การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องซักผ้า

Defect Reduction in Injection Process A Case Study of A Washing Machine by Design of Experiment

ภัคจิรา พึ่งสุข[1] และวิชัย รุ่งเรืองอนันต์[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกตัวถังเครื่องซักผ้า (Tub) ที่มีของเสียเกิดขึ้น 4.29% โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของเสียตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นฟองอากาศบริเวณผิวชิ้นงาน 61.1% จากของเสียทั้งหมด การหาสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทำไม-ทำไมในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดของเสีย คือ ความดันภายในกระบอกสูบและอุณหภูมิทางเข้าแม่พิมพ์ (Hot Runner) ซึ่งความดันภายในกระบอกสูบ ประกอบด้วย 5 ช่วงความดันสำหรับการฉีด 1 ชิ้นงาน ได้แก่ P1 อยู่ที่ 35 และ 45 MPa P2 อยู่ที่ 45 และ 55 MPa P3 อยู่ที่ 90 และ 95 MPa P4 อยู่ที่ 65 และ 75 MPa P5 อยู่ที่ 60 และ 65 MPa และอุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ (Hot Runner) อยู่ที่ 270 และ 280 °C จากการที่กระบวนการผลิตที่มีข้อจำกัดทางด้านวัตถุดิบ ในการหาปัจจัยที่เหมาะสมจึงหาโดยใช้ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบ 1 ซ้ำ นำมาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งมีทั้งหมด 6 ปัจจัย จึงมีการทดลองทั้งสิ้น 64 การทดลอง จากผลการศึกษาพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ความดันอยู่ที่ค่า 45, 45, 90, 65, 70 MPa ตามลำดับ และอุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์อยู่ที่ 280 °C เมื่อทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการวิจัย โดยนำค่าระดับปัจจัยไปใช้จริงในกระบวนการผลิตเครื่องซักผ้าในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 พบว่า สัดส่วนของเสียจากเดิม 2.62% ลดลงเหลือเพียง 2.02%

คำสำคัญ : การลดของเสีย, การออกแบบการทดลอง, การฉีดพลาสติก

Abstract

The objective of this research was to reduce the defective proportion which was up to 4.29% in the injection process of a tub part of a washing machine's production. The researcher had collected defect data from February to June 2011, 61.1% of the entire defection was air bubble found on the surface of the washing tub. The factors and root cause of defect found by using brainstorming and why -why analysis techniques. The factors of defect were cylinder pressure in barrel and temperature access to the mold (Hot Runner). The pressure in barrel for one product injection had 5 range, P1 was 35 and 45 MPa, P2 was 45 and 55 MPa, P3 was 90 and 95 MPa, P4 was 65 and 75 MPa, P5 was 60 and 65 MPa. Temperature access to the mold (Hot Runner) was 270 and 280 °C For this production process had limitation of mate-

[1] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

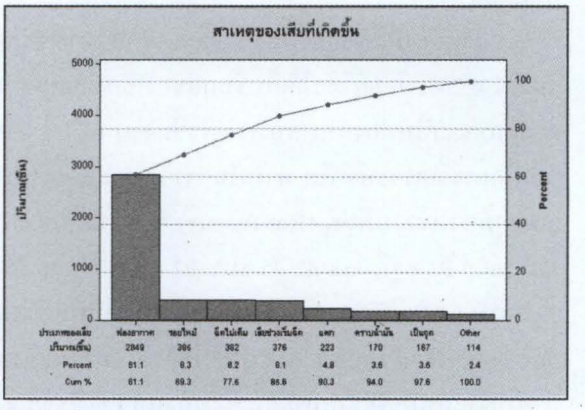
[2] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

rial .The appropriate operating condition of factors found by Design of Experiment using the 2^k factorial design with 1 replicate. There were 6 factors and 64 experiments. The result showed that the appropriate of pressure conditions was 45, 45, 90, 65, 70 MPa and temperature access to mold was 280 °C After applying the appropriate operating condition to the injection process of a tub part of a washing machine's production in August 2011, the defective rate reduced from 2.62 % to 2.02%

Keywords : defect reduction, design of experiment, injection process

1. บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีบทบาท และความสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้เม็ดพลาสติกเป็นวัตถุดิบในการผลิตจะมีความคงทน มีความยืดหยุ่นสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และทนทานต่อความร้อนได้ดี จึงทำให้พลาสติกเป็นสิ่งสนับสนุนที่สำคัญต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกเพื่อนำไปใช้งานมีหลายวิธี อาทิ การขึ้นรูปด้วยการฉีด (Injection Molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ (Vacuum Thermoforming) การขึ้นรูปด้วยการเป่า (Blow Molding) เป็นต้น โดยการขึ้นรูปที่นิยมใช้ผลิตส่วนประกอบประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า คือ การขึ้นรูปด้วยการฉีด ซึ่งกระบวนการเริ่มจากการให้ความร้อนกับเม็ดพลาสติกจนหลอมละลายแล้วจึงฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ จากนั้นทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ถือว่าเสร็จสิ้น ในแต่ละครั้งที่มีการฉีดพลาสติกจะต้องมีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีด ได้แก่ ความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ และเวลา ให้มีความเหมาะสมและสัมพันธ์กัน โดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 พบว่ากระบวนการผลิตตัวถังเครื่องซักผ้า หรือ Tub จำนวน 108,705 ชิ้น ก่อให้เกิดของเสียมีปริมาณ 4,666 ชิ้น คิดเป็น 4.29% จากของเสียพบว่าปัญหาหลัก คือ เกิดฟองอากาศบริเวณผิวชิ้นงาน จำนวน 2,849 ชิ้น คิดเป็น 2.62% ซึ่งมีมูลค่า 427,350 บาท ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิพาเรโตแสดงสาเหตุการเกิดของเสีย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากฟองอากาศในกระบวนการผลิตถังเครื่องซักผ้า โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิต และทำการปรับตั้งปัจจัยได้อย่างเหมาะสม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

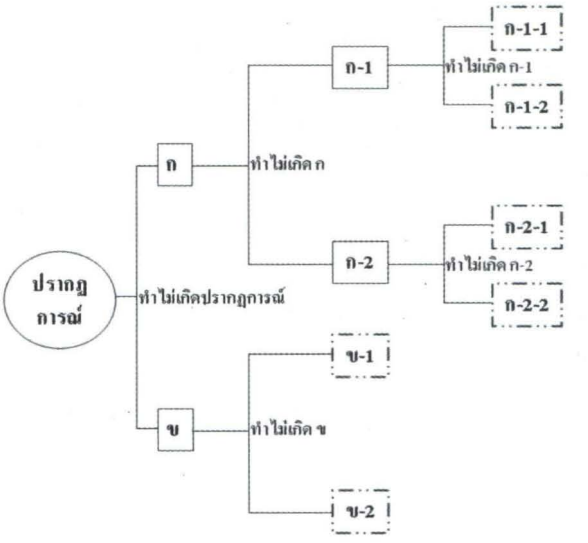
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โพลีโพรพีลีน (Polypropylene : PP) จัดเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุด มีคุณสมบัติเชิงกลดีมาก คือ สามารถทนต่อแรงดึง แรงกระแทก และทรงตัวดี มีจุดหลอมตัวที่ 165 °C ไอน้ำและออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ซึ่งทำให้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง [1] ตัวอย่างเช่น ใช้ทำถุงร้อน ถังน้ำมัน ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น

กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องจักรที่ใช้ในการนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ [1,2] และเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

การวิเคราะห์ทำไม ทำไม (Why-Why Analysis) คือ เทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างมีระบบ มีขั้นตอน ไม่เกิดการตกหล่น ซึ่งไม่ใช่การคิดแบบคาดเดา โดยหากมีปรากฏการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น จะทำการพิจารณาดูว่าอะไรเป็นปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้เกิด จึงทำให้มีการตั้งคำถามว่า "ทำไม" [3] สมมติว่าได้ปัจจัยมา 2 ข้อ คือ ก และ ข จะต้องพิจารณาต่ออีกว่าทำไม ก และ ข ถึงเกิดขึ้นมาได้ พบว่าปัจจัยที่ทำให้ ก เกิดขึ้น คือ ก-1 และ ก-2 ส่วนปัจจัยที่ทำให้ ข เกิดขึ้น คือ ข-1 และ ข-2 โดยจะต้องถามว่า "ทำไม ทำไม ทำไม" ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบสาเหตุที่แท้จริง โดยในช่องสุดท้าย (ตามรูปที่ 3 คือส่วนของ [illegible]) จะเป็นต้นต่อของปัญหาต่างๆ ที่นำไปสู่การเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ พร้อมทั้งสามารถพลิกกลับไปกลายเป็นมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพหรือเป็นมาตรฐานป้องกันไม่ให้เกิดซ้ำอีกดังแสดงในรูปที่3



รูปที่ 3 วิธีการคิดของการวิเคราะห์ทำไม ทำไม

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k คือ การศึกษา k ปัจจัย ที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ซึ่งระดับเหล่านี้อาจเป็นข้อมูลในเชิงคุณภาพ หรือข้อมูลเชิงปริมาณก็ได้ [4] และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ "สูง" หรือ "ต่ำ" หรือการ "มี" หรือ "ไม่มี" ของปัจจัยนั้นๆ [5] ใน 1 การทำซ้ำที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2x2x...x2 = 2^k$ ข้อมูล โดยเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k [6,7]

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบ 1 ซ้ำ เป็นการทดลองที่จำนวนปัจจัยอยู่ในความสนใจปานกลาง [8] โดยจำนวนการทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k จะมีขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 2^5 จะประกอบด้วย 32 การทดลองร่วมปัจจัย การออกแบบ 2^6 จะประกอบด้วย 64 การทดลองร่วมปัจจัย และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ แต่เนื่องจากมีความจำกัดของทรัพยากร ทำให้จำนวนซ้ำที่จะเกิดขึ้นในการทดลองนั้นๆ มีค่าจำกัด รวมถึงมีบ่อยครั้งที่สามารถทำการทดลองได้เพียงซ้ำเดียวเท่านั้น [9] จึงทำให้เกิดการออกแบบการทดลองในลักษณะเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบ 1 ซ้ำ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

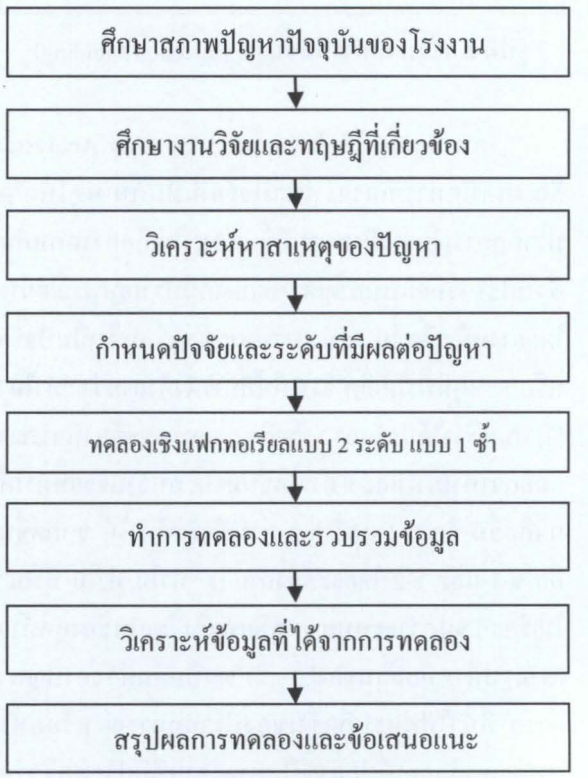
โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของวันวิสา [1] ได้ศึกษาความสูญเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติก (Scrape Purge) ซึ่งนำแผนภาพสาเหตุและผลมาทำการวิเคราะห์เพื่อกำหนดปัจจัย จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับ พบว่าหลังจากทดลองสามารถลดปริมาณ Scrape Purge ได้ 70.4% คิดเป็นมูลค่า 98,046 บาท ต่อเดือน Balasubramanaima and Guha [5] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทนความเหนื่อยล้าบริเวณจุดที่เชื่อมเหล็ก โดยทำการออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ พบว่า ปัจจัย LOP (Ratio Between Initial Lack of Penetration) มีผลต่อความเหนื่อยล้าบริเวณจุดที่เชื่อมเหล็ก ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% Lanzon and Hodgson [6]ได้ศึกษาคุณสมบัติของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อการขึ้นรูปโลหะ โดยออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผิวชิ้นงานที่ได้รับการเคลือบ แต่จะมีผลต่อผิวเหล็กที่ไม่ได้รับการเคลือบ ชุติมา [7] ได้ศึกษาเพื่อลดปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชินนิ่ง โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับกรองปัจจัย จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้ 79.46% คิดเป็นมูลค่า 207,615 บาทต่อเดือน ศิริลักษณ์ [9] ได้ศึกษากระบวนการพ่นเครื่องเคลือบสุขภัณฑ์ที่ไม่สามารถควบคุมความหนาของน้ำยาเคลือบได้ตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับที่มีจุดศูนย์กลาง และมี 1 ซ้ำ รวมถึงปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ พบว่าจากการทดลองทำให้ค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการพ่นเคลือบด้านสมรรถนะเพิ่มขึ้นเป็น 1.01 และปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลงเหลือ 2.46%

จากงานวิจัยที่กล่าวในข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจการนำวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลมาทำการแก้ปัญหา เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการฉีดพลาสติกเป็นตัวถังเครื่องซักผ้า โดยใช้การวิเคราะห์ทำไม ทำไม วิเคราะห์หาสาเหตุ และกำหนดปัจจัย จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับ ที่มี 1 ซ้ำ เพราะมีข้อจำกัดเรื่องของวัตถุดิบ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

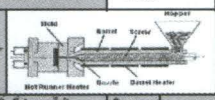
เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการฉีดพลาสติกลดลง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 4

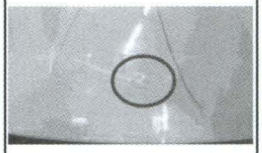
โดยการกำหนดปัจจัยและระดับที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย เริ่มจากการระดมสมอง (Brainstorming) และวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้การวิเคราะห์ทำไม ทำไม จากผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญและปฏิบัติงานในฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการฉีดพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสียที่เกิดจากกระบวนการฉีดพลาสติก

สภาพที่เกิดขึ้น	ชื่อไลน์	ไลน์การผลิต IJ9	ชื่อเครื่องจักร	เครื่องฉีดพลาสติก	หมายเลขของเครื่องจักร	1300T-3	สิ่งที่ควรดำเนินการ			เนื้อหาสาระ
	วัน เวลา ที่เกิดเหตุ	14/3/2554	วัน เวลา ที่กลับสู่สภาพเดิม	14/3/2554	จำนวนของเสียที่ต้องซ่อม	-	เขียนเอกสาร one point lesson	จำเป็น	ไม่จำเป็น	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
	ช่วงเวลาที่หยุดการผลิต	20 นาที	จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น	2 ชิ้น	ผู้ปฏิบัติงาน	ณัฐวุฒิ สมจิตต์	ทบทวนเอกสารมาตรฐาน	จำเป็น	ไม่จำเป็น	ทำการแก้ไขให้เป็นปัจจุบัน
	สิ่งที่เกิดขึ้น	เกิดฟองอากาศบนตัวถังเครื่องซักผ้า (Tub) ขนาด 8 กิโลกรัม (8143036601)	กระบวนการที่เกิดเหตุการณ์		เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น		หาวิธีป้องกันความสะเพร่า	จำเป็น	ไม่จำเป็น	
					เกิดครั้งแรก		ดำเนินการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข	จำเป็น	ไม่จำเป็น	ปรับค่าที่เหมาะสมทำความสะอาดMold
					เกิดซ้ำ		ขยายผลแนวทางในการแก้ไข	จำเป็น	ไม่จำเป็น	

ปรากฏการณ์	สิ่งที่สำรวจได้	พิจารณา	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	พิจารณา	แนวทางแก้ไข
เกิดฟองอากาศที่มีลักษณะนูนบนผิวตัวถังเครื่องซักผ้า โดยมีขนาดมากกว่าที่กำหนดไว้ คือ ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 15 mm. (1.5 cm.)	1.มีความผิดปกติจากแม่พิมพ์หรือไม่	NG	มีเศษพลาสติกอุดตันช่องระบายอากาศ → ไม่ได้ทำความสะอาดช่องลม → ไม่มีมาตรฐานทำความสะอาด			NG	จัดทำมาตรฐานการทำความสะอาด
				แม่พิมพ์ปิดแน่นเกินไป →	ผู้ปรับค่าขาดทักษะ	NG	จัดอบรมวิธีการปรับตั้งเครื่องจักร
	2.การตั้งค่าพารามิเตอร์มีความเหมาะสมหรือไม่	NG	ใช้ความดันในการฉีดเร็วไป (ความดันภายในกระบอกสูบ) → ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งความดันที่เป็นค่าแน่นอน →		ปรับค่าได้ยาก เพราะในการฉีด 1 ครั้งจะต้องใช้ความดันที่มีค่าแตกต่างกัน (มีทั้งหมด 5 ค่า)	NG	หาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับตั้งความดันให้เหมาะสม โดยใช้หลัก DOE
สภาพที่เกิดขึ้น				เกิดความคลาดเคลื่อนจากเครื่องจักร →		OK	
พบว่าเกิดฟองอากาศที่มีลักษณะนูน และมีขนาดใหญ่กว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 			อุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ (Hot Runner) ร้อนไม่พอ (ควบคุมความเร็วเมื่อของไหลอยู่ในแม่พิมพ์) →	ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งอุณหภูมิของ Hot Runner ที่เป็นค่าแน่นอน →	ปรับค่าได้ยาก เพราะก่อให้เกิดของเสียประเภทอื่นๆ เช่น รอยไหม้ หากปรับค่าสูงไป หรือฉีดไม่ได้ หากปรับค่าต่ำไป	NG	หาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยใช้หลัก DOE
				เทอร์โมมิเตอร์เสีย →	ปรับอุณหภูมิสูงเกินไป	OK	
					ใช้งานเป็นเวลานาน	OK	
	3.มีการเปลี่ยนแปลงผู้ปฏิบัติงานหรือไม่	NG	มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งงานบ่อย			NG	จัดทำแผนการฝึกอบรมงาน
	4.วัตถุดิบปนเปื้อน	NG	มีการเปลี่ยน Supplier			OK	

พิจารณา NG : สาเหตุ OK : ไม่มีปัญหา

รูปที่ 5 การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทำไม ทำไม

จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุที่ก่อให้เกิดของเสียมาจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม คือ อุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ (Hot Runner) และความดันภายในกระบอกสูบที่มีการใช้ความดันที่แตกต่างกันในการฉีด 1 ชิ้นงาน โดยแบ่งออกเป็น 5 ช่วงความดันด้วยกัน รวมทั้งการขาดทักษะในการปฏิบัติงานของพนักงาน และขาดการทำความสะอาดบริเวณแม่พิมพ์อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิต โดยทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบ 1 ซ้ำ เพราะมีข้อกำจัดในเรื่องของวัตถุดิบ ซึ่งแต่ละระดับที่กำหนดในการทดลองได้อ้างอิงจากเอกสารปฏิบัติงาน (Work Instruction) ของทางโรงงานว่าเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 จึงทำให้มีการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมโดยมีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 2^6 หรือ 64 การทดลอง

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบ 1 ซ้ำ

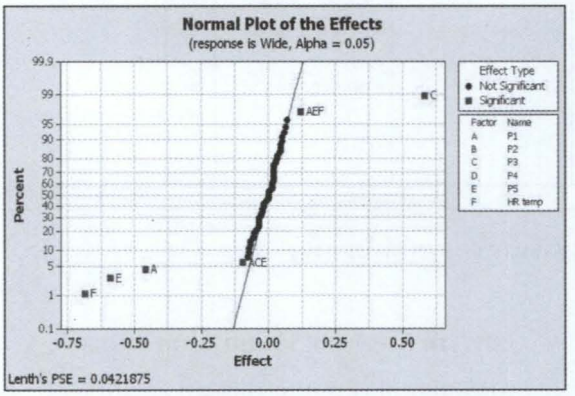
ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย Low (-)	High (+)	หน่วย
1. ความดันช่วงที่ 1	P1	35	45	MPa
2. ความดันช่วงที่ 2	P2	45	55	MPa
3. ความดันช่วงที่ 3	P3	90	95	MPa
4. ความดันช่วงที่ 4	P4	65	75	MPa
5. ความดันช่วงที่ 5	P5	60	70	MPa
6. อุณหภูมิทางเข้าแม่พิมพ์	HR temp	270	280	°C

4. ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k แบบ 1 ซ้ำ

จากผลการทดลองผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมทางสถิติ (Minitab version 15) ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

จากรูปที่ 6 จะแสดงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดของเสียที่เป็นฟองอากาศ จากนั้นทำการตัดปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออก และได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังรูปที่ 7 ซึ่งปัจจัยหลัก คือ ความดันในช่วงที่ 1, 3, 5 และอุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ ปัจจัยร่วม คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความดันช่วงที่ 1, 3 และ 5 รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างความดันช่วงที่ 1, 5 และอุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์



รูปที่ 6 Normal Plot of the Effect

Factorial Fit: Wide versus P1, P3, P5, HR temp

Estimated Effects and Coefficients for Wide (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		16.369	0.1948	84.03	0.000
P1	-4.588	-2.294	0.1948	-11.77	0.000
P3	5.788	2.894	0.1948	14.85	0.000
P5	-5.894	-2.947	0.1948	-15.13	0.000
HR temp	-6.881	-3.441	0.1948	-17.66	0.000
P1*P3*P5	-0.981	-0.491	0.1948	-2.52	0.015
P1*P5*HR temp	1.325	0.662	0.1948	3.40	0.001

S = 1.55840 PRESS = 174.519
R-Sq = 94.15% R-Sq(pred) = 92.63% R-Sq(adj) = 93.54%

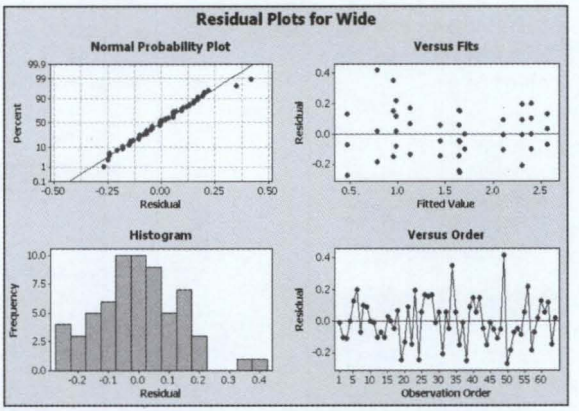
Analysis of Variance for Wide (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	2186.05	2186.05	546.513	225.03	0.000
3-Way Interactions	2	43.50	43.50	21.748	8.95	0.000
Residual Error	57	138.43	138.43	2.429		
Lack of Fit	9	25.65	25.65	2.850	1.21	0.310
Pure Error	48	112.79	112.79	2.350		
Total	63	2367.98				

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

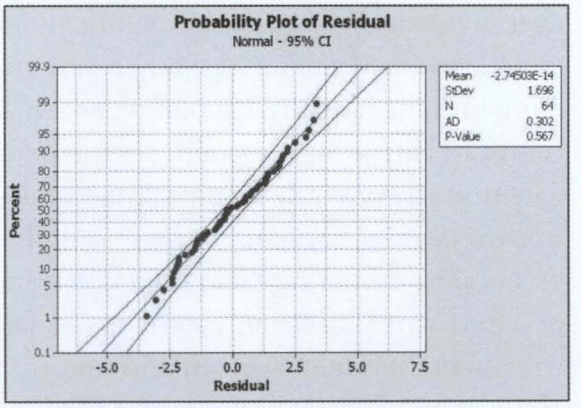
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ดังรูปที่ 8 พบว่าข้อมูลจากการทดลองมีความเหมาะสมและความสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 8 ตรวจสอบความถูกต้องของส่วนตกค้าง

1. การตรวจสอบความเป็นปกติของส่วนตกค้าง (Probability Plot of Residuals) แสดงได้ดังรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาพบว่า ค่า P-Value = 0.567 ซึ่งมากกว่า $\alpha = 0.05$ จึงสรุปว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 9 ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง

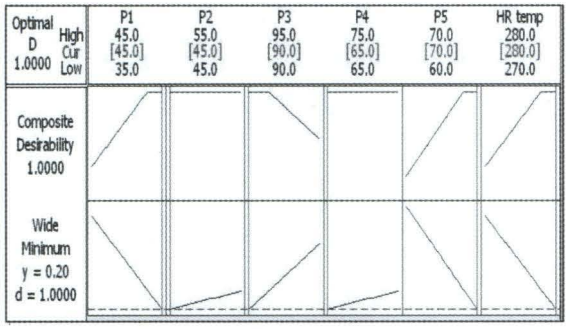
2. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้ความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าส่วนตกค้าง (Test for Equal

Variance for Residual) เมื่อพิจารณาค่า P-Value = 0.193 ซึ่งมากกว่า α = 0.05 จึงสรุปได้ว่า ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

3. การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 8 พบว่า ส่วนตกค้างไม่มีลักษณะเป็นรูปแบบไม่มีแนวโน้มและมีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

4.3 ผลการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อให้การผลิตที่ได้นั้นไม่ก่อให้เกิดของเสียสามารถใช้การวิเคราะห์โดย Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab version 15 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ปัจจัยที่มีผลต่อของเสียที่มีลักษณะเป็นฟองอากาศบริเวณผิวชิ้นงาน ได้แก่ ปัจจัยหลัก คือ ความดันในช่วงที่ 1, 3, 5 และอุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ ซึ่งระดับปัจจัยที่เหมาะสมอยู่ที่ 45, 90, 70 MPa และ 280 °C ตามลำดับ ปัจจัยร่วม คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความดันช่วงที่ 1, 3 และ 5 รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างความดันช่วงที่ 1, 5 และอุณหภูมิบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ ส่วนปัจจัยที่ไม่มีผลต่อของเสีย ได้แก่ ความดันในช่วงที่ 2 และ 4 ควรมีระดับปัจจัยอยู่ที่ 45 และ 65 MPa เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ที่ว่าจุดที่เหมาะสมที่ได้จากการวิจัย โดยทำการทดลองกับสภาพงานจริงในกระบวนการผลิต พบว่า ภายในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดมากขึ้น โดยมีปริมาณของเสียจากฟองอากาศ 126 ชิ้น จากยอดการผลิตจำนวน 6,237 ชิ้น ทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียจากฟองอากาศลดลงจาก 2.62% เหลือเพียง 2.02%

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณกาญจนา ชิงช่วง คุณวิเชียร สีดาพรหม พนักงานฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายผลิต และฝ่ายควบคุมคุณภาพ รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโทที่ให้ความอนุเคราะห์ และช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] วันวิสา ด่วนตระกูลศิลป์, 2552. การลดความสูญเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[2] Mok, Kwong and Lau, 1998 "An intelligent hybrid system for initial process parameter setting of injection moulding," International Journal of Production Research 38,17 : 4565-4576.

[3] Hitoshi Ogura, 2550. Why Why Analysis เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อปรับปรุงสถานประกอบการ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

[4] ปารเมศ ชุติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] Balasubramanian, V. and Guha, B., 1999 "Assessment of some factors affecting fatigue endurance of welded cruciform joints using statistical techniques," International Jounal of Fatigue 21 : 873-877.

[6] Lanzon, J., Cardew-Hall, M. and Hodgson, P. 1998 "Effect of Boundary Lubricant Regimes in Sheet Metal Forming," Processding of Materials 98. : 239-246.

[7] ชุติมา ราชพิทักษ์, 2551. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมนชั่นนิ่ง โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[8] Montogomery, D.C., 2005. Design and Analysis of Experiment. The United State of America: John Wiley & Sons, INC.

[9] ศิริลักษณ์ สูจิวัฒนารัตน์, 2553 การปรับปรุงความสามารถของกระบวนการพ่นเคลือบเครื่องสุขภัณฑ์โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.