฏในเส้นโค้ง โดยทั่วไป เส้นแนว Polynomial ลำดับ 2 จะมีจำนวนโค้งนูนหรือเว้าเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น ส่วนเส้นแนวโน้ม Polynomial ลำดับ 3 จะมีจำนวนโค้งนูนหรือเว้าหนึ่งหรือสองครั้ง เส้นแนวโน้ม Polynomial ลำดับ 4 จะมีจำนวนโค้งนูนหรือเว้าไม่เกินสามครั้ง จะแสดงได้ในรูปแบบของฟังก์ชั่น ด้วยสูตรที่เรียกว่า ฟังก์ชันโพลิโนเมียล (Polynomial Function) ดังแสดงดังสูตรที่ 2.10

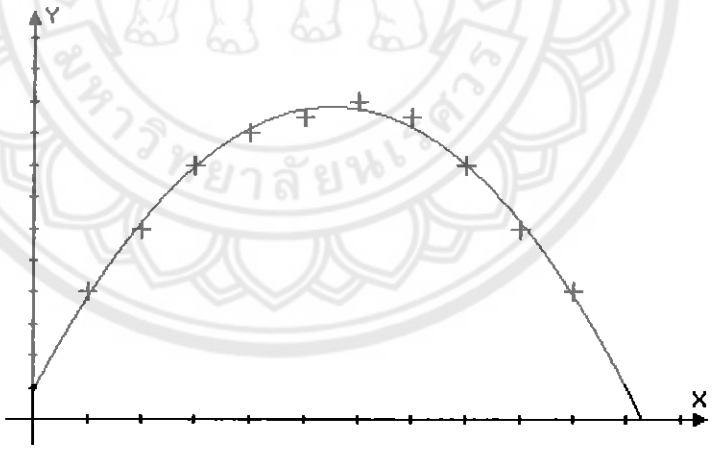
$$y = a + bx_1 + cx_1^2 \qquad (2.10)$$

โดยที่ y แทน ตัวแปรตาม

a , b , c แทน ค่าคงที่

x_1 , x_1^2 แทน ตัวแปรต้น

และจะเขียนได้ด้วยกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Polynomial Regression

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 นางสาวเปมิกา สุวรรณมณี (2548) ได้ทำการศึกษา ปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการออกแบบการทดลอง โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ พบว่าสภาพปัญหาในแผนกทำสีของกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ พบว่ามีของเสียที่เกิดจากการพ่นสีที่ไม่ได้มาตรฐานเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาของเสียที่พบมากที่สุด คือ ปัญหาสีเป็นผิวส้ม ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการพ่นสี ที่ทำให้เกิดของเสียเป็นผิวส้มน้อยที่สุด โดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่ามีปัจจัย 5 ปัจจัย คือ ความสูงของหัวปืนพ่นสี (ระยะห่างระหว่างงานกับหัวปืนพ่นสี) ความเร็วของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของสายพาน แรงดันลม และความหนืดสี ที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลอง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองของทากูชิ พบว่า ความหนืดสี และแรงดันลม มีอิทธิพลต่อการปัญหาสีเป็นผิวส้มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 ส่วนความสูงของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของหัวปืนพ่นสีและความเร็วของสายพาน ตามมาตรฐานการทำงานปัจจุบันไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหานี้ และเมื่อนำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลองมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับ เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง พบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของความหนืดสีคือ 10 - 10.5 วินาที และค่าแรงดันลมที่เหมาะสม คือ 4 บาร์ และจากการนำผลการวิจัยไปใช้ในการทำงานจริง พบว่าจำนวนของเสียสีเป็นผิวส้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมมีงานเสียเฉลี่ย 532 ชิ้น/เดือน ลดลงเหลือ 210 ชิ้น/เดือน จากปริมาณการผลิตประมาณ 10,000 ชิ้น/เดือน คิดเป็นจำนวนงานเสียลดลง ร้อยละ 60.49 และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานจากเดิม 306,432 บาท/ปี เหลือเพียง 120,960 บาท/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 185,472 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานลดลง ร้อยละ 60.53

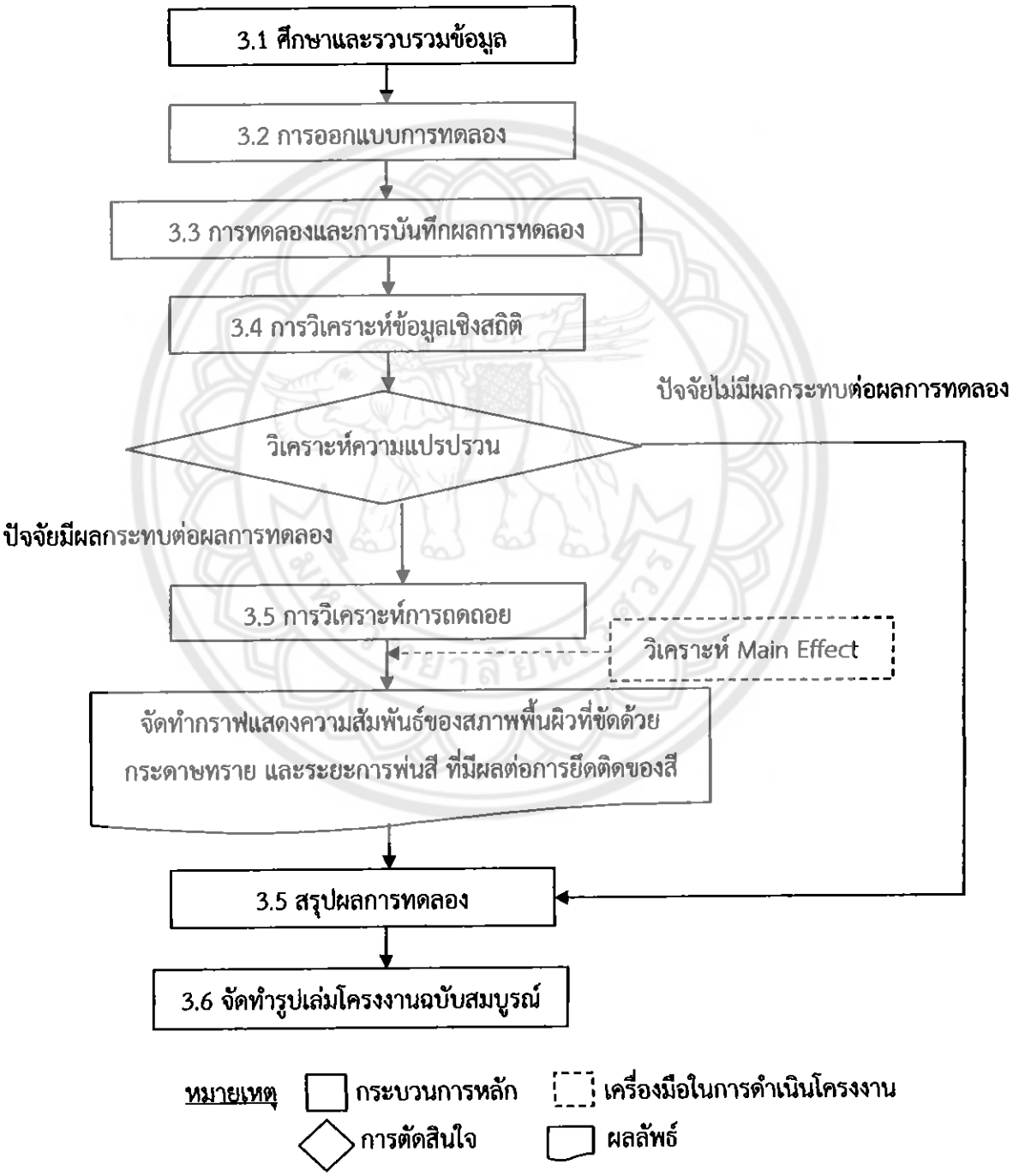
2.7.2 กริช และ ธนาคาร (2551) ได้ทำการศึกษา อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาการอบชุบแข็งของเหล็ก AISI 1010 โดยทำการทดสอบวัสดุ และวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการอบชุบ ที่มีผลต่อความแข็ง แรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น รวมทั้งศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเหล็กที่ผ่านกระบวนการอบชุบ ผลลัพธ์ของการศึกษาพบว่า ก่อนการทำออสเตนไนต์ซึ่งชิ้นงานมีลักษณะโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์ทั้งหมด หลังจากการทำออสเตนไนต์ซึ่ง ชิ้นงานยังมีลักษณะโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์เช่นเดิม แต่ลักษณะของขนาดเกรนมีการเปลี่ยนแปลง ค่าความแข็งที่ได้จากการทดลองมีความแข็งเพิ่มขึ้นจากชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการออสเตนไนต์ซึ่ง ซึ่งมีความแข็งเฉลี่ย 137.88 HB ที่เวลา 10 นาที ความแข็งที่มากที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส มีความแข็งเฉลี่ย 191.33 HB ที่เวลา 20 นาที ความแข็งที่มากที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส มีความแข็งเฉลี่ย 236.72 HB ที่เวลา 40 นาที ความแข็งที่มากที่สุดอยู่ที่ 750 องศาเซลเซียส มีความแข็งเฉลี่ย 174.80 HB การทดสอบค่าทนต่อแรงดึงมีค่าสูงขึ้นจากชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านกระบวนการออสเตนไนต์ซิ่งซึ่งมีค่าเฉลี่ย 400.56

N/mm^2 ที่เวลา 10 นาที ค่าทนต่อแรงดึงที่มากที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่า 610.36 N/mm^2 ที่เวลา 20 นาที ค่าทนต่อแรงดึงที่มากที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 646.71 N/mm^2 ที่เวลา 40 นาที ค่าทนต่อแรงดึงที่มากที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 586.22 N/mm^2 ส่วนเปอร์เซนต์การยืดตัวจะมีค่าน้อยลงกว่าชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการออสเตนไนต์ซึ่ง ซึ่งเมื่อความแข็งเพิ่มขึ้นจะแปรผันกับการทนต่อแรงดึง แต่จะแปรผกผันกับเปอร์เซนต์การยืดตัว

2.7.3 ณัชชา และ พิชิต (2553) ได้ทำการศึกษา การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการพ่นสีรถยนต์ ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการพ่นสีรถยนต์ และเสนอระดับที่เหมาะสมในการพ่นสีรถยนต์เพื่อช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายจากการพ่นซ่อมชิ้นงานในกระบวนการผลิตลง โดยก่อนทำการวิจัยพบว่า ค่าความสว่างของสีบรอนซ์เงินที่วัดได้จากกระบวนการพ่นสีรถยนต์มีค่าไม่ตรงตามค่ามาตรฐาน (ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่ามาตรฐานความต่างของเฉดสีแต่ละโรงงานที่ถูกกำหนด) ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้นจากการพ่นซ่อมชิ้นงานที่บกพร่องที่เกิดจากความต่างของเฉดสีหลังการพ่นไม่คงที่ ดังนั้นจึงมีการศึกษากระบวนการดังกล่าวโดยอาศัยความรู้และความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญรวมถึงเอกสารที่เกี่ยวข้อง และทำการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลพบว่า ความหนืด อัตราการไหล ความดันลม และระยะห่างในการพ่นมีผลต่อค่าความสว่างของสีบรอนซ์เงินอย่างมีนัยสำคัญ (α =0.05) นำ 4 ปัจจัย ที่มีนัยสำคัญมาทำการทดลอง เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยด้วยการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน หลังจากการทดลองพบว่าค่าความสว่างของสีบรอนซ์เงินมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มความสามารถของกระบวนการพ่นสีรถยนต์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ในการดำเนินโครงงาน ผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการดำเนินโครงงาน ดังแผนผังที่แสดงในรูปที่ 3.1 พร้อมทั้งรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินโครงงานตามหัวข้อที่ 3.1 -3.6



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อการดำเนินโครงงาน ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเหล็ก ST37 เพื่อทราบสมบัติของเหล็ก ST37 และประโยชน์การนำไปใช้งานของเหล็ก ST37, ศึกษาเกี่ยวกับการพ่นสี ท่าพ่นสีและระยะที่เหมาะสมในการพ่นสี เพื่อนำมาใช้ประกอบการดำเนินโครงงาน และได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง การศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อนำมาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลการทดลอง นอกจากนี้ผู้ดำเนินโครงงานยังได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ในเรื่องการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการออกแบบการทดลอง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินโครงงานได้อย่างถูกต้อง ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดผู้จัดทำได้แสดงไว้ในบทที่ 2

3.2 การออกแบบการทดลอง

3.2.1 การกำหนดปัจจัย

การกำหนดปัจจัยเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในการทดลอง ผู้ดำเนินโครงงานพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37 คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก, ระยะการพ่นสี, แสงแดด, ความชื้น, ลม, ฝุ่น ฯลฯ แต่ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีโดยตรง และสามารถควบคุมได้ คือ สภาพพื้นผิวและระยะการพ่นสี ผู้จัดทำโครงงานจึงได้เลือกสภาพพื้นผิวและระยะการพ่นสีมาเป็นปัจจัยหลักในการดำเนินการทดลอง

3.2.2 การกำหนดระดับปัจจัย

3.2.2.1 สภาพพื้นผิวที่ต่างกันเกิดจากการขัดด้วยกระดาษทรายที่ต่างกัน ดังนั้นผู้ดำเนินโครงงานจึงได้คัดเลือกเบอร์กระดาษทรายที่ใช้ขัดเหล็ก ST37 ในการทดลอง ดังนี้ กระดาษทรายเบอร์ 120, 180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 โดยการเลือกนั้นจะได้จากการทำการทดลองขัด เพื่อทราบช่วงความเรียบจากสภาพพื้นผิว

3.2.2.2 จากทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.2 ระยะห่างในการพ่นสีที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 15 - 25 เซนติเมตร ดังนั้นผู้ดำเนินโครงงานจึงได้คัดเลือกระยะที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระยะ คือ 15, 17, 20, 23, 25 เซนติเมตร

3.2.3 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

การกำหนดสมมติฐานกำหนดได้ ดังนี้

3.2.3.1 การกำหนดสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่า สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

เมื่อสภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200

3.2.3.2 การกำหนดสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่า ระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0 : ระยะห่างในการพ่นสี ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 : ระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

เมื่อระยะห่างในการพ่นสี 15, 17, 20, 23, 25 เซนติเมตร

3.2.3.3 การกำหนดสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่า สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

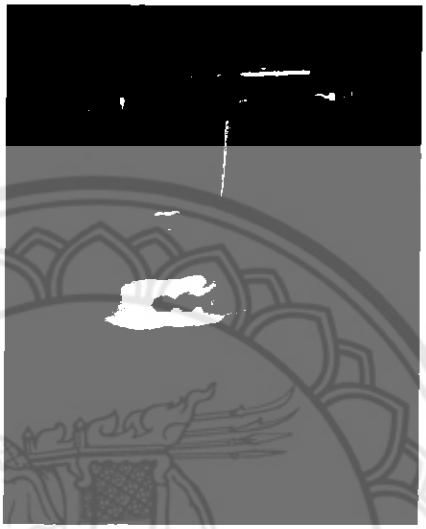
H_1 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

เมื่อสภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทราย = สภาพพื้นผิวที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 โดยการเลือกนั้นจะได้จากการทำการทดลองขัด เพื่อทราบช่วงความเรียบจากสภาพพื้นผิว และเมื่อระยะห่างในการพ่นสี 15, 17, 20, 23, 25 เซนติเมตร

3.3 การทดลองและการบันทึกผลการทดลอง

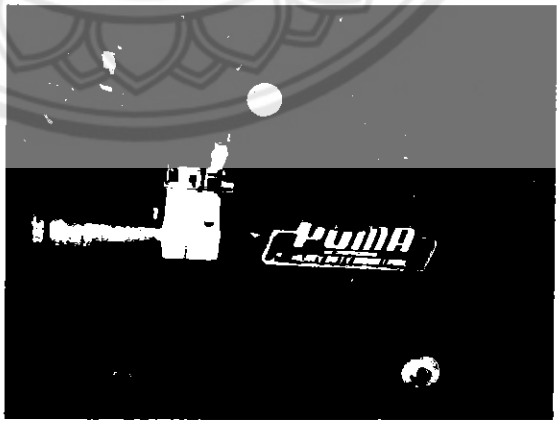
3.3.1 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง

3.3.1.1 กาพ่นสี เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสี ช่วยให้สีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การทดลองของเราเป็นไปในทางเดียวกัน ชิ้นงานที่ได้ออกมาให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กาพ่นสีที่ผู้ดำเนินโครงงานใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.2



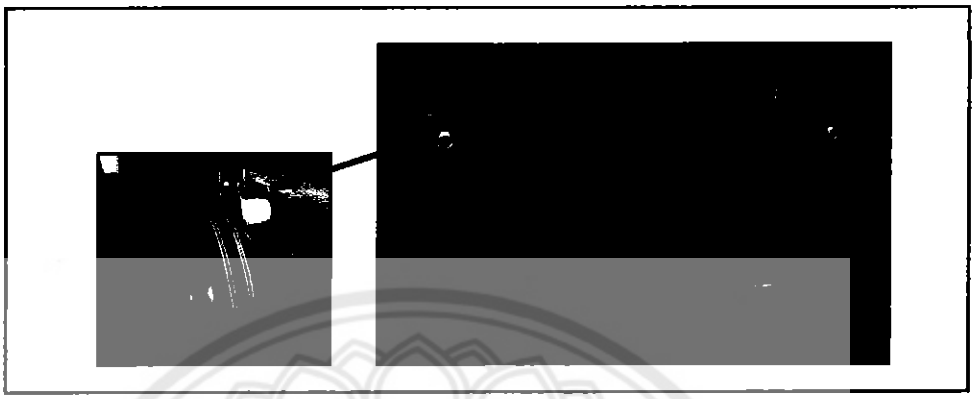
รูปที่ 3.2 กาพ่นสี

3.3.1.2 เครื่องปั๊มลม (Air Compressor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ต่อกับกาพ่นสีเพื่อช่วยขับแรงดันลมส่งไปยังกาพ่นสี เพื่อให้สีพ่นออกมาด้วยแรงลมคงที่ เครื่องปั๊มลมที่ผู้ดำเนินโครงงานใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องปั๊มลม

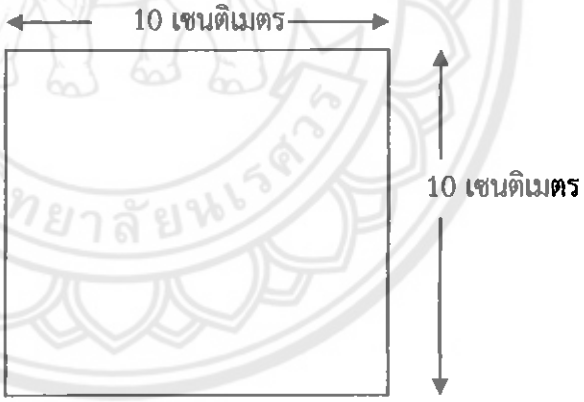
3.3.1.3 อุปกรณ์ที่ช่วยให้แผ่นเหล็ก ST37 เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ โดยตัวเครื่องมีมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของเส้นเอ็น ให้เป็นไปอย่างคงที่ อุปกรณ์ที่ช่วยให้แผ่นเหล็ก ST37 เคลื่อนที่ที่ผู้จัดทำโครงงานใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนที่ของแผ่นเหล็ก ST37

3.3.2 การเตรียมชิ้นงาน

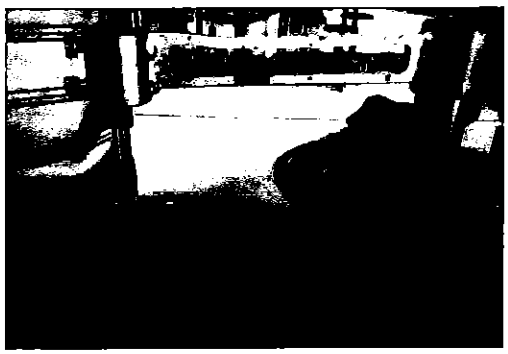
เตรียมชิ้นงานเหล็ก ST37 ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 120 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชิ้นงาน

3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.3.3.1 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2 มาขัดด้วยกระดาษทรายที่เบอร์ต่างๆ ดังที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 ที่ห้องปฏิบัติการในอาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยผู้จัดทำโครงงานกำหนดให้ใช้กระดาษทราย 1 แผ่นต่อเหล็ก 1 แผ่น จากนั้นจะได้สภาพพื้นผิวที่ต่างกัน จำนวน 120 แผ่น เครื่องขัดผิวชิ้นงานที่ผู้ดำเนินโครงงานใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องขัดผิวชิ้นงาน

3.3.3.2 นำชิ้นงานในหัวข้อที่ 3.3.3.1 จำนวน 120 แผ่น มาทำการพ่นสีที่ระยะการพ่นสีที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.1 โดยจะให้เครื่องพ่นสีอยู่กับที่ ส่วนชิ้นงานที่เราต้องการทดสอบจะนำไปยึดติดกับเส้นเอ็น โดยใช้มอเตอร์ช่วยในการเคลื่อนที่ เพื่อควบคุมให้ความเร็วในการเคลื่อนที่คงตัว แผ่นเหล็กเคลื่อนที่ไปแล้วกลับ 2 เที่ยว แล้วจึงหยุดเครื่อง แสดงดังรูปที่ 3.7 แล้วนำชิ้นงานออกจากเครื่องปล่อยให้ชิ้นงานแห้งสนิท 8 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.8

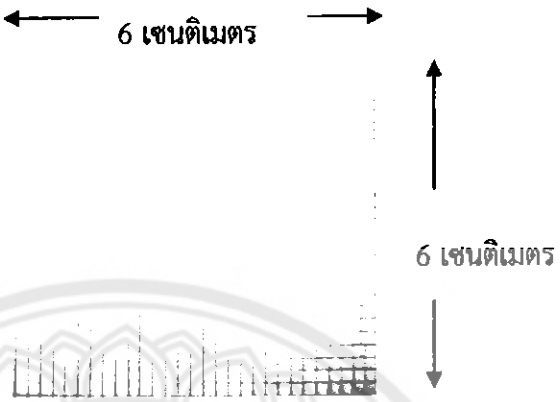
รูปที่ 3.7 การพ่นสีลงบนชิ้นงาน

รูปที่ 3.8 การปล่อยชิ้นงานให้แห้ง

ib92981ว
ปร.
ส536ว
2554

3.3.3.3 นำชิ้นงานในหัวข้อที่ 3.3.3.2 ที่ผ่านการพ่นสีแล้วมาทดสอบการยึดติดของสี โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก. นำชิ้นงานมาตีสเกลเป็นเส้นตรงขนาด 6X6 เซนติเมตร โดยมีความห่างช่องละ 3 มิลลิเมตร ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แสดงดังรูปที่ 3.9

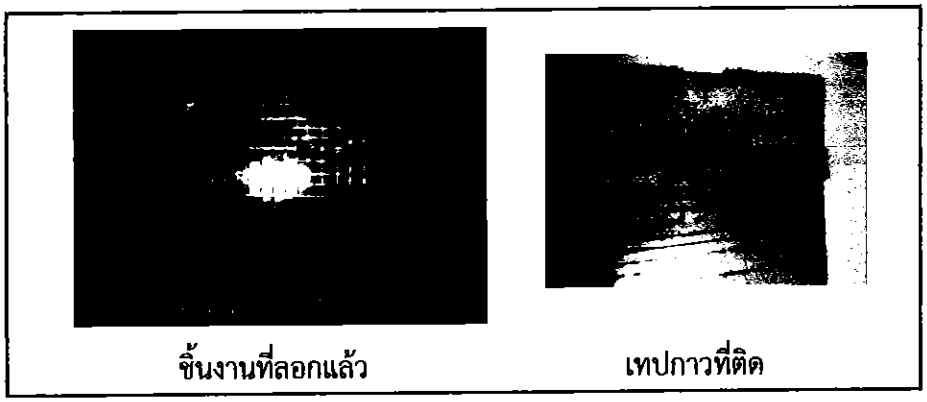


รูปที่ 3.9 การตีสเกลลงบนชิ้นงาน

ข. นำคัตเตอร์มากรีดลงบนชิ้นงานที่ได้ตีสเกลไว้ แสดงดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 การกรีดคัตเตอร์ลงบนชิ้นงาน

ค. นำเทปกาวมาติดลงบนชิ้นงานที่กรีดด้วยคัตเตอร์ แล้วดึงออก แสดงดังรูปที่ 3.11 แล้วนำชิ้นงานไปคำนวณหาร้อยละพื้นที่ความสามารถในการยึดติดของสี โดยคำนวณพื้นที่ที่ยึดติดบนชิ้นงาน แล้วนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่ลอกเทปกาวแล้ว

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

สภาพพื้นผิวที่ขัดด้วยกระดาษทราย	ระยะการพ่นสี (เซนติเมตร)	ร้อยละของพื้นที่การยึดติด		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
เบอร์ 120	15	84.39	88.45	94.86
	17	91.50	90.18	92.05
	20	99.71	99.54	98.56
	23	90.87	91.15	89.91
	25	80.64	85.75	89.69
เบอร์ 180	15	91.91	94.42	88.63
	17	91.95	92.78	93.45
	20	97.89	98.24	96.65
	23	92.44	89.77	91.11
	25	90.33	90.73	90.78
เบอร์ 320	15	90.50	85.22	90.80
	17	91.08	93.67	91.57
	20	87.45	89.94	93.46
	23	90.08	91.77	92.35
	25	83.98	83.20	86.77
เบอร์ 400	15	86.69	91.98	87.39
	17	92.11	91.45	92.58
	20	99.87	99.08	98.86
	23	90.77	92.13	91.87
	25	89.89	92.60	91.59
เบอร์ 600	15	89.74	93.24	91.49
	17	92.78	90.12	92.11
	20	99.15	99.31	99.73
	23	90.99	88.95	91.47
	25	79.59	72.61	77.48

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ตารางบันทึกผลการทดลอง

สภาพพื้นผิวที่ขัดด้วยกระดาษทราย	ระยะการพ่นสี (เซนติเมตร)	ร้อยละของพื้นที่การยึดติด		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
เบอร์ 800	15	90.42	89.93	90.89
	17	93.08	93.08	91.98
	20	91.49	91.36	90.79
	23	92.00	89.98	91.05
	25	90.63	92.01	91.38
เบอร์ 1000	15	92.20	94.77	90.94
	17	91.78	90.88	91.31
	20	94.58	99.08	95.13
	23	90.78	92.12	91.00
	25	79.73	82.11	84.99
เบอร์ 1200	15	97.87	97.16	91.92
	17	97.87	97.16	91.92
	20	99.89	99.45	96.42
	23	91.18	90.76	87.97
	25	93.07	90.42	91.25

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

3.4.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง โดยนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 3.1 มาตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

3.4.1.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

ตรวจสอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยพิจารณาจากกราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4.1.1

3.4.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

ตรวจสอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยพิจารณาจากกราฟความเป็นอิสระของข้อมูล ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4.1.2

3.4.1.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

ตรวจสอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยพิจารณาจากกราฟความเสถียรของความแปรปรวน ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4.1.3

3.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

วิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อศึกษาผลของสภาพผิวบนเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายที่ต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสีบนเหล็ก ST37 ที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

3.4.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

วิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสภาพผิวบนเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายที่ต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสีบนเหล็ก ST37 ที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี และหาสมการการถดถอยเพื่อหาค่าร้อยละพื้นที่การยึดติดของสีจากการพยากรณ์ ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าร้อยละพื้นที่การยึดติดที่ได้จากการทดลอง

3.4.4 การวิเคราะห์ Main Effect

การวิเคราะห์ Main Effect เพื่อแยกศึกษาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย ที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

3.5 สรุปผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายที่ต่างเบอร์ และระยะห่างการพ่นสี มาทำการสรุปผลการทดลองว่าปัจจัยใดมีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

3.6 จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์

สรุปผลที่ได้ทั้งหมดจากการดำเนินโครงงาน และจัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการที่ผู้จัดทำโครงงานได้ดำเนินโครงงานตามหัวข้อที่ 3.1 – 3.6 ได้ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากหนังสือ เอกสาร เว็บไซต์ที่เกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลของสภาพพื้นผิวและระยะการพ่นสี ที่มีต่อการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37 ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลดังรายละเอียดเกี่ยวกับหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเหล็ก ST37

4.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานในการพ่นสีชิ้นงาน

นอกจากนี้ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการออกแบบการทดลอง การพ่นสีบนเฟอร์นิเจอร์ไม้ เพื่อนำมาเป็นต้นแบบในการดำเนินโครงงาน ซึ่งรายละเอียดที่กล่าวมา ผู้จัดทำโครงงานได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 2

4.2 การออกแบบการทดลอง

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำโครงงานได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย ซึ่งในการออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ปัจจัยในการทดลอง ระดับปัจจัย และสมมติฐานการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดหัวข้อดังต่อไปนี้

4.2.1 ปัจจัยในการทดลอง

การกำหนดปัจจัยในกระบวนการที่จะศึกษา ผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดปัจจัย 2 ปัจจัย คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี

4.2.2 ระดับปัจจัย

จากการกำหนดปัจจัยในหัวข้อที่ 4.2.1 ผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดปัจจัย 2 ปัจจัย คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี โดยมีการกำหนดระดับปัจจัยดังนี้

4.2.2.1 สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ ประกอบด้วย 8 ระดับปัจจัยย่อย คือ กระดาษทรายเบอร์ 120, 180, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200

4.2.2.2 ระยะห่างในการพ่นสี ประกอบด้วย 5 ระดับปัจจัย คือ 15, 17, 20, 23 และ 25 เซนติเมตร

4.2.3 สมมติฐานการทดลอง

จากการกำหนดปัจจัย และระดับปัจจัยในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ผู้จัดทำโครงงานได้ตั้งสมมติฐานขึ้นเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย และระดับปัจจัยที่กำหนดขึ้น คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทราย 8 เบอร์ คือ 120, 180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 และระยะห่างในการพ่นสี 15, 17, 20, 23, 25 เซนติเมตร มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีหรือไม่ ซึ่งผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดสมมติฐานออกเป็น 3 ข้อ ดังนี้

4.2.3.1 การกำหนดสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่า สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

เมื่อสภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทราย 8 เบอร์ คือ 120, 180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200

4.2.3.2 การกำหนดสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่า ระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0 : ระยะห่างในการพ่นสี ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 : ระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

เมื่อระยะห่างในการพ่นสี 15, 17, 20, 23, 25 เซนติเมตร

4.2.3.3 การกำหนดสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่า สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 : สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะห่างในการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

4.3 ผลการทดลอง

จากการกำหนดสมมติฐานในหัวข้อที่ 4.2.3 เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย และระดับปัจจัยที่ได้กำหนดขึ้นมีผลต่อการยึดติดของสีหรือไม่ ผู้จัดทำโครงงานจึงได้ดำเนินการทดลองตามที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 120 ครั้ง โดยใช้ปัจจัย และระดับปัจจัยตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 จากนั้นจึงทำการบันทึกผลการทดลองทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าร้อยละพื้นที่การยึดติด

สภาพพื้นผิวที่ขัดด้วยกระดาษทราย	ระยะการพ่นสี (เซนติเมตร)	ค่าร้อยละพื้นที่การยึดติด		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
120	15	84.39	88.45	94.86
	17	91.50	90.18	92.05
	20	99.71	99.54	98.56
	23	90.87	91.15	89.91
	25	80.64	85.75	89.69
180	15	91.91	94.42	88.63
	17	91.95	92.78	93.45
	20	97.89	98.24	96.65
	23	92.44	89.77	91.11
	25	90.33	90.73	90.78
320	15	90.50	85.22	90.80
	17	91.08	93.67	91.57
	20	87.45	89.94	93.46
	23	90.08	91.77	92.35
	25	83.98	83.20	86.77
400	15	86.69	91.98	87.39
	17	92.11	91.45	92.58
	20	99.87	99.08	98.86
	23	90.77	92.13	91.87
	25	89.89	92.60	91.59

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ตารางแสดงค่าร้อยละพื้นที่การยึดติด

สภาพพื้นผิวที่ขัดด้วยกระดาษทราย	ระยะการพ่นสี (เซนติเมตร)	ค่าร้อยละพื้นที่การยึดติด		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
600	15	89.74	93.24	91.49
	17	92.78	90.12	92.11
	20	99.15	99.31	99.73
	23	90.99	88.95	91.47
	25	79.59	72.61	77.48
800	15	90.42	89.93	90.89
	17	93.08	93.08	91.98
	20	91.49	91.36	90.79
	23	92.00	89.98	91.05
	25	90.63	92.01	91.38
1000	15	92.20	94.77	90.94
	17	91.78	90.88	91.31
	20	94.58	99.08	95.13
	23	90.78	92.12	91.00
	25	79.73	82.11	84.99
1200	15	97.87	97.16	91.92
	17	97.87	97.16	91.92
	20	99.89	99.45	96.42
	23	91.18	90.76	87.97
	25	93.07	90.42	91.25

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

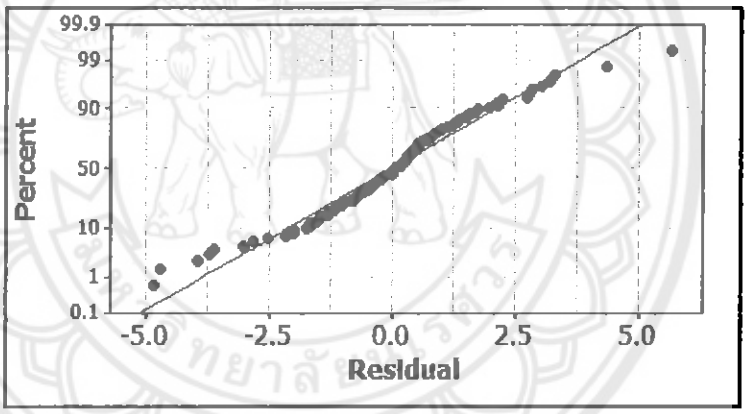
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ได้ดังนี้

4.4.1 ตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

เมื่อผู้จัดทำโครงงานได้ดำเนินการทดลอง และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 จากนั้น ผู้จัดทำโครงงานนำผลการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ดังที่กล่าวในทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.4.1 ซึ่งประกอบด้วยการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน ซึ่งมีรายละเอียดในการตรวจสอบข้อมูล ดังนี้

4.4.1.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล

จากการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล สามารถทำได้โดยนำค่าส่วนตกค้าง และร้อยละความน่าจะเป็นของความถี่สะสม มาสร้างกราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.1

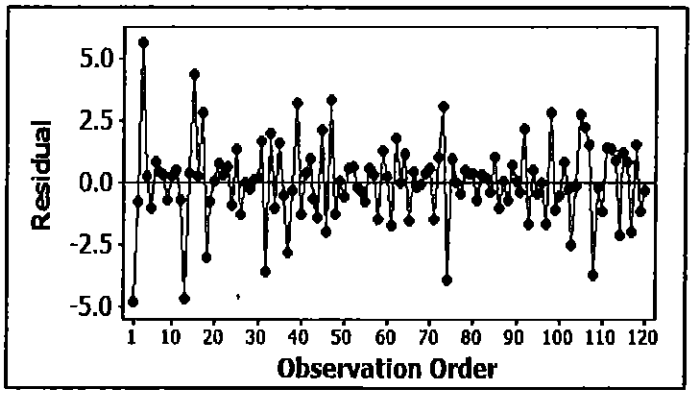


รูปที่ 4.1 กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่ากราฟมีจุดตัดที่เรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และลักษณะการเกิดจุดจะไม่กระจุกเป็นกลุ่มๆ นอกจากนั้นผู้จัดทำโครงงานได้ทำการพิจารณาค่า P - value ของค่าสถิติทดสอบ Kolmogorov – Smirnov มีค่าเท่ากับ 0. 072 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ

4.4.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

จากการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล สามารถทำได้โดยนำค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล มาสร้างกราฟการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.2

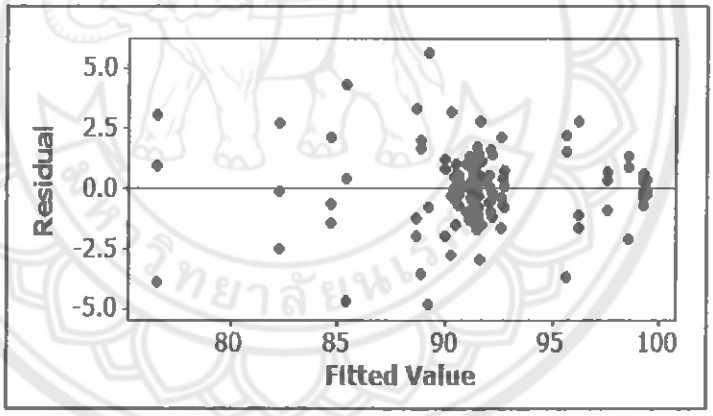


รูปที่ 4.2 กราฟความเป็นอิสระของข้อมูล

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ากราฟมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่สามารถคาดเดาค่าในอนาคตได้ ไม่มีแนวโน้มขึ้น หรือลงอย่างเดียว ดังนั้นสามารถสรุปได้ ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

4.4.1.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

จากการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน สามารถทำได้โดยนำค่าส่วนตกค้าง และค่าของผลการทดลอง มาสร้างกราฟความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟความเสถียรของความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ากราฟมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวก และทางลบ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

เมื่อข้อมูลผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมตามหัวข้อที่ 4.1.1 ผู้จัดทำโครงงานจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล เพื่อตรวจสอบว่าสภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีหรือไม่ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F	P - value
เบอร์กระดาษทราย	217.02	7	31.00	7.81	ค่าเข้าใกล้ 0
ระยะการพ่นสี	1162.86	4	290.72	73.19	ค่าเข้าใกล้ 0
เบอร์*ระยะ	831.08	28	29.68	7.47	ค่าเข้าใกล้ 0
Error	317.76	80	3.97		
Total	2528.74	119			

จากตารางที่ 4.2 ผู้จัดทำโครงงานจะพิจารณาค่า P – value กับค่านัยสำคัญ เพื่อตรวจสอบว่า สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีรายละเอียดในการตรวจสอบสมมติฐาน ตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 4.2.3 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้ ดังนี้

4.4.2.1. ตรวจสอบสมมติฐานที่ 1 คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

H_o คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

ค่านัยสำคัญจากการทดลอง (P - value) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_o ยอมรับ H_1 ดังนั้น ว่า สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และช่วงเบอร์กระดาษทรายที่ 120 – 1200

4.4.2.2. ตรวจสอบปัจจัยที่ 2 คือ ระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

H_o คือ ระยะการพ่นสี ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 คือ ระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

ค่านัยสำคัญจากการทดลอง (P - value) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_o ยอมรับ H_1 ดังนั้น ระยะการพ่นสีมีผลต่อความสามารถในยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และช่วงระยะการพ่นสีที่ 15 – 25 เซนติเมตร

4.4.2.3. ตรวจสอบปัจจัยที่ 3 คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

H_o คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะการพ่นสี ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

H_1 คือ สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์ และระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี

ค่านัยสำคัญจากการทดลอง (P - value) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_o ยอมรับ H_1 ดังนั้น สภาพพื้นผิวของเหล็ก ST37 ที่ขัดด้วยกระดาษทรายต่างเบอร์และระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

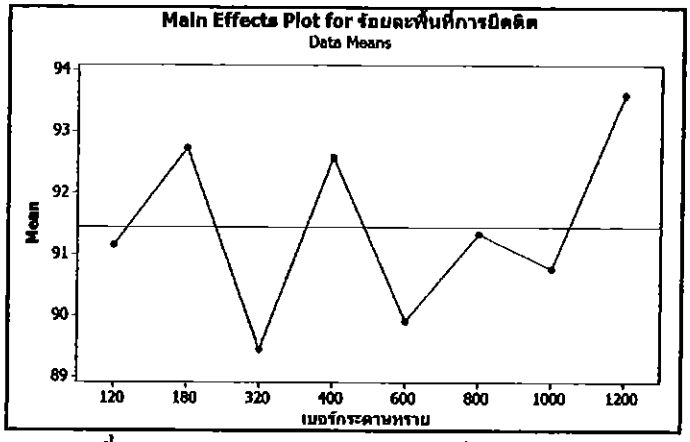
4.4.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลในหัวข้อที่ 4.4.2 ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยและระดับปัจจัยในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี จากนั้นผู้จัดทำโครงงานได้นำผลการทดลองไปวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยในการทดลองว่ามีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสีอย่างไร และมีแนวโน้มในทิศทางใด โดยผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

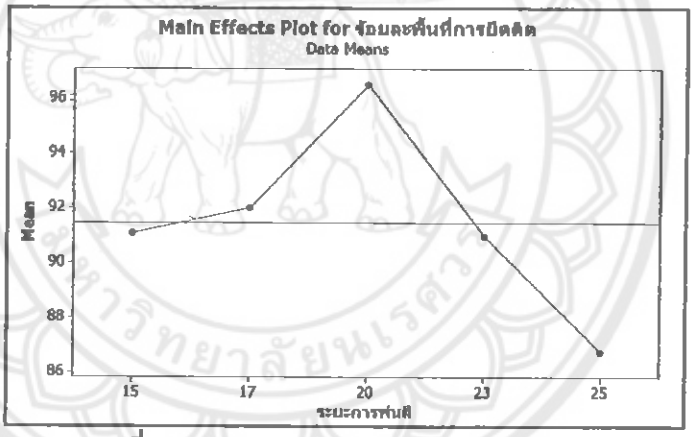
Predictor	Coef.	P - value
Constant	94.672	ค่าเข้าใกล้ 0
No.	0.007136	0.242
Distance	-0.1860	0.364
No.*Distance	-0.0003142	0.294
Std. Error of the Estimate = 4.42838		
R = 0.3		

จากตารางที่ 4.3 ได้ค่า R = 0.3 หมายความว่า ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่สนใจศึกษาในกระบวนการทดลองมีความสัมพันธ์กันต่ำ ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าสมการถดถอยไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้ ดังนั้น ผู้จัดทำโครงงานจึงได้ทำการวิเคราะห์ ผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effect) เพิ่มเติมโดยจะเป็นการศึกษาแยกทีละปัจจัย เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่มีต่อผลกระบวนการทดลอง ซึ่งทำให้สามารถเห็นผลการทดลองของแต่ละปัจจัยได้ชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 แสดง Main Effect : เบอร์กระดาษทราย

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเบอร์กระดาษทรายมีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี แต่ไม่สามารถอธิบายแนวโน้มของผลการทดลองได้ เนื่องจากลักษณะของกราฟมีทิศทางขึ้นๆ ลงๆ จึงไม่สามารถระบุแนวโน้มที่แน่นอนได้ เพราะในการขัดชิ้นงานจะเริ่มขัดจากเบอร์กระดาษทรายที่มีความหยาบก่อนที่จะทำการขัดจากเบอร์ที่มีความละเอียด



รูปที่ 4.5 แสดง Main Effect : ระยะการพ่นสี

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าระยะการพ่นสีมีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี โดยระยะการพ่นสีที่ดีที่สุด คือ 20 และจะเห็นได้ว่า กราฟมีแนวโน้มเป็นลักษณะ Polynomial

ผู้จัดทำโครงงานจึงต้องการนำเสนอความสัมพันธ์ของระยะการพ่นสี โดยเลือกจากกระดาษทรายทั้งหมด 8 ระดับ ได้เลือกกระดาษทรายที่เบอร์ 120 เนื่องจากหากใช้กระดาษทรายที่มีความละเอียดเกินไป กระดาษทรายจะไม่สามารถขัดผิวชิ้นงานให้หมดไป ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานต้องทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ในลักษณะ Polynomial โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ผล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

ผู้จัดทำโครงงานได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.1 ที่กระดาษทรายเบอร์ 120 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่กระดาษทรายเบอร์ 120

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F	P - value
ระยะการพ่นสี	310.2	4	77.5	7.73	0.004
Error	100.4	10	10		
Total	410.6	14			

4.4.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

ผู้จัดทำโครงงานได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.1 ที่กระดาษทรายเบอร์ 120 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล ดังสมการ $y = a + bx_1 + cx_1^2$ นำข้อมูลมาวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การถดถอยที่กระดาษทรายเบอร์ 120

Predictor	Coef.	P - value
Constant	-55.380	0.382
x_1	15.813	0.099
x_1^2	-0.403	0.096
Std. Error of the Estimate = 2.97060		
R = 0.91		

จากตารางที่ 4.5 สามารถสร้างสมการถดถอย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้

$$y = -58.4 + 15.8x_1 - 0.403x_1^2 \qquad (4.1)$$

ซึ่ง y แทน พื้นที่การยึดของสี

x แทน ระยะพ่นสีในช่วง 15 – 25 เซนติเมตร

โดยความเหมาะสมในการนำสมการถดถอยไปใช้งานนั้น สามารถพิจารณาได้จาก ค่า R ที่ได้จากตารางที่ 4.5 มีค่าเท่ากับ R = 0.91 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 สามารถสรุปได้ว่า สมการมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับดี หรือสมการมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการสรุปผล และข้อเสนอแนะในการดำเนินโครงงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินโครงงาน "การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาสภาพพื้นผิว และระยะการพ่นสี ที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี" สามารถสรุปผลการดำเนินโครงงานได้ดังนี้ศึกษาอิทธิพลของเบอร์กระดาษทรายและระยะการพ่นสีที่มีต่อความสามารถในการยึดติดของสีบนเหล็ก ST37 สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

จากตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งมีการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของข้อมูล การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน พบว่าข้อมูลชุดนี้ผ่านเงื่อนไขทั้ง 3 ข้อ ทำให้สรุปได้ว่า ข้อมูลชุดนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนได้

5.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูล สามารถสรุปผลได้ว่า สภาพพื้นผิวและระยะการพ่นสี มีผลต่อความสามารถในการยึดติดของสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ต่ำเกินกว่าที่จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ในรูปสมการถดถอย ผู้จัดทำโครงงานจึงได้แยกวิเคราะห์การถดถอยทีละปัจจัยได้ผล คือ

5.1.3.1 ไม่สามารถนำปัจจัยสภาพพื้นผิวมาสร้างสมการถดถอยได้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กันต่ำ

5.1.3.2 เมื่อวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลปัจจัยระยะการพ่นสี ในลักษณะ Polynomial จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล สามารถแสดงได้รูปแบบของสมการ ดังนี้

$$y = -58.4 + 15.8x_1 - 0.403x_1^2$$

ซึ่ง y แทน พื้นที่การยึดของสี

x แทน ระยะพ่นสีในช่วง 15 – 25 เซนติเมตร

โดยที่สมการการถดถอยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91 ซึ่งแสดงว่าสมการการถดถอยมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับดี และสมการมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาวิธีการทดสอบของการยึดติดของสีอย่างละเอียด เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือทดสอบ มีราคาสูง

5.2.2 ควรทำการศึกษารายละเอียดของการเปลี่ยนสภาพพื้นผิวของเหล็ก โดยใช้ขัดเหล็กด้วยกระดาษทราย เนื่องจากต้องมีเครื่องมือที่ช่วยในการยึดจับชิ้นงานปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการยึดติดของสีเพิ่มเติม

5.2.3 ควรทำการทดลองทดสอบการยึดติดของสีก่อน ว่ามีวิธีใดที่สามารถนำมาใช้ในการทดสอบได้ เนื่องจากบางวิธีไม่สามารถแยกแยะ หรือแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยึดติดของสี

เอกสารอ้างอิง

กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง. (2553). **สถิติวิศวกรรม**. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง**. กรุงเทพฯ : บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

พงษ์ศักดิ์ บุญธรรมกุล. (2543). **เคาะพ่นสีรถยนต์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

อร่าม เริงฤทธิ์. (2524). **งานตัวถังและการพ่นสี**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ โรงพิมพ์เจริญผล.