

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับ ชิ้นส่วนยานยนต์ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง Defects Reduction in the process of automotive injection plastic part by using Design of Experiment (DOE)

ปฐมพงษ์ หอมศรี¹ และ จักรพรรณ คงชนะ²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตในงานฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding โดยใช้หลักการทางสถิติมาช่วยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เข้ามาอธิบายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อทำการปรับปรุง สภาพปัญหาของโรงงานก่อนดำเนินการแก้ไขมีของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (มีขนาดโตกว่ากำหนด) ซึ่งส่งผลกระทบต่อโรงงานอย่างมากในด้านค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น การวิจัยจึงเริ่มดำเนินการจากวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภาพสาเหตุและผลของงานที่มีปริมาณของเสียมากที่สุดแล้วจึงทำการคัดเลือกปัจจัย เพื่อนำปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมาก 3 อันดับแรกมาทำการพิจารณาจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบพบว่าปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมากอยู่ในส่วนของวิธีการได้แก่ แรงดันย่ำ (Holding pressure), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และ รอบการทำงาน (Cycle Time) แล้วจึงนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยเหล่านั้นโดยใช้การออกแบบ 2^k Factorial Design จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงานทั้งแบบ Main Effect และ Interaction จากนั้นจึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของโรงงานในเรื่องของของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (มีขนาดโตกว่ากำหนด) โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแล้วดำเนินการผลิตพบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้จากเดิมร้อยละ 39.05 ลดลงมาเป็นร้อยละ 2.78 จากการตั้งเป้าหมายในการลดของเสียลง 50% ตามนโยบายของบริษัท จากผลที่ได้เนื่องมาจากในปัจจัยเรื่อง Mold Temperature การทดลองใช้ค่า 45°C มีค่าสูงจากเดิมส่งผลให้เกิดโครงสร้างผลิตภัณฑ์มีโอกาสในการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้ขนาดลดลง ในส่วน

¹ วิศวกรอาวุโสประจำ บริษัท ฟอร์ด มอเตอร์ คัมปะนี (ประเทศไทย) จำกัด

² กรรมการผู้จัดการบริษัท JK Consultant Group จำกัด

ปัจจัยเรื่อง Cycle Time ใช้ค่า 32 วินาทีซึ่งมีค่าลดลง มีผลให้ชิ้นงานถูกเอาออกจากแม่พิมพ์เร็วขึ้น ทำให้สามารถเย็นตัวนอกแม่พิมพ์ได้มาก ทำให้ชิ้นงานสามารถหดตัวได้เพิ่มขึ้นและปัจจัยเรื่อง Holding Pressure ใช้ค่า 10MPa เนื่องจาก Holding Pressure เป็นการเพิ่มมวลให้กับชิ้นงานจึงควรมีค่าต่ำเพื่อให้มวลของชิ้นงานลดลง

คำสำคัญ: กระบวนการฉีดพลาสติก, ขนาดไม่ได้มาตรฐาน, การออกแบบการทดลอง

Abstract

The objective of this research is to reduce the amount of Injection Molding defects. Statistical principles are applied to analyze causal factors that affect product's quality. In addition, before beginning the research, the problems about large, non-standard shape defects which affected production costs are the main problem for the factory. The research is conducted by using Cause and Effect Diagram to analyze the causes to determine the most 3 critical factors for further analysis. The FMEA is consequently used to identify the first three importance factors; holding pressure, mold temperature, and cycle time. Those factors are used in designing the experiment with 2^k Factorial Design to test them if affect this problem significantly. Finally, the factors considered are adjusted to decrease the defects. The result from the research reveals that those factors affect to the problem by both main effect and interaction among the factors. After adjusting the factors, the amount of defects has reduced from 39.05 percent to 2.78 percent follow objective target 50% refer company policy. It can be explained when mold temperature is higher, it allows the product to generate more crystal structure opportunity to reducing size. In terms of Cycle Time, the shorter cycle time is forced the product to cool down outside the mold and promote more shrinkage. Lastly, low Holding Pressure would lower the product's mass. The experiment showed that Mold temperature is 45 degree Celsius, Cycle time is 32 second and holding pressure is 10 Mpa would be the most appropriate for this case.

Keywords: Injection Molding Process, Non-standard Size, Design of Experiment (DOE)

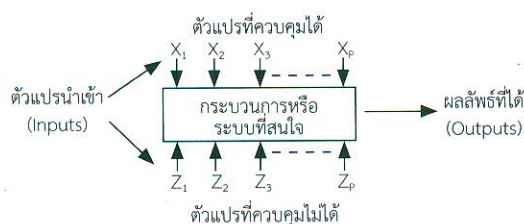
1. บทนำ

จากผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ [6] ไตรมาสที่ 2/2555 ที่ผ่านมา ภาคการผลิตสาขา อุตสาหกรรมปรับตัวดีขึ้น ขยายตัวร้อยละ 5.0 จากที่หดตัวร้อยละ 4.3 ในไตรมาสที่แล้ว เป็นผลจากการฟื้นตัวของโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาน้ำท่วมเมื่อปลายปีที่ผ่านมา การใช้กำลังการผลิตกลับสู่ภาวะปกติ มีการเร่งการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการ และคำสั่งซื้อที่ยังคงตกค้างจากในช่วงอุทกภัยที่ผ่านมา โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นผลมาจากการผลิตอุตสาหกรรมยานยนต์ขยายตัวสูง เพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศที่ขยายตัวสูงขึ้นจากนโยบายรถยนต์คันแรกของรัฐบาล และคำสั่งซื้อจากต่างประเทศที่ยังคงขยายตัว อุตสาหกรรมฉีดยาพลาสติกถือเป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว อีกทั้งชิ้นส่วนยานยนต์ปัจจุบันหันมาทำเป็นพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุทางเลือกที่ยังคงใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เพิ่มมากขึ้น โรงงานที่เป็นกรณีศึกษาถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ฉีดพลาสติกที่ผลิตและจำหน่ายให้กับ OEM (Original Equipment Manufacturer) และผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบยานยนต์ต่าง ๆ ที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานของกระบวนการผลิตรถยนต์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยผู้บริหารถือหุ้นโดยคนไทย 100% ปัจจุบันโรงงานที่เป็นกรณีศึกษากำลังประสบปัญหาเรื่องการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่ง

ที่จะต้องทำการตรวจสอบสาเหตุและดำเนินการแก้ไข เพราะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น และถ้าหากว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพส่งออกไปถึงมือลูกค้าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถประกอบได้และส่งผลกระทบต่อหน้าที่การใช้งานของชิ้นส่วนในอนาคตอีก และที่สำคัญลูกค้าจะเอาปัญหาที่เกิดขึ้นมาใช้ในการตัดสินใจกับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ปัจจุบันการออกแบบการทดลองถูกนำมาใช้กันในการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง [2] คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variable) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Out puts or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factor) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้ (Design Variable or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables Factors) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ
ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

เทคนิคการออกแบบการทดลองถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ งานวิจัย ได้แก่

ปิยะพงษ์[1] ทำการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองสามารถลดของเสียลง 9.82 เปอร์เซ็นต์

อภิชาติ[3] ทำการศึกษาการลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก พบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงานทั้งแบบ Main Effect และ Interaction จึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในเรื่องของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (มีขนาดโตกว่ากำหนด) โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแล้วดำเนินการผลิตพบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้จากเดิมร้อยละ 37.42 ลดลงมาเป็นร้อยละ 2 ผลที่ได้จากปัจจัยเรื่อง Mold Temperature การทดลองใช้ค่า 75°C มีค่าสูงส่งผลให้เกิดโครงสร้างผลิตภัณฑ์มีโอกาสในการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้ขนาดลดลง ในส่วนปัจจัยเรื่อง Cycle Time ใช้ค่า 22 วินาทีซึ่งมีค่าลดลง มีผลให้ชิ้นงานถูกเอาออกจากแม่พิมพ์เร็วขึ้น ทำให้ชิ้นงานสามารถหดตัวได้เพิ่มขึ้นและปัจจัยเรื่อง Holding Pressure ใช้ค่า 10MPa

เนื่องจาก Holding Pressure เป็นการเพิ่มมวลให้กับชิ้นงานจึงควรมีค่าต่ำเพื่อให้มวลของชิ้นงานลดลง

โสภิตา[4] ทำการศึกษาการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง พบว่า ในกระบวนการผลิตพลาสติกพีวีซีแผ่นมีปริมาณของเสียประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 54.66 เปอร์เซ็นต์ ของปัญหาของเสียทั้งหมด ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,561,716 บาทต่อปี ทำให้เกิดการเก็บผลิตภัณฑ์เข้าคลังเพื่อรอการนำกลับมาผลิตใหม่ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มมากขึ้น การประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ และเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง พบว่า ที่อุณหภูมิในการหลอม PVC Compound ที่ Mixing Rolls 180 องศาเซลเซียส และปริมาณเศษพีวีซีแผ่นที่นำกลับมาหลอมใหม่ที่ Mixing Rolls 30 กิโลกรัม/Batch จะทำให้ค่าจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 1 ตารางเมตร อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ ไม่เกิน 10 จุดต่อตารางเมตร ทำให้สามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายลงได้ที่ 73.08 เปอร์เซ็นต์

2.2 การทดลองแฟกทอเรียล [5] คือ การทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบแผนการทดลองเนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัย

ได้หลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย หรือที่เรียกว่า อันตรกิริยา (Interactions) เช่น กรณีศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปัจจัย A, B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.2.1 ผลกระทบหลัก หรือผลกระทบปัจจัยเดียว (Main Effects) คือ ผลกระทบที่กรณีที่น่าสนใจพิจารณาปัจจัยเดียว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C

2.2.2 ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factor or 2-ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกัน ในที่นี้ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC

2.3 การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว (Completed Randomized Design ; CRD หรือ One-Way ANOVA) [1] คือ เป็นการสนใจศึกษาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว ซึ่งจำนวนระดับที่น่าสนใจศึกษาของปัจจัยนี้เท่ากับ a ระดับ เพื่อดูว่าระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง (Y 's ; Response) อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่อย่างไร

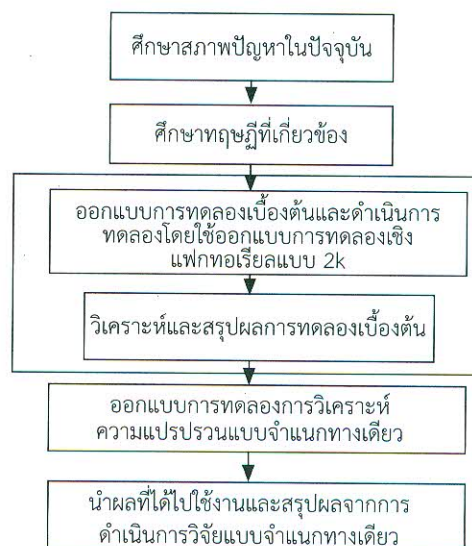
3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งส่วนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1) การค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดของเสียและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะของขนาดชิ้นงาน โดยการกรองปัจจัยด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก และนำปัจจัยหลักที่เหลืออยู่ไปศึกษาต่อ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

2) การทดลองเพื่อค้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

2.2.3 ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factor or 3-ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบร่วม (อันตรกิริยา) AB, BC และ AC สามารถอธิบายเป็นแผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ดังรูปที่ 2



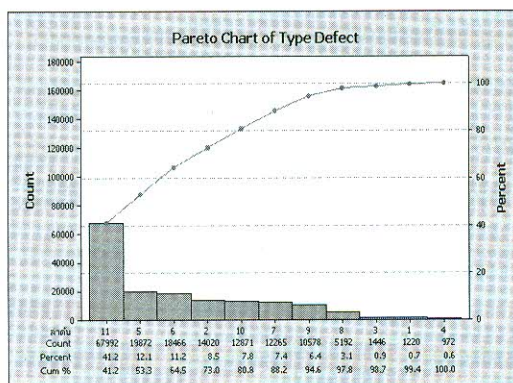
รูปที่ 2 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลของปัญหาของของเสียของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดของบริษัทในปี พ.ศ. 2555 ในช่วงเดือน ม.ค. ถึงเดือน ต.ค. แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัญหาของของเสียในปี พ.ศ. 2555 ในช่วงเดือน ม.ค. ถึงเดือน ต.ค.

ลำดับ	ปัญหา	จำนวน (ชิ้น)
1	ฉีกไม่เต็ม	1,220
2	มีครีบ	14,020
3	ความเรียบร้อยในการตัดเกท	1,446
4	สีลาย	972
5	บวม	19,872
6	รอยฉีก	18,466
7	รอยต่อ, แตกร้าว	12,265
8	ความเรียบร้อยการตกแต่ง, แต่งเข้าเนื้อ	5,192
9	ผิวเป็นคราบ, คราบขาว	10,578
10	รอยเย็น, รอยกระแทก, รอยย่น	12,871
11	ขนาดไม่ได้มาตรฐาน	67,992

หลังจากทราบปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วเพื่อที่จะทราบว่าปัญหาใดเป็นปัญหาหลักที่ควรจะนำมาทำการแก้ไขก่อนปรับปรุงโดยทำการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการของพาเรโต และใช้กฎ 80:20 ในการจำแนกประเภทของปัญหา



รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่เกิดขึ้นและจำนวนของเสียในช่วงเดือน ม.ค. - ต.ค. พ.ศ. 2555

จากพาเรโตข้างบนแสดงให้เห็นว่าข้อมูลอยู่ในสภาวะเสถียรภาพและสามารถใช้คาดการณ์ได้เนื่องจากแผนภาพพาเรโตแสดงถึงตัวแบบที่สอดคล้องกับหลักการของพาเรโต คือ สิ่งที่มีความสำคัญมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่สิ่งที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยมีจำนวนค่อนข้างมาก (Trivial Many) ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าปัญหขนาดไม่ได้มาตรฐาน (ปัญหาที่ 11) เป็นปัญหาหลัก ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการเลือกปัญหาเรื่องขนาดไม่ได้มาตรฐานมาทำการแก้ไขเป็นปัญหาแรกจากการทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในเรื่องของปัญหขนาดไม่ได้มาตรฐานในช่วงเดือน ม.ค.-ต.ค. พ.ศ. 2555 ทำให้พบว่ามีผลิตภัณฑ์หลายผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาในเรื่องขนาดไม่ได้มาตรฐานจึงทำการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์ใดที่ควรนำมาทำการแก้ไขก่อนรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่พบปัญหาเรื่องชิ้นงานไม่ได้ขนาดตามมาตรฐาน ในช่วงเดือน ม.ค. - เดือน ต.ค. 2555

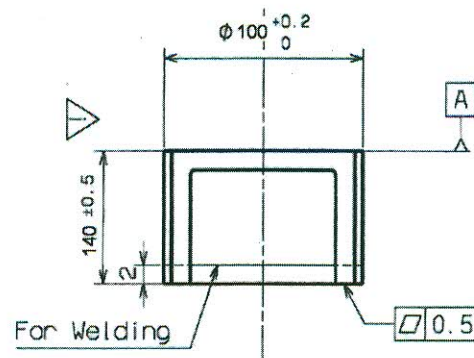
ผลิตภัณฑ์	จำนวน ผลิตภัณฑ์ดี (ชิ้น)	จำนวน ของเสีย (ชิ้น)	จำนวน รวมผลิต (ชิ้น)	ราคา ต่อชิ้น (บาท)	สูญเสีย (บาท)	% ของเสีย
7320723	12,780	8,189	20,969	6.020	49,297.78	39.05
731038	32,978	8,367	41,345	2.430	20,331.81	20.24
7320719	23,789	5,289	29,078	0.840	4,442.76	18.19
7310380	12,450	7,176	19,626	3.720	26,694.72	36.56
7310178	23,890	7,211	31,101	4.190	30,214.09	23.19
7310311	34,620	4,199	38,819	4.230	17,761.77	10.82
7310312	21,600	8,432	30,032	4.400	37,100.8	28.08
7310263	23,590	9,686	33,276	5.580	54,047.88	29.11
7310323	12,220	6,211	18,431	5.330	33,104.63	33.70
7330306	8,960	3,232	12,192	6.020	19,456.64	26.51

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ 7320723AA มูลค่าความสูญเสียมีค่าสูงเป็นอันดับสองรองจาก 7310263AA แต่เปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นสูงเป็นอันดับหนึ่ง (39.05%) ผู้ทำการวิจัยจึงได้เลือกผลิตภัณฑ์ 7320723AA มาทำการศึกษาต่อไป

การบ่งชี้สภาพที่เกิดปัญหาของเสียแบบขนาดชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน

เพื่อทำการบ่งชี้ว่าของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ 7320723AA (ซึ่งใช้วัตถุดิบ HD-PE เกรด GG3245) เกิดขึ้นบริเวณใดบนชิ้นงาน ผู้วิจัยจึงทำการถ่ายรูปชิ้นงาน โดยแสดงตัวอย่างของรูปร่างของชิ้นงาน

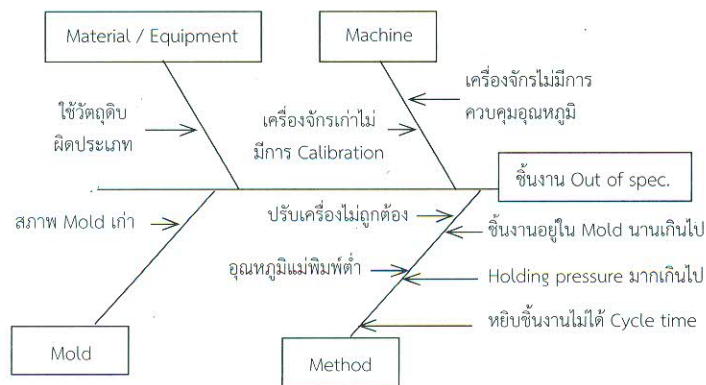
ดังรูปที่ 4 ซึ่งขนาดที่ตรงมาตรฐานจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 100-100.20 มิลลิเมตร (แสดงในรูปที่ 4) และชิ้นงานที่ขนาดไม่ได้มาตรฐานจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางออกนอกช่วงนี้แต่ปัญหาที่พบจะเป็นแบบขนาดเกินมาตรฐานหรือขนาดต่ำกว่ามาตรฐานทั้งหมด



รูปที่ 4 ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ 7310263AA

การศึกษาและวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ในการวิเคราะห์ความผันแปร เพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้มีความรู้เฉพาะทาง และมาจากเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) เพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหาแล้วทำการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขต่อไป และเมื่อทำการศึกษากระบวนการโดยครบถ้วนแล้ว จึงทำให้ทราบว่าตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการมีอะไรบ้าง และมีความจำเป็นต้องทำการ

ระดมสมอง เพื่อทำการค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด ในขั้นตอนการระดมสมองนั้นจะให้ผู้ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตเสนอความคิดเห็นโดยที่ผู้ร่วมแสดงความคิดเห็นนั้นจะเป็นหัวหน้างาน และผู้ชำนาญการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความรู้ในกระบวนการที่ทำการศึกษา ซึ่งในการเสนอความคิดเห็นนั้นจะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิดเห็น เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหาสุดท้ายก็จะนำความคิดเห็นที่ได้มาจัดเป็นหมวดหมู่ด้วยแผนภาพสาเหตุและผลเพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ซึ่งจากการระดมสมองได้ปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะส่งผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดโตกว่ามาตรฐาน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการวิเคราะห์ผลและออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) คือการออกแบบที่ประกอบด้วย k ปัจจัย แต่ละ

ปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” และ “สูง” ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด $2 \times 2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$ การทดลอง เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนแล้วให้นำผลการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์และสรุปผล

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ใช้วิธีการสถิติวิศวกรรม เพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปจากการทดลอง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากผลการดำเนินการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลสองระดับ ซึ่งอาศัยโปรแกรม Minitab ® มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยผลจากการวิเคราะห์การทดลองจะทำให้ทราบว่าปัจจัยป้อนเข้าที่ได้จากการดำเนินการวิเคราะห์นั้นมีความสัมพันธ์กับของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐานหรือไม่ โดยในที่นี้ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ คือ Holding Pressure, Cycle Time, อุณหภูมิ Mold Temp โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทางโรงงานใช้ของเดิมนั้นได้มาจากการกำหนดของฝ่ายวิศวกรรมของทางโรงงานโดยแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์เดิมของโรงงาน

Mold Temp (°C)	Cycle Time (Sec)	Holding Pressure (MPa)
35	65	75

แต่เนื่องจากปัญหาขนาดไม่ได้มาตรฐานเป็นแบบขนาดใหญ่เกินจาก Specification จากการศึกษาและสอบถามจากผู้ที่มีความรู้ทางด้านการฉีดพลาสติกของญี่ปุ่น (เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการฉีดพลาสติกประจำโรงงานมีประสบการณ์ประมาณ 35 ปี) จะใช้ค่า Mold Temp ควรเท่าเดิม Cycle Time ควรลดลง และค่า Holding Pressure ที่น้อยลงแต่ไม่ทราบว่าค่าเท่าไรจึงเหมาะสมจึงทำการแปรผันค่าต่าง ๆ ที่พอจะ

เป็นไปได้และทำการวิเคราะห์เพื่อดูว่าปัจจัยทั้ง 3 อย่างนั้นมีผลอย่างไรและเพื่อที่จะเป็นแนวทางในการปรับตั้งค่าต่อไปโดยค่าที่ทำการแปรผันใหม่แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
	Low (-)	High (+)
Mold Temp (°C)	35	45
Cycle Time (Sec)	32	37
Holding Pressure (MPa)	10	20

เหตุผลในการเลือกใช้ค่า Mold Temp เท่ากับ 35°C และ 45°C เนื่องจากในคำแนะนำของวัสดุชนิด High-density polyethylene (HDPE) or polyethylene high-density (PEHD) (จากมาตรฐาน Material Data for Injection Molders) [7] ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์ 7320723AA นั้นแนะนำว่าปกติค่า Mold Temp ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 30–50 °C แต่เมื่อเกิดปัญหาชิ้นงานขนาดโตควรจะใช้ค่าสูง ในส่วนของ Cycle Time ควรจะมีค่าลดลงแต่ได้ถึงเท่าไรที่ไม่ให้ส่งผลต่อชิ้นงาน ถ้าใช้เวลาน้อยเกินไปจะทำให้การเย็นตัวของชิ้นงานทำได้น้อยชิ้นงานยังไม่แข็งตัวดีพอเวลาเอาชิ้นงานออกจากแบบจะทำให้เกิดปัญหาอย่างอื่น เช่น ชิ้นงานเกิดรอยบุบจากการกระแทกเพื่อนำชิ้นงานออกจากแบบ เป็นต้น และค่า

Holding Pressure ที่ควรจะมีค่าต่ำ แต่จากความสามารถในการปรับตั้งของเครื่องจักร ซึ่งสามารถปรับได้ในหลักสิบจึงเป็นที่มาของการใช้ค่าตัวเลขต่าง ๆ ดังกล่าวเนื่องจากมีปัจจัย 3 ปัจจัยและการหาขนาดของสิ่งตัวอย่าง (Sample Size) เท่ากับ 5 ชั้น ($n \times 2^k$) หรือ 5×2^3 จึงทำการทดลองทั้งหมด 40 การทดลอง โดยข้อมูลผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง

Run Order	Mold Temp	Cycle Time	Holding Pressure	ขนาด (mm)
1	-	-	-	100.22
2	-	-	+	100.29
3	-	+	-	100.25
4	-	+	+	100.25
5	+	-	-	100.08
6	+	-	+	100.21
7	+	+	-	100.36
8	+	+	+	100.41
9	-	-	-	100.22
10	-	-	+	100.22
11	-	+	-	100.32
12	-	+	+	100.29
13	+	-	-	100.09
14	+	-	+	100.25
15	+	+	-	100.45
16	+	+	+	100.49
17	-	-	-	100.26
18	-	-	+	100.35
19	-	+	-	100.35

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Run Order	Mold Temp	Cycle Time	Holding Pressure	ขนาด (mm)
20	-	+	+	100.36
21	+	-	-	100.09
22	+	-	+	100.22
23	+	+	-	100.42
24	+	+	+	100.50
25	-	-	-	100.26
26	-	-	+	100.30
27	-	+	-	100.38
28	-	+	+	100.36
29	+	-	-	100.09
30	+	-	+	100.22
31	+	+	-	100.47
32	+	+	+	100.52
33	-	-	-	100.24
34	-	-	+	100.28
35	-	+	-	100.32
36	-	+	+	100.29
37	+	-	-	100.08
38	+	-	+	100.28
39	+	+	-	100.40
40	+	+	+	100.41

เมื่อ

เครื่องหมายลบ (-) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับต่ำ (Low Qualitative Level)

เครื่องหมายบวก (+) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับสูง (High Qualitative Level)

การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

จากผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ในตารางที่ 5 นำคำตอบสองที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยการเกิดปัญหาขึ้นงานขนาดโต (หรือมีนัยสำคัญ) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha=0.05$) ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้อาศัยโปรแกรมทางสถิติ Minitab ® 14 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 11 โดยมีสมมติฐานว่า รูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการของ $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ คือ ค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และ σ^2 มีค่าคงตัว (Stability) จึงจะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ การตรวจสอบ σ มี 4 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

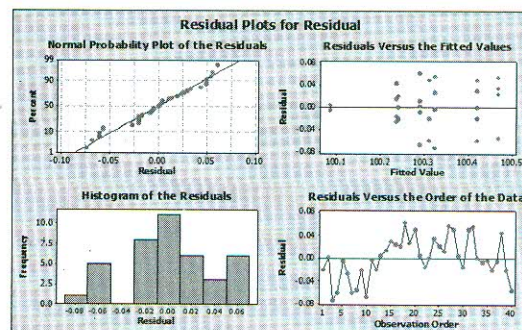
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

3. การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

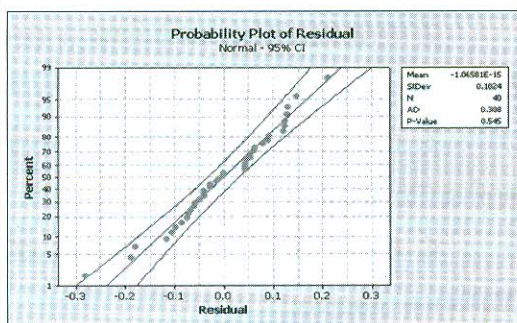
4. การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability)

ผลการตรวจสอบความเป็นไปได้ตามข้อสมมติฐานแสดงได้ดังนี้

การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) จากการพิจารณาของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยนำข้อมูลในตารางที่ 5 มาสร้างเป็นแผนภูมิดังรูปที่ 7 พบว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีการแจกแจงแบบปกติ และ P-value สูงเท่ากับ 0.545 (เทียบกับค่า 0.05 เนื่องจากในการทดลองเราต้องการให้มีค่า Error ต่ำที่สุดเราจึงกำหนดค่าให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้) แสดงว่าข้อมูลดีนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้

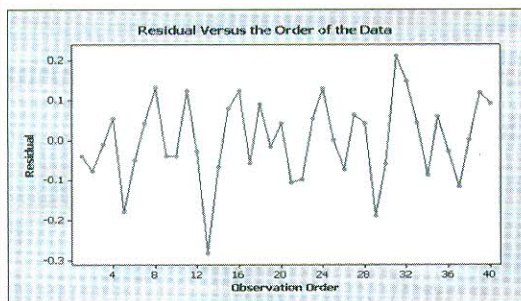


รูปที่ 6 แสดง Residual Plot



รูปที่ 7 แสดงการกระจายแบบปกติของค่า Residual

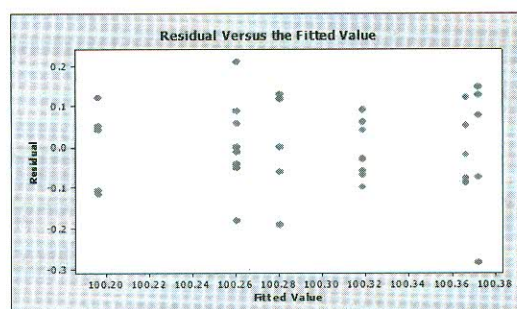
การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) สามารถพิจารณาจากการนำข้อมูลในตารางที่ 5 มาสร้างแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ดังรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิพบว่า การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent)



รูปที่ 8 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order

5. การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual) สามารถพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fitted Value โดยการนำข้อมูลในตารางที่ 5 มาสร้างเป็นแผนภูมิแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับระดับของปัจจัยทุกตัว ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fitted Value

การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability) สามารถพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fitted Value พบว่า σ^2 ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

จากรูปที่ 6 ถึง 9 พบว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการของ $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ทุกประการ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นต่อไปได้

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่า ไม่มีความผิดปกติของการทดลองเกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จึงได้นำข้อมูลในตารางที่ 5 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสองระดับ การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

Full Factorial Design

Factors: 3 Base Design: 3, 8

Runs: 40 Replicates: 5

Blocks: 1 Center pts (total): 0

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ Factorial Fit: Response versus Mold Temp, Cycle Time, Holding Pressure

Estimated Effects and Coefficients for Response (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		100.296	0.006297	15926.81	0.000
Mold Temp	0.012	0.006	0.006297	0.91	0.368
Cycle Time	0.167	0.084	0.006297	13.30	0.000
Holding Pressure	0.057	0.029	0.006297	4.57	0.000
Mold Temp*Cycle Time	0.115	0.057	0.006297	9.09	0.000
Mold Temp*Holding Pressure	0.040	0.020	0.006297	3.22	0.003
Cycle Time*Holding Pressure	-0.041	-0.021	0.006297	-3.30	0.002
Mold Temp*Cycle Time*Holding Pressure	-0.011	-0.005	0.006297	-0.83	0.411

S = 0.0398278 R-Sq = 90.45% R-Sq(adj) = 88.36%

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.314947	0.314947	0.104982	66.18	0.000
2-Way Interactions	3	0.164727	0.164727	0.054909	34.62	0.000
3-Way Interactions	1	0.001103	0.001103	0.001103	0.70	0.411
Residual Error	32	0.050760	0.050760	0.001586		
Pure Error	32	0.050760	0.050760	0.001586		
Total	39	0.531537				

ในการวิเคราะห์ด้วยความแปรปรวนกรณีการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k) จะทำการพิจารณาอันตรกิริยา (ผลกระทบร่วม) ก่อนเสมอ ซึ่งในกรณีที่ทำการวิเคราะห์มากกว่า 2 ปัจจัย และถ้าผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < \alpha$) จะไม่ทำการพิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเทอมผลกระทบร่วม (ปัจจัยร่วม) นั้น

การตรวจสอบข้อสมมติในการใช้ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนผ่านค่าผิดพลาด มีการแจกแจงปกติ ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ความแปรปรวนคงที่และเป็นอิสระต่อกัน (จากรูปที่ 6-9) จึงสามารถอ่านผลจากตาราง ANOVA ในตารางที่ 6 ได้ ค่า p-value ของปัจจัยหลักระหว่าง Mold Temp > $\alpha = 0.05$ ไม่พบอันตรกิริยา, Cycle Time และ Holding Pressure เท่ากับ $0.000 < \alpha = 0.05$ มีผลต่ออันตรกิริยาสรุปได้ว่าปัจจัยหลักทั้งสอง คือ Cycle Time และ Holding Pressure มีผลต่อขนาดของชิ้นงาน แต่ค่าของ p-value ของอันตรกิริยาระหว่าง Mold Temp, Cycle Time และ Holding Pressure เท่ากับ $0.411 > \alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงไม่พบอันตรกิริยา (ผลกระทบระหว่าง 3 ปัจจัย)

จากกรณีทดสอบปัจจัยร่วม (Test of Interaction Factors) รูปทั่วไปของสมการที่ทดสอบ คือ

H_0 : ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง (y)

H_1 : ปัจจัยร่วมมีผลต่อค่าตอบสนอง (y)

$H_0 : (\alpha\beta)_{ij}^* = 0 \forall_{ij}$ และ $H_1 : (\alpha\beta)_{ij}^* \neq 0 \exists_{ij}$

(* กรณีสนใจปัจจัยร่วม A และ B)

จากการพิจารณาค่า $R^2 = 90.45\%$ แสดงว่าการทดลองได้รับการออกแบบมาดีแล้วถ้าหากความผันแปรทั้งหมด มีค่า 100 หน่วย แล้วสามารถอธิบายความผันแปรจากพรีดิคเมนต์ได้ถึง 90.45 หน่วย ส่วนที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุด้านรีพีทเทเบิลิตีซึ่งเมื่อพิจารณาค่า $R^2 \text{ Adjust} = 88.36\%$ ใกล้เคียงกับ $R^2 =$

90.45% แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีจำนวนเพียงพอแล้ว

จากนั้นดูที่ค่า P-value ของแต่ละปัจจัย ซึ่งแสดงค่า P-value ต่ำ (เทียบกับค่า 0.05) แสดงว่า ปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญหรือมีผล แต่ค่า P-value ของ Temp มีค่ามากแสดงว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแตเมื่อนำปัจจัย Temp ไป Interaction กับปัจจัยอื่นแล้วปรากฏว่าค่า P-value ต่ำแสดงว่ามีผลทำให้ไม่สามารถยุบ Temp ออกได้ ผลแสดงให้เห็นว่า interaction ของทั้งสามปัจจัยไม่มีผล

จากนั้นพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ผ่านสมการ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

สมการ คือ $Y = M(C+H) + C(H+1) + H + \text{Constant}$ โดยที่

M คือ Mold Temp, C คือ Cycle Time, H คือ Holding pressure และ Constant คือค่า 100 เป็นค่ากลางของขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการผลิต ในสมการเราจึงกำหนดให้เป็นค่าคงที่ (Constant value)

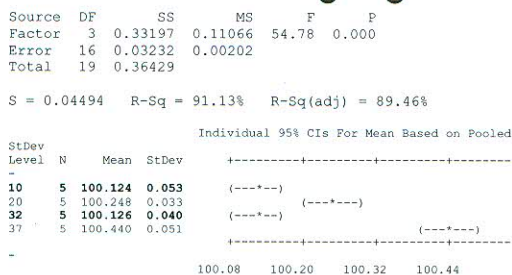
ผลจากการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อกรองปัจจัยโดยวิธีการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับทำให้ทราบได้ว่าปัจจัยใดบ้างมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และจากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าปัจจัยเวลา

ในการฉีดพลาสติกนั้น มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม สามารถแสดงค่าผลการทดลองได้ดังตารางที่ 7

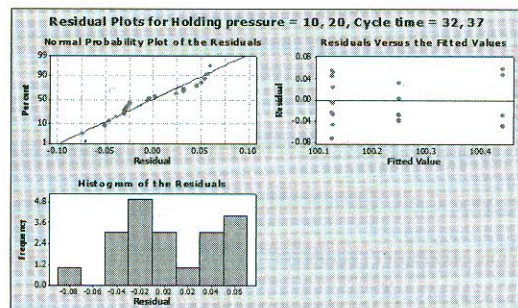
ตารางที่ 7 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

One-way ANOVA: 10, 20, 32, 37



Pooled StDev = 0.045

- ① แสดงตาราง ANOVA ได้ค่า $F = 54.78$
- ② P-Value พบว่าได้ค่าน้อยมาก คือ $0.000 < (0.05) \alpha$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ H_0 : ปัจจัยรวมไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง (y) และสรุปได้ว่าค่า Cycle time และ Holding pressure มีผลต่อค่าของขนาดของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 11 กราฟแสดงการวิเคราะห์เศษเหลือ (Residual)

จากกราฟ ① Normal Probability Plot of the Residuals แสดงเส้นตรง 1 เส้น และ ② Histogram แสดงรูปทรงระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมาจากการทดลองที่มี setting ค่อนข้างดี

จากข้อมูลซึ่งได้จากการทดลองโดยนำข้อมูลมาจัดเรียงให้เป็นหมวดหมู่ ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ระดับปัจจัยที่ Cycle time = 32 วินาที และ Holding pressure ที่ 10 MPa มีผลต่อขนาดของชิ้นงาน โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดลองที่ทำการจัดเรียงแล้ว

Mold Temp (OC)	Cycle Time (Sec)	Holding Pressure (MPa)	1	2	3	4	5	Average (mm)
35	32	10	100.22	100.29	100.25	100.25	100.21	100.24
35	32	20	100.22	100.35	100.30	100.28	100.25	100.28
35	37	10	100.32	100.35	100.38	100.28	100.29	100.32
35	37	20	100.41	100.49	100.50	100.41	100.39	100.44
45	32	10	100.08	100.09	100.09	100.09	100.08	100.08
45	32	20	100.21	100.25	100.22	100.23	100.25	100.23
45	37	10	100.36	100.45	100.42	100.47	100.40	100.42
45	37	20	100.41	100.50	100.52	100.41	100.39	100.44

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ Mold Temp เท่ากับ 45°C, Cycle Time เท่ากับ 32 วินาที และ Holding Pressure เท่ากับ 10 MPa ทำให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ 100.00 – 100.20 มิลลิเมตร นำผลจากการทดลอง Mold Temp เท่ากับ 45°C, Cycle Time เท่ากับ 32 วินาที และ Holding Pressure เท่ากับ 10 MPa

ตารางที่ 9 ผลการทดลองเปรียบเทียบผลจากสมการ Regression

เปรียบเทียบ ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	ขนาด ชิ้นงาน (mm)	Mold Temp (°C)	Cycle Time (Sec)	Holding Pressure (MPa)
ผลที่ได้จาก การทดลอง	1	100.08	45	32	10
	2	100.09			
	3	100.09			
	4	100.09			
	5	100.08			
ผลที่ได้จาก สมการ		100.07			

สรุป

สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ สามารถลดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติกที่เป็นชิ้นส่วนยานยนต์ได้ใช้แนวทางการลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยผลการวิจัยสามารถเปรียบเทียบเพื่อนำเสนอในเชิงตัวเลขได้แก่ จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตลดลง 98.80 เปอร์เซ็นต์

เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการวิจัย

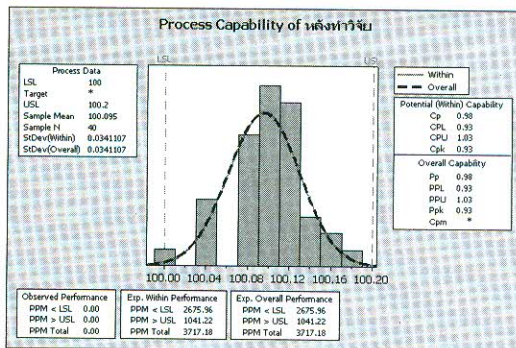
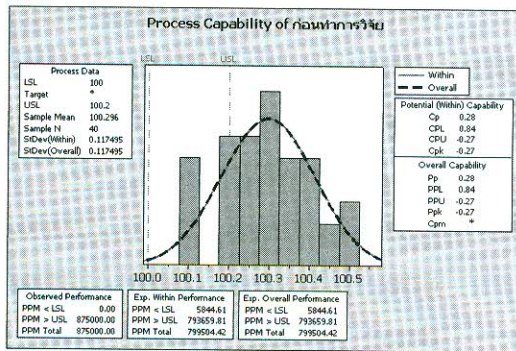
หลังจากที่ทางแผนกผลิตของโรงงานตัวอย่างได้นำค่า Mold Temp เท่ากับ 45°C , Cycle time เท่ากับ 32 วินาที และ Holding pressure เท่ากับ 10 MPa ไปทำการผลิตชิ้นงานซึ่งสามารถส่งผลทำให้สามารถลดจำนวนของเสียลงได้โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการทำการวิจัยในปี 2555 ดังนี้

ตารางที่ 10 แสดงรายละเอียดผลจากการการผลิตเมื่อนำค่าปัจจัยใหม่ไปใช้เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการทำการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ 7320723AA	จำนวน ผลิตภัณฑ์ ดี (ชิ้น)	จำนวน ของเสีย (ชิ้น)	จำนวน รวมผลิต (ชิ้น)	ราคา ต่อชิ้น (บาท)	สูญเสีย (บาท)	(%) ของเสีย (จำนวนผลิต ต่อจำนวนเสีย)
ม.ค. - ต.ค. 2555	12,780	8,189	20,969	6,020	49,297.78	39.05
พ.ย. - ธ.ค. 2555	3,425	98	3,523	6,020	589.96	2.78

ผลจากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำค่า Mold Temp เท่ากับ 45°C , Cycle time เท่ากับ 32 วินาที และ Holding pressure เท่ากับ 10 MPa มาใช้ในกระบวนการผลิตทำให้สามารถลดปริมาณของเสียลงได้อย่างมาก โดยของเสียก่อนทำการวิจัย 8,189 ชิ้นลดลงมาเป็น 98 ชิ้น หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 98.80 และคิดเป็นเงินจาก 49,297.78 บาท และลดลงเป็น 589.96 บาท หรือ 98.80 เปอร์เซ็นต์จากการทดสอบยืนยันผลการทดลองและเปรียบเทียบกับชิ้นงานก่อนการปรับปรุงจำนวน 40 ชิ้น พบว่า ดัชนีศักยภาพความสามารถของกระบวนการ (Potential Process Capability Index; Cp) ก่อนทำการวิจัยหรือก่อนทำการปรับปรุง มีค่าเท่ากับ 0.28 และดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index; Cpk) มีค่าเท่ากับ -0.27 สำหรับ Cp และ Cpk หลังทำการวิจัยมีค่าเท่ากับ 0.98 และ 0.93 ตามลำดับ ซึ่งก่อนทำการปรับปรุงค่า Cp และ Cpk มีค่าต่ำเนื่องจากขนาดของชิ้นงานไม่ตาม Spec. ที่กำหนด เกินขอบเขตบนของ Spec. (Upper Spec. Limit) และเมื่อทำการปรับปรุง

ผลที่ได้ค่า Cp และ Cpk มีค่าสูงขึ้นแต่ยังไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจะมีชิ้นงานที่ยังไม่ได้ตาม Spec. เกินขอบเขตล่างของ Spec. (Lower Spec. Limit) ซึ่งจะต้องทำการทดลองเพื่อหาทางปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานในลำดับต่อไปเนื่องจากชิ้นงานจะต้องได้ค่า Cp และ Cpk มากกว่า 1.33 ตามข้อกำหนดของลูกค้า



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยกับบุคคลอื่นจากการเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ อภิชาติ [3] พบว่ามีการวิจัยที่คล้ายกันโดยปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของชิ้นงานคือ แรงดันย่ำ (Holding pressure), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และ รอบการทำงาน (Cycle

Time) แต่จะแตกต่างกันคือ ประเภทของชิ้นงาน, ขนาดของชิ้นงาน และวัตถุดิบที่ไม่เหมือนกัน ทำให้ปัจจัย (Main effect) มีความแตกต่างกัน รวมถึงเครื่องฉีดพลาสติกทำให้ส่งผลแตกต่างกันแต่แนวทางในการวิจัยจะมีลักษณะคล้าย ๆ กัน เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองทำให้โรงงานสามารถนำหลักการด้านเทคนิค ไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในเรื่องของขนาดใหญ่มากกว่ามาตรฐาน โดยนำปัจจัยต่าง ๆ มาวิเคราะห์ได้แก่ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ซึ่งถ้าอุณหภูมิจะเพิ่มมากขึ้นเท่าใดก็ต้องอยู่ในข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์นั้น และเวลาที่ลดลงเพื่อที่จะให้ชิ้นงานสามารถหลุดตัวภายนอกแม่พิมพ์ได้ แต่ก็ไม่ควรน้อยเกินไปซึ่งจะส่งผลต่อชิ้นงานเสียรูปทรงได้, Holding pressure ควรจะให้น้อย ๆ เพื่อให้มวลของชิ้นงานลดลงเพื่อให้เย็นตัวอยู่ในแม่พิมพ์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ภายใต้โครงการให้คำแนะนำปรึกษา การเพิ่มผลิตภาพและความสามารถในการแข่งขันอุตสาหกรรมสนับสนุน ภายใต้โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ในอุตสาหกรรมสนับสนุน ปี 2555

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิยพงษ์ ริดเจียว, 2555. การลดของเสีย
ในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม
โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง.
วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหา-
บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน
เหลื่องไพบูลย์, 2551. การออกแบบการ
ทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ท็อป.
- [3] อภิชาติ ศรีณนิตย์, 2548. การลดของเสีย
ในโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก.
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหา-
บัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี.
- [4] โสภิตา ท่วมมี, 2550. การลดปริมาณ
ของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติก
แผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบ
การทดลอง กรณีศึกษา บริษัท ใน
อุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมอุตสาหการมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] D.C., Montgomery, 2005. **Design and
Analysis of Experiments**, 6th ed.
USA: John Wiley & sons.
- [6] [http://www.nesdb.go.th/Portals/0/
eco_datas/ account/qgdp/
data2_12/detail_Thai.pdf](http://www.nesdb.go.th/Portals/0/eco_datas/account/qgdp/data2_12/detail_Thai.pdf)
- [7] [http://www.matweb.com/search/
DataSheet.aspx?MatGUID=fce23
f90005d4f8e8e12a1bce53ebdc8](http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fce23f90005d4f8e8e12a1bce53ebdc8)