

# การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณของเสียอันเกิดจากรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

## Parameter Design for Reducing the Defects of the Flow Marks in Plastic Injection Molding Process

เมธี วานิชดี, วลัยชญา สาลีกงชัย, จิราภรณ์ ประดับวงษ์<sup>1</sup>

คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Matee Wanichdee, Walunchaya Saleegongchai, Jiraporn

Pradabwong<sup>1</sup>

Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

E-mail: jiraporn@eng.src.ku.ac.th<sup>1</sup>

Received: January 14, 2020; Revised: June 1, 2020; Accepted: June 10, 2020

### บทคัดย่อ

การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อลดรอยทางน้ำไหลบนชิ้นส่วนฝาเครื่องทำน้ำอุ่นของโรงงานกรณีศึกษา ที่มีของเสียเกิดขึ้นร้อยละ 39.48 จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา คาดว่าอาจมีสาเหตุมาจากวิธีการ คือ แรงดันในการฉีด และระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรที่ใช้งาน จึงทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ ศึกษา 4 ปัจจัยได้แก่ แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 และ ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมดคือ 72 การทดลอง ผลการทดลองแสดงว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 ที่ระดับ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 ที่ระดับร้อยละ 22 ของเครื่องจักร แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 ที่ระดับ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 ที่ระดับร้อยละ 40 ของเครื่องจักร หลังจากการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้จริงพบว่าการเกิดรอยทางไหลลดลงเหลือร้อยละ 3.89

**คำสำคัญ:** การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ การลดของเสีย กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

### ABSTRACT

This research is to study the appropriate parameter to reduce the occurrence of water flow marks on the water heater lid parts of the case study factory, creating

defective rate of 39.48 percent. A fish-bone diagram was utilized to identify the causes of this problem. From the analysis, the causes of the problem might be the injection molding pressure and the injection speed value of the machine. Then, a full factorial design was performed with 4 factors; (i) injection molding pressure stage 2; (ii) injection molding pressure stage 3; (iii) injection speed value of the machine stage 2 and (iv) injection speed value of the machine stage 3. Then, 2 replications of a full factorial design were utilized which provided a total number of 72 experiments. The results showed that the appropriate level of each parameter for injection molding pressure stage 2 and 3 were identified at 140 kg/cm<sup>2</sup> for both; whereas, the injection speed value for machine stage 2 at a level of 22 percent and for machine stage 3 at a level of 40 percent. Applying these appropriate parameters into the production process can reduce the occurrence of water flow marks on the water heater lid parts to 3.89 percent.

**KEYWORDS:** Full Factorial Design, Waste Reduction, Plastic Injection Molding Process

## บทนำ

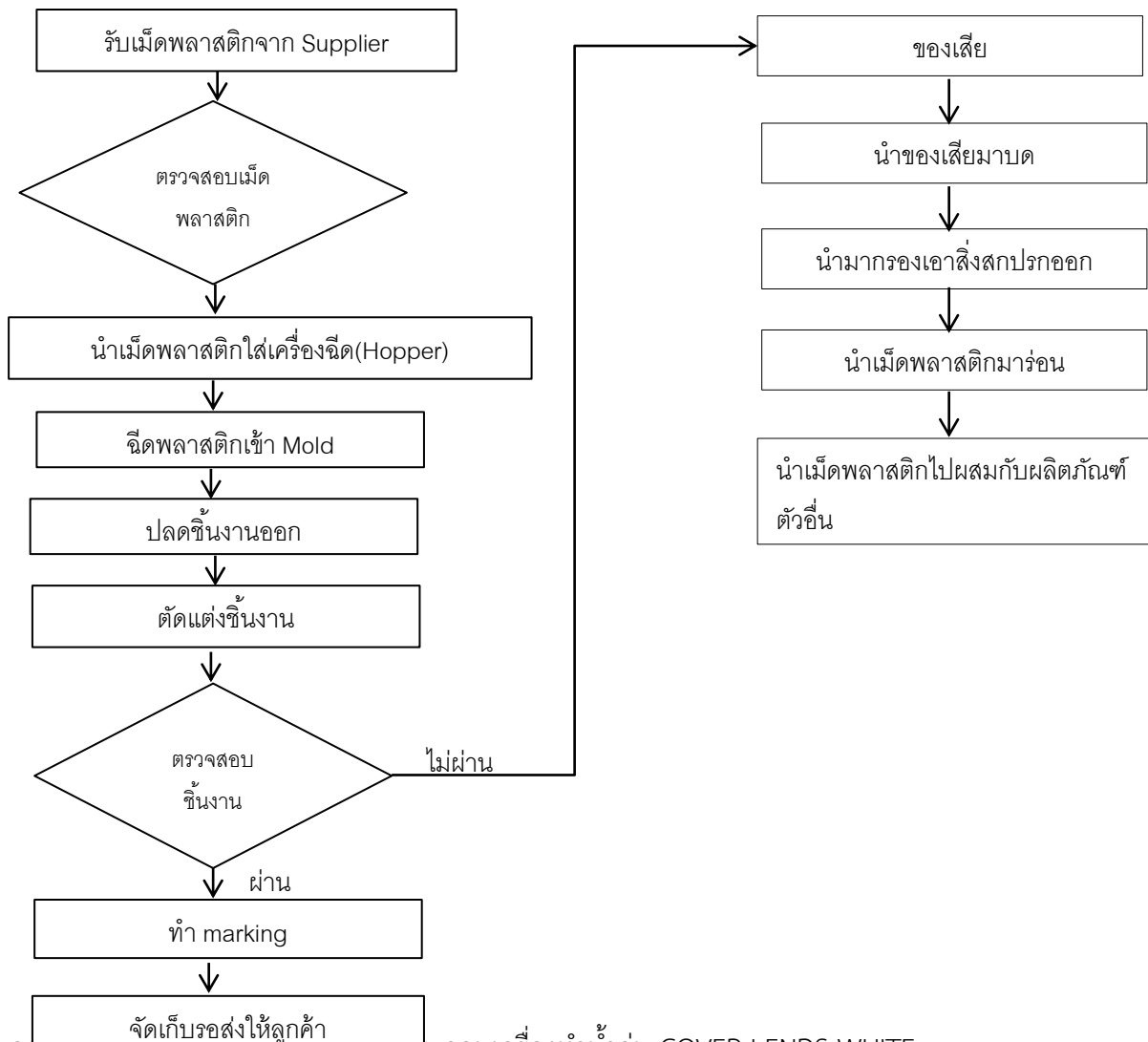
อุตสาหกรรมพลาสติกมีการขยายตัวส่งผลให้ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มีความหลากหลายในเวลาที่จำกัด โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานขนาดใหญ่ สัญชาติไทย (พระราชบัญญัติโรงงาน, 2535) ประกอบด้วยเครื่องจักรเกิน 100 แรงม้า พนักงานทั้งหมด 1,250 คน บริษัทกรณีศึกษาประกอบกิจการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์สำหรับเครื่องทำความเย็น โดยมีผลิตภัณฑ์หลัก 4 ประเภทคือ TRIME PANEL, COVER LENDS WHITE, FRONT PLASTIC และ FRONT PANEL เพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ เช่น Fujitsu,

Electrolux, Shawa และ BEKO ทั้งนี้จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น (มิถุนายน - สิงหาคม 2561) พบว่าผลิตภัณฑ์ TRIME PANEL มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 30.78 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่ไม่สามารถนำมาศึกษาได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้มีแม่พิมพ์ที่เก่าและมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี และด้วยนโยบายของโรงงานกรณีศึกษาไม่มีความสนใจที่จะให้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เพราะปริมาณการสั่งซื้อลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเลือกศึกษาผลิตภัณฑ์ COVER LENDS WHITE ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้มีของเสียมากเป็นอันดับที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 22.69 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด

**ตารางที่ 1** การเกิดของเสียของแต่ละผลิตภัณฑ์ (1 มิ.ย. 2561 ถึง 28 ส.ค. 2561)

ลำดับ	ผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย
1	TRIME PANEL	1,306	402	30.78
2	COVER LENDS WHITE	10,492	2,381	22.69
3	FRONT PLASTIC	15,686	3,254	20.74
4	FRONT PANEL	19,109	3,284	17.19
รวม		46,593	9,467	เฉลี่ย = 23.20%

ผลิตภัณฑ์ COVER LENDS WHITE เป็นชิ้นส่วนฝาประกอบเครื่องทำน้ำอุ่น มีกระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการหลัก ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาประกอบเครื่องทำน้ำอุ่น COVER LENDS WHITE

ที่มา: กระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาประกอบเครื่องทำน้ำอุ่น COVER LENDS WHITE ของบริษัทกรณีสึกษา

1. การตรวจสอบเม็ดพลาสติก โดยจะทำการตรวจสอบวัตถุดิบที่รับมาด้วยสายตา โดยดูจากหีบห่อต้องไม่ชำรุดและจำนวนวัตถุดิบถูกต้องตรงตามที่ระบุในใบสั่งซื้อ

2. กระบวนการหลอมพลาสติก โดยค่าพารามิเตอร์ที่ต้องปรับตั้งในการหลอมพลาสติกคือ อุณหภูมิ ความเร็วรอบสกรู ความดัน ระยะเคลื่อนที่ของสกรู โดยแบ่งช่วงการหลอมพลาสติกออกเป็น 3 ช่วง คือช่วงที่ 1 อุณหภูมิในการหลอมอยู่ในช่วง 180-190 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรู

ร้อยละ 70 ของเครื่องจักร ความดันเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระยะเคลื่อนที่ของสกรูเท่ากับ 45 มิลลิเมตร ช่วงที่ 2 อุณหภูมิในการหลอมอยู่ในช่วง 200-210 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรูร้อยละ 70 ของเครื่องจักร ความดันเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระยะเคลื่อนที่ของสกรูเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และช่วงที่ 3 อุณหภูมิในการหลอมอยู่ในช่วง 220-230 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรูร้อยละ 70 ของเครื่องจักร

ความดันเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระยะเคลื่อนที่ของสกรูเท่ากับ 112 มิลลิเมตร

3. การฉีดขึ้นรูปพลาสติก ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องปรับตั้งที่เกี่ยวข้องในการฉีดพลาสติก คือ ความเร็ว แรงดัน เวลา และระยะทาง โดยแบ่งเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ความเร็วในการฉีดร้อยละ 95 ของเครื่องจักร ความดันเท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 60 มิลลิเมตร ช่วงที่ 2 ความเร็วในการฉีดร้อยละ 32 ของเครื่องจักร ความดันเท่ากับ 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 51.5 มิลลิเมตร ช่วงที่ 3 ความเร็วในการฉีดร้อยละ 50 ของเครื่องจักร ความดันเท่ากับ 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 40 มิลลิเมตร ช่วงที่ 4 ความเร็วในการฉีดร้อยละ 40 ของเครื่องจักร ความดันเท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 24 มิลลิเมตรหลังจากช่วงที่ 4 จะมีการฉีดย้ำด้วยความเร็วในการฉีดร้อยละ 8 ของเครื่องจักร ความดันเท่ากับ 90 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการฉีด 3 วินาที

4. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน พนักงานจะตรวจสอบชิ้นงานหาจุดบกพร่องของ

ชิ้นงานด้วยสายตา เช่น จุดดำ รอยทางไหลพลาสติก แหว่ง รอยขีดข่วน และอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้หากพบว่าชิ้นงานไม่ผ่านการตรวจสอบจะถือว่าเป็นชิ้นงานเสียและไม่สามารถส่งออกจำหน่ายให้กับลูกค้าได้ ซึ่งจะนำไปดแล้วนำไปผสมกับเม็ดพลาสติกเพื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่คุณภาพต่ำกว่า

จากการเก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 3 เดือน (มิถุนายน – สิงหาคม 2561) พบว่ามีอัตราการเกิดของเสียประเภทจุดดำสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 41.62 ดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้ปัญหาจุดดำซึ่งมีอัตราการเกิดของเสียมากที่สุดนั้น ทางบริษัทกำลังอยู่ในระหว่างการดำเนินการแก้ไข ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาแก้ปัญหาของเสียในอันดับรองลงมา คือการเกิดรอยทางน้ำไหลคิดเป็นร้อยละ 39.48 หรือคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียเท่ากับ 37,600 บาทต่อสามเดือน หรือ 12,533.33 บาทต่อเดือน ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญที่ต้องการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ตารางที่ 2 ประเภทและอัตราการเกิดของเสียในการผลิตชิ้นส่วนฝาประกอบเครื่องทำน้ำอุ่น COVER LENDS WHITE (1 มิ.ย. 2561 ถึง 28 ส.ค. 2561)

ลำดับ	ปัญหา	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย	ร้อยละของเสียสะสม	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)
1	จุดดำ	991	41.62	41.62	39,640
2	รอยทางไหลพลาสติก	940	39.48	81.10	37,600
3	แหว่ง	183	7.69	88.79	7,320
4	รอยขีดข่วน	47	1.97	90.76	1,880
5	อื่นๆ (พอง, คราบขาว, รอยไหม้)	220	9.24	100.00	8,800

#### วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ

1. เพื่อหาสาเหตุของการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดย

ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

2. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์และระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกและ

ทำให้การเกิดรอยทางน้ำไหลไม่เกินร้อยละ 5 ตามที่บริษัทกรณีศึกษาสามารถยอมรับได้

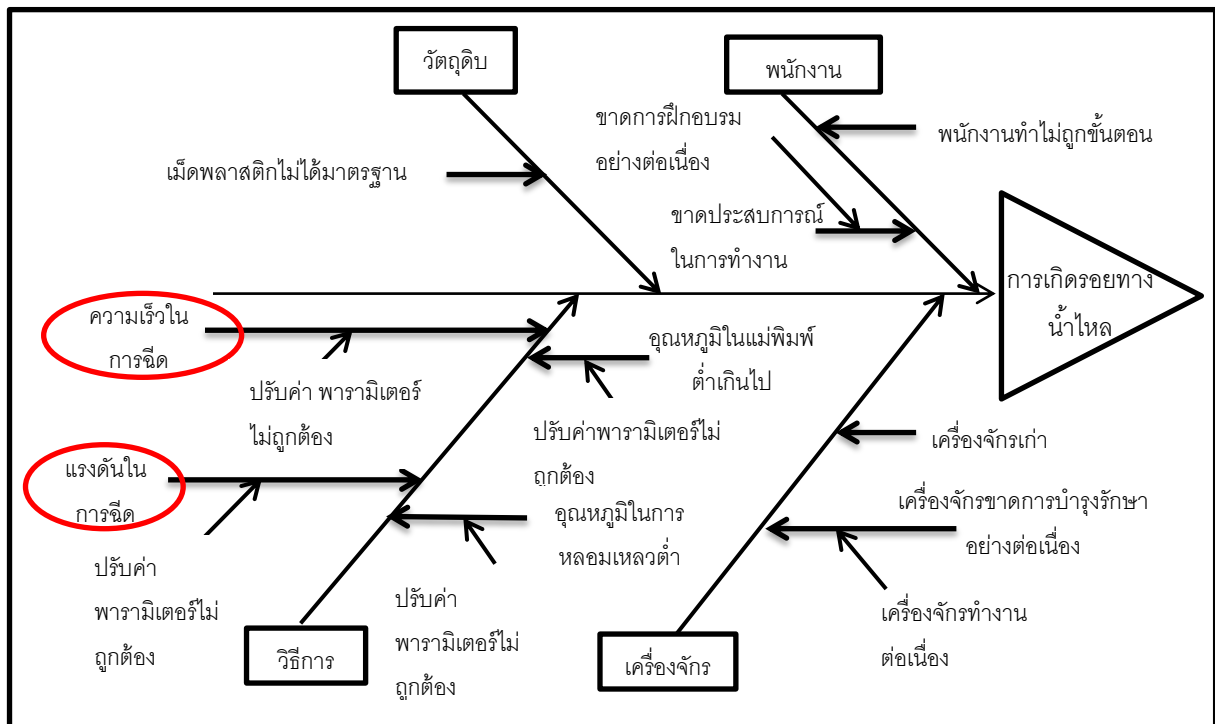
**ประโยชน์ที่ได้รับ**

ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยในครั้งนี้

1. ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต COVER LENDS WHITE
2. ทราบแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต COVER LENDS WHITE เพื่อเป็นมาตรฐานในการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
3. ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ อันเนื่องมาจากการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการผลิต COVER LENDS WHITE ซึ่งทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทกรณีศึกษาได้

**วิธีดำเนินการวิจัย**

จากปัญหาการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก จึงทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยเริ่มจากการระดมสมองจากทีมงานวิศวกรของบริษัทกรณีศึกษา และผู้เกี่ยวข้องในสายการผลิตที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ COVER LENDS WHITE คือเครื่องจักร Injection ขนาด 450 ตัน รุ่น Enaiviv แล้วจึงนำมาสร้างแผนภูมิแก๊งปลา (Fish-Bone Diagram) ดังภาพที่ 2 โดยสามารถจำแนกสาเหตุของปัญหาได้ดังนี้



ภาพที่ 2 แผนภูมิแก๊งปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการผลิต COVER LENDS WHITE

ที่มา: กระบวนการระดมสมองโดยทีมงานวิศวกรและผู้มีประสบการณ์ของโรงงานกรณีศึกษา

1) คน (Man) พนักงานขาดประสบการณ์ในการทำงาน เนื่องจากการปรับเปลี่ยนพนักงาน

บ่อย จึงทำให้พนักงานขาดการฝึกอบรมอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พนักงานขาดความเข้าใจในการ

ทำงานและทำงานข้ามขั้นตอน ทั้งนี้ได้เสนอแนวทางแก้ไขคือทำคู่มือการปฏิบัติงานและจัดอบรมให้พนักงานเพื่อให้มีความเข้าใจในการปฏิบัติงานและเพิ่มพูนความรู้ใหม่ ๆ

2) เครื่องจักร (Machine) เครื่องจักรมีการทำงานตลอดเวลาและขาดการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องทำให้เครื่องจักรมีการเสื่อมสภาพและทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ทั้งนี้ได้เสนอแนวทางแก้ไขคือ ควรมีการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรทุกครั้งก่อนและหลังปฏิบัติงาน และควรจัดทำแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักร

3) วิธีการทำงาน (Method) พนักงานยังไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรโดยเฉพาะค่าพารามิเตอร์ที่มีส่วนสำคัญในการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ต่อไปนี้ คือ

(ก) อุณหภูมิในแม่พิมพ์ต่ำเกินไป ส่งผลให้การไหลของพลาสติกช้าและพลาสติกไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ไม่เต็มชิ้นงาน ดังนั้นจึงทำการเสนอแนะให้มีการตรวจสอบอุณหภูมิในแม่พิมพ์อย่างสม่ำเสมอ อาจต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ด้วยการใช้เครื่องทำน้ำร้อนหรือทำการปิดหรือรีวาล์วน้ำลงแม่พิมพ์

(ข) อุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำ เนื่องจากการตั้งอุณหภูมิเครื่องทำความร้อน (Heater) ต่ำ และใช้ความเร็วรอบสกรูช้าทำให้พลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ไหลช้าเกินไป ทำให้มองเห็นรอยต่อระหว่างพลาสติกร้อนกับเย็นได้ชัดเจนมากขึ้น ดังนั้นจึงทำการเสนอแนะให้มีการตรวจสอบอุณหภูมิในการหลอมเหลวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและเพื่อให้พลาสติกไหลเข้าสู่ชิ้นงานได้อย่างเต็มแม่พิมพ์

(ค) ความดันในการฉีด เป็นแรงที่นำพาพลาสติกเหลวเคลื่อนที่ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการไหลของพลาสติก ถ้าความดันมากหรือน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดรอยทางไหลพลาสติกได้ ดังนั้นจึงควรมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับพนักงานในการปรับตั้งเครื่องจักร

(ง) ความเร็วในการฉีด เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของพลาสติกเหลวซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับความดันในการฉีดพลาสติก ถ้าความดันมากหรือ

น้อยเกินไปจะทำให้เกิดรอยทางน้ำไหลพลาสติกได้ ดังนั้นจึงควรมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับพนักงานในการปรับตั้งเครื่องจักร

4) วัตถุดิบ (Material) เม็ดพลาสติกที่รับมาไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งอาจเกิดจากหีบห่อมีการชำรุดฉีกขาดหรือจำนวนวัตถุดิบที่รับมาไม่ตรงตามที่ระบุในใบสั่งซื้อ ทั้งนี้ได้ทำการเสนอแนวทางแก้ไขคือ ควรทำการขอใบ **Certificate of Analysis (COA)** และผลการทดสอบค่า **Melt Flow Index Test** ของเม็ดพลาสติกจากบริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติก เพื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกให้ได้ตรงตามมาตรฐาน

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยการระดมสมองร่วมกับทีมวิศวกรฝ่ายผลิต พบว่ามี 2 สาเหตุหลัก คือแรงดันและความเร็วในการฉีดพลาสติก เนื่องจากต้องทำงานควบคู่กันเพื่อควบคุมการไหลของพลาสติกเหลวเข้าสู่พื้นผิวแม่พิมพ์ต่างระดับ หากแรงดันและความเร็วในการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ไม่เหมาะสมก็จะเป็นสาเหตุของการเกิดรอยทางน้ำไหลได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการฉีดพลาสติกนั้นจะต้องใช้แรงดันและระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรสูงกว่าช่วงอื่นๆ เพื่อให้พลาสติกไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ จากนั้นควรจะต้องทำการลดระดับค่าความเร็วของเครื่องจักร เพื่อลดแรงปะทะระหว่างพลาสติกเหลวกับพื้นผิวแม่พิมพ์ ทั้งนี้ยังตั้งข้อสังเกตว่าปัญหาการเกิดรอยทางน้ำไหลน่าจะมีสาเหตุมาจากการปรับตั้งค่าแรงดันและระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในช่วงที่ 2 และ 3 ที่ไม่สัมพันธ์กัน โดยการปรับตั้งค่าแรงดันและความเร็วในการฉีดพลาสติกที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังสรุปในตารางที่ 3

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกจำนวน 4 ปัจจัย คือ (1) แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2; (2) แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3; (3) ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 และ (4) ความเร็วในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3

**ตารางที่ 3** ค่าพารามิเตอร์เดิมของบริษัทกรณีศึกษา

สาเหตุหลัก	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	มาตรฐานที่ยอมรับได้	หน่วย
1. แรงดันในการฉีดพลาสติก	120	130	130	120	± 10	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2. ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติก	95	32	50	40	± 10	ร้อยละของเครื่องจักร

**ที่มา:** พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาประกอบเครื่องทำน้ำอุ่น COVER LENDS WHITE ของบริษัทกรณีศึกษา

โดยการกำหนดระดับของปัจจัยเพื่อทำการทดลองจะอ้างอิงจากเอกสาร Condition STD ของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดการปรับตั้งเครื่องจักรแต่ละรุ่น ดังนี้

(1) แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 ปัจจุบันโรงงานกำหนดระดับของแรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 อยู่ที่ 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งในการปรับตั้งระดับจะต้องอยู่ในช่วง 120-140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ คือ (ก) 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ระดับต่ำ) (ข) 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ระดับกลาง) และ (ค) 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ระดับสูง)

(2) แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 ปัจจุบันโรงงานกำหนดระดับของแรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 อยู่ที่ 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งในการปรับตั้งระดับจะต้องอยู่ในช่วง 120-140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นจึงทำการแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับดังนี้ (ก) 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ระดับต่ำ) (ข) 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ระดับกลาง) และ (ค) 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ระดับสูง)

(3) ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 ปัจจุบันโรงงานกำหนด

ระดับของความเร็วในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 อยู่ที่ร้อยละ 32 ของเครื่องจักร ซึ่งในการปรับตั้งระดับจะต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 22 - 42 ของเครื่องจักร ทั้งนี้จากการระดมสมองกับทีมวิศวกรผู้เกี่ยวข้องพบว่าหากปรับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 สูงเกินไปอาจส่งผลต่อการเกิดรอยทางน้ำไหลได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาโดยทำการแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 2 ระดับดังนี้ (ก) ร้อยละ 22 ของเครื่องจักร (ระดับต่ำ) และ (ข) ร้อยละ 32 ของเครื่องจักร (ระดับสูง)

(4) ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติก ช่วงที่ 3 ในปัจจุบันทางโรงงานกำหนดระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติก ช่วงที่ 3 อยู่ที่ร้อยละ 50 ของเครื่องจักร ซึ่งในการปรับตั้งระดับจะต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 40 - 60 ของเครื่องจักร ดังนั้นจึงทำการศึกษา 2 ระดับดังนี้ (ก) ร้อยละ 40 ของเครื่องจักร (ระดับต่ำ) และ (ข) ร้อยละ 50 ของเครื่องจักร (ระดับสูง) ภายใต้อธิบายจากการระดมสมองว่าควรปรับตั้งระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติก ช่วงที่ 3 ให้ต่ำลง เพื่อลดแรงปะทะระหว่างพลาสติกเหลวกับพื้นผิวแม่พิมพ์ ดังนั้นสามารถสรุปจำนวนปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษาได้ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา

ปัจจัย	ค่ามาตรฐานที่	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย	หน่วย
--------	---------------	-----------	----------------	-------

			ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง	
1. แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2	130±10	A	120	130	140	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2. แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3	130±10	B	120	130	140	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
3. ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2	32±10	C	22	-	32	ร้อยละของเครื่องจักร
4. ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3	50±10	D	40	-	50	ร้อยละของเครื่องจักร

จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) เนื่องจากสามารถศึกษาได้หลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) ซึ่งจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยนั้นจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของปัจจัย โดยถ้าเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษาอย่างละเอียดหรือปัจจัยวิกฤติที่จะใช้จำนวนระดับในการศึกษามากขึ้นตามลำดับ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

ทั้งนี้ม้งานวิจัยจำนวนมากที่ได้ทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบเพื่อหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสม (เช่น เกียรติศักดิ์ ธรรมเสมา, 2553; พรรณสิริ คำปิตะ และ อรไท ทวีผล, 2554; มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ และ พชร หงษาครประเสริฐ, 2556; Kim, Park, Suh, & Koo, 2017; Pholchan, Pradabwong, & Chansri, 2018; Radhwan, Nasir, Rashidi, Kamarudin, & Abdellah, 2019)

กลวัชร อยู่เจริญ (2555) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแม่สีเม็ดสีพลาสติก เนื่องจากได้เม็ดสีไม่ตรงตามกำหนด โดยทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ปัจจัย 3 ระดับ พบว่าผลกระทบร่วมระหว่างความร้อนกับความเร็ว

สกรู, ความร้อนกับอัตราการป้อน, และความเร็วสกรูกับอัตราการป้อนมีผลต่อเฉดสีของเม็ดพลาสติก

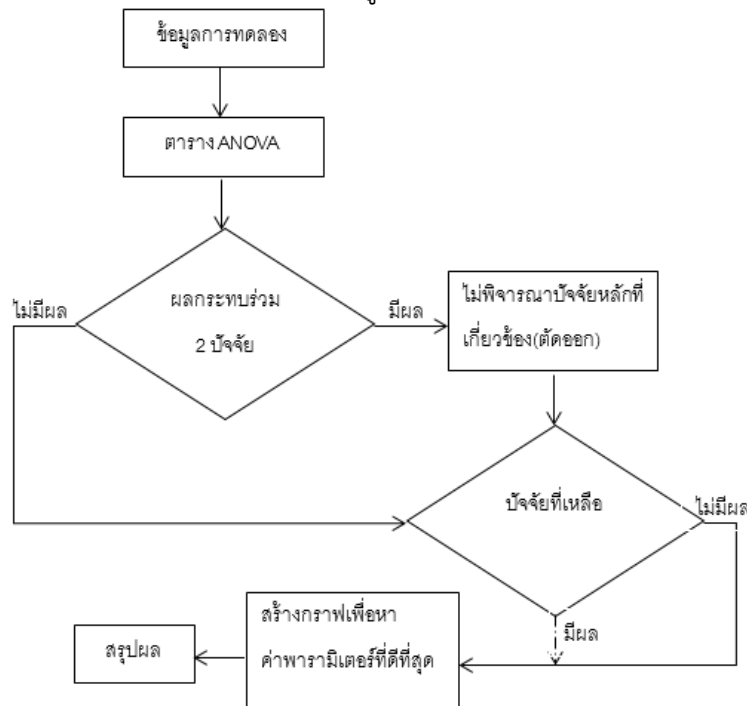
ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงชนะ (2556) ได้ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ โดยใช้แผนภาพก้างปลาในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ พบว่าหลังจากการทดลองสามารถลดปริมาณของเสียได้ร้อยละ 98.80

ภักจิรา พิงสุข และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์ (2554) ศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกกรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องซักผ้า พบว่ามีของเสียประเภทฟองอากาศบริเวณผิวชิ้นงานเกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ 4.29 จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้การวิเคราะห์ ทำไม่-ทำไม เพื่อกำหนดปัจจัย แล้วจึงทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฟองอากาศบริเวณผิวชิ้นงานคือความเร็วในกระบอกสูบช่วงที่ 1 ช่วงที่ 2 ช่วงที่ 3 และอุณหภูมิบริเวณแม่พิมพ์ หลังจากปรับปรุงทำให้สัดส่วนของเสียลดลงเหลือเพียงร้อยละ 2.02



กระบวนการวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลด้วยการออกแบบการทดลอง (ที่มา: ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะสามารถทำได้เมื่อมีการทดสอบข้อสมมติเกี่ยวกับค่าผิดพลาดก่อน ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อสมมติทั้ง 4 นี้ดังนี้

- (1) ค่าความผิดพลาด ( $\epsilon$ ) มีการแจกแจงปกติ
- (2)  $E(\epsilon_{ij}) = 0$  (ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดเท่ากับ 0)
- (3)  $V(\epsilon_{ij}) = \sigma^2$  (ค่าความแปรปรวนของค่าผิดพลาดมีค่าคงที่) และ
- (4) ค่าความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้น ต้องทำการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยก่อนเสมอ และถ้าผลกระทบร่วมของปัจจัยมีผลต่อค่าตอบสนองในทางทฤษฎีจะไม่ทำการวิเคราะห์ผลกระทบหลักที่เกี่ยวข้อง และในการวิเคราะห์ข้อมูลจะให้ความสำคัญกับผลกระทบร่วมสองปัจจัย และผลกระทบหลัก ทั้งนี้ผลกระทบร่วมระหว่างสาม

ปัจจัยขึ้นไปจะไม่ทำการพิจารณา เนื่องจากในทางทฤษฎีถือว่าผลกระทบร่วมระหว่างสามปัจจัยขึ้นไปมีค่าน้อยมาก (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551; Montgomery, 2009)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยทำการศึกษาที่ 2 และ 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เนื่องจากข้อจำกัดด้านต้นทุนและระยะเวลาในการทดลอง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ ระดับปัจจัย \* จำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ ( $3^2 * 2^2 * 2$ ) เท่ากับ 72 การทดลอง

จากนั้นจึงทำการทดลองโดยปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามที่ได้ออกแบบไว้ที่ละการทดลอง และทำการบันทึกข้อมูล โดยในแต่ละการทดลอง จะทำการเก็บข้อมูลจากชิ้นงานจำนวน 30 ชิ้น และทำการบันทึกข้อมูลจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยทางน้ำไหล (ค่าตอบสนอง: Y) โดยทำการทดลองแบบสุ่ม เพื่อลดอคติที่อาจเกิดขึ้น (ประไพศรี

สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) ในแต่ละการทดลองจะใช้เวลาทำการทดลองและตรวจสอบประมาณ 40-60 นาที โดยพนักงานจะตรวจสอบชิ้นงานทุกชิ้นด้วยสายตามาตามาตรฐานการตรวจสอบชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา

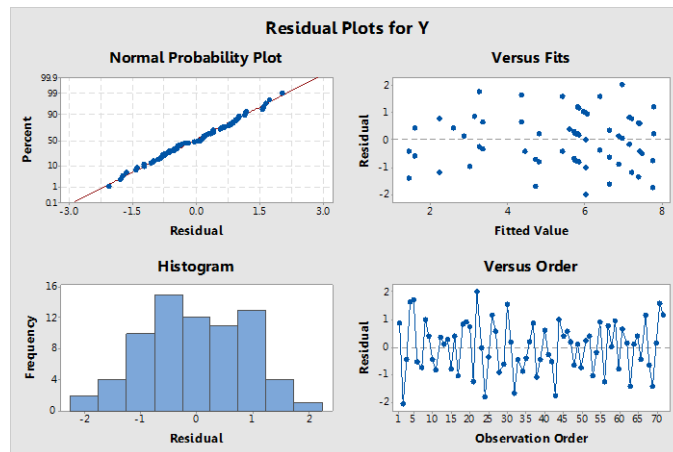
### การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากที่เก็บข้อมูลแล้วจึงนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 ผลการตรวจสอบข้อสมมติของค่าความผิดพลาด (Residuals) แสดงดังภาพที่ 4 พบว่ารูปแบบของค่าความผิดพลาด

เป็นไปตามเงื่อนไข  $\varepsilon \sim NID(0, \sigma^2)$  ดังนั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 5 โดยกำหนดการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) พบว่าค่า R-Sq(adj) = 72.22% แสดงว่าปัจจัยที่เลือกมาทำการศึกษสามารถอธิบายค่าตอบสนองได้คิดเป็นร้อยละ 72.22 โดยพบว่าผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยมีผลต่อค่าตอบสนอง ดังนี้

(ก) ผลกระทบร่วมระหว่างแรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 (A) กับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 (C) เนื่องจากค่า P-value = 0.000 ( $< \alpha$ )



ภาพที่ 4 การ  
ผิดพลาดในการประมาณค่า

ทดสอบค่าความ

(ข) ผลกระทบร่วมระหว่างแรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 (B) กับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 (D) เนื่องจากค่า P-value = 0.011 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05

(ค) ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 (C) กับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 (D) ด้วยค่า P-value = 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงไม่ทำการพิจารณาผลกระทบหลักของแต่ละปัจจัย

### ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

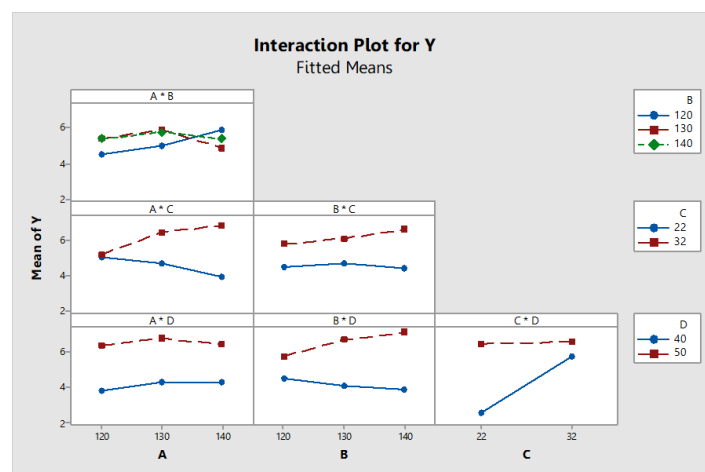
General Factorial Regression: Y versus A, B, C, D						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
A	3	120, 130, 140				
B	3	120, 130, 140				
C	2	22, 32				
D	2	40, 50				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	

Model	19	237.361	12.4927	10.71	0.000
Linear	6	149.056	24.8426	21.30	0.000
A	2	2.583	1.2917	1.11	0.338
B	2	1.750	0.8750	0.75	0.477
C	1	46.722	46.7222	40.07	0.000
D	1	98.000	98.0000	84.04	0.000
2-Way Interactions	13	88.306	6.7927	5.83	0.000
A*B	4	9.917	2.4792	2.13	0.091
<b>A*C</b>	<b>2</b>	<b>22.861</b>	<b>11.4306</b>	<b>9.80</b>	<b>0.000</b>
A*D	2	0.583	0.2917	0.25	0.780
B*C	2	2.861	1.4306	1.23	0.302
<b>B*D</b>	<b>2</b>	<b>11.583</b>	<b>5.7917</b>	<b>4.97</b>	<b>0.011</b>
<b>C*D</b>	<b>1</b>	<b>40.500</b>	<b>40.5000</b>	<b>34.73</b>	<b>0.000</b>
Error	52	60.639	1.1661		
Lack-of-Fit	16	36.639	2.2899	3.43	0.001
Pure Error	36	24.000	0.6667		
Total	71	298.000			
Model Summary					
S	1.07988				
R-sq	79.65%				
R-sq(adj)	72.22%				
R-sq(pred)	60.99%				

\*DF = Degree of freedom, Adj SS = Adjust Sum Square, Adj MS = Adjust Mean Square

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหา  
ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต  
ผลิตภัณฑ์ COVER LENDS WHITE โดยพิจารณา

กราฟผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยดังแสดงในภาพ  
ที่ 5 และตารางที่ 6



ภาพที่ 5 กราฟผลกระทบร่วมของปัจจัย

สามารถสรุปได้ว่าเพื่อให้การเกิดรอยทาง  
ไหลพลาสติกบนชิ้นงานน้อยที่สุด ควรปรับตั้ง  
ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ (ก) แรงดันในการฉีดพลาสติก  
ช่วงที่ 2 (A) ที่ระดับ 140 กิโลกรัมต่อตาราง  
เซนติเมตร (ข) แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3  
(B) ที่ระดับ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ค)

ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติก  
ช่วงที่ 2 (C) ที่ระดับร้อยละ 22 ของเครื่องจักร  
และ (ง) ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีด  
พลาสติกช่วงที่ 3 (D) ที่ระดับร้อยละ 40 ของ  
เครื่องจักร

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของผลกระทบร่วมสองปัจจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ	Mean	SE Mean
แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 กับระดับค่า	A*C	120 22	5.000	0.3117

ความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2		120 32	5.167	0.3117
		130 22	4.667	0.3117
		130 32	6.417	0.3117
		<b>140 22</b>	<b>3.917</b>	<b>0.3117</b>
		140 32	6.833	0.3117
แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 กับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3	B*D	120 40	4.500	0.3117
		120 50	5.750	0.3117
		130 40	4.083	0.3117
		130 50	6.667	0.3117
		<b>140 40</b>	<b>3.917</b>	<b>0.3117</b>
		140 50	7.083	0.3117
ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 กับความเร็วในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3	C*D	<b>22 40</b>	<b>2.611</b>	<b>0.2545</b>
		22 50	6.444	0.2545
		32 40	5.722	0.2545
		32 50	6.556	0.2545

จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง ใช้จำนวนชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบทั้งหมดจำนวน 900 ชิ้น (30 ชิ้นงานต่อการทดลอง) แล้วบันทึกข้อมูลจำนวนชิ้นงานที่มีรอยทางน้ำไหล เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าเมื่อปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นแล้ว จะส่งผลให้จำนวนชิ้นงานที่มีรอยทางน้ำไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

จากการเก็บข้อมูลพบว่าจำนวนชิ้นงานที่มีรอยทางน้ำไหลมีจำนวน 35 ชิ้น ดังนั้นสามารถตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยทางไหลพลาสติกมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

$H_0$ : สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยทางไหลพลาสติกน้อยกว่าเท่ากับ 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

$H_1$ : สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยทางไหลพลาสติกมากกว่า 0.05 ( $P > 0.05$ )

$$\hat{p} = \frac{\sum x}{\sum n} = \frac{35}{900} = 0.038$$

เนื่องจากในการหาช่วงความเชื่อมั่นของสัดส่วนประชากรเดียว มีข้อกำหนดว่า  $np \geq 5$  และ  $nq \geq 5$  โดยสถิติที่ใช้ทดสอบคือ  $Z$  โดยที่

$$Z = \frac{\hat{p} - P}{\sqrt{\frac{Pq}{n}}} = \frac{0.0388 - 0.05}{\sqrt{\frac{0.05(0.95)}{900}}} = -1.54$$

เนื่องจาก  $Z = -1.54 < 1.645$  ไม่ตกอยู่ในอาณาเขตวิกฤต จึงไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยทางน้ำไหลมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งตรงตามเป้าหมายที่บริษัทกรณีศึกษายอมรับได้

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียที่เกิดจากรอยทางน้ำไหลก่อนและหลังทำการทดลองพบว่าของเสียที่เกิดจากรอยทางน้ำไหลลดลงคิดเป็นร้อยละ 35.591 หรือคิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงเท่ากับ 11,133.33 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 133,600 บาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยทางน้ำไหลก่อนและหลังทำการทดลอง

หัวข้อ	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ผลต่าง
--------	--------------	--------------	--------

ร้อยละของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยทางน้ำไหล	39.48	3.889	35.591
มูลค่าสูญเสีย (บาทต่อเดือน)	12,533.33	1,400	11,133.33

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาสาเหตุของการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยทางน้ำไหลและหาค่าพารามิเตอร์และระดับปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาการเกิดรอยทางน้ำไหลบนชิ้นงาน โดยเริ่มจากการระดมสมองวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ทำการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 4 ปัจจัยและทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยจำนวนการทดลองเท่ากับ 72 การทดลอง แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab 17 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Y) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ

(ก) ผลกระทบร่วมระหว่างแรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 กับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2

(ข) ผลกระทบร่วมระหว่างแรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 กับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3

(ค) ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 กับระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกคือ ก) แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 ที่ระดับ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ข) แรงดันในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 ที่ระดับ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค) ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 2 ที่ระดับร้อยละ 22 ของเครื่องจักร และ ง) ระดับค่าความเร็วของเครื่องจักรในการฉีดพลาสติกช่วงที่ 3 ที่ระดับร้อยละ 40 ของเครื่องจักร

### เอกสารอ้างอิง

จากการยืนยันผลการทดลองโดยการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังกล่าวไปใช้จริงพบว่าของเสียที่เกิดจากรอยทางน้ำไหลลดลงเหลือร้อยละ 3.889 จากการทดสอบสมมติฐานสามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากรอยทางน้ำไหลมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือของเสียที่เกิดจากรอยทางน้ำไหลไม่เกินร้อยละ 5 และอยู่ในเป้าหมายที่บริษัทกรณีศึกษายอมรับได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบของเสียที่เกิดจากรอยทางน้ำไหลก่อนและหลังการทดลองพบว่าของเสียที่เกิดจากรอยทางน้ำไหลลดลงคิดเป็นร้อยละ 35.591 หรือคิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงเท่ากับ 133,600 บาทต่อปี

### ข้อเสนอแนะ

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยทางน้ำไหลบนชิ้นงานในการกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกนี้ได้นำความรู้เชิงสถิติและการออกแบบพารามิเตอร์มาประยุกต์ใช้ เพื่อปรับปรุงกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการเกิดรอยทางน้ำไหลของผลิตภัณฑ์ โดยผลจากการทดลองของผู้วิจัยสามารถนำไปแก้ปัญหาได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพกับบริษัทกรณีศึกษา แต่สำหรับบริษัทอื่นๆ ที่ประสบปัญหาเช่นเดียวกัน มีการใช้เครื่องจักรในการผลิตตลอดจนมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างกันไปจากบริษัทกรณีศึกษาแล้วทางบริษัทอื่นๆ อาจจำเป็นต้องพิจารณานำเงื่อนไขและสถานะอื่นๆ มาใช้ประกอบในการวิเคราะห์ด้วย

- กลวัชร อยู่เจริญ. (2555). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแม่สีเม็ดพลาสติก* (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- เกียรติศักดิ์ ธรรมเสมา. (2553). *การวิเคราะห์เพื่อหาพารามิเตอร์งานฉีดที่เหมาะสมของพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีนซีเมทิลีนที่มีผลต่อขนาดของชิ้นงานฉีดโดยการออกแบบการทดลองและการจำลองการไหลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์* (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงชนะ.(2556). การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 3(2), 73-95.
- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). *การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535. (2535). *ราชกิจจานุเบกษา* 109 ตอนที่ 37วันที่ 4 เมษายน 2535.
- พรรณสิริ คำปิตะ และ อรไท ทวีผล. (2554). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเชื่อมของแขนหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มผลิตภาพ* (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ และ พชร หงษาครประเสริฐ. (2556). การลดของเสียในโรงงานผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถแทรกเตอร์โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. *นเรศวรวิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ ครั้งที่ 12* (น. 318-329). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ภาคจิรา พิงสุข และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์. (2554). การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องซักผ้า. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราช มงคลธัญบุรี*, 10(1), 589-593.
- Kim, K.H., Park, J.C., Suh, Y.S. and Koo, B.H.(2017). Interactive robust optimal design of plastic injection products with minimum weldlines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88, 1333-1344.
- Montgomery D.C. (2009). *Design and Analysis of Experiments* (7th ed). The United States of America: John Wiley & Sons, INC.
- Pholchan, K., Pradabwong, J., and Chansri, N. (2018). Parameter design and optimization of paint fineness in the grinding process at *Proceeding of the 19th Asia Pacific Industrial Engineering And Management Systems (APIEMS 2018)* (pp. 154-201), Hong Kong, 5th - 8th Dec.
- Radhwan, H., Nasir, S.M., Rashidi, M.M., Kamarudin, K., and Abdellah, A. (2019). Optimization Parameters to reduce the Warpage Defect of Plastic Injection Molding Process for A Thin-Shell Part Using Design of Experiment. *IOP Conference Series: Material Science and Engineering* (pp. 1-6).