การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อนถาดบรรจุฮาร์ดดิสก์ 2.5" โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

Defect Reduction in Thermoforming Process of Tray Side 2.5 inches by Applying Design of Experiment (DOE) Technique

ชาญณรงค์ อินทรชู[1] และ ระพี กาญจนะ[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาการเกิดจีบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยใช้หลักทฤษฎีทางด้านงานขึ้นรูปด้วยความร้อนและเทคนิคการออกแบบการทดลองในการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระเบียบวิธีการวิจัยประกอบด้วยการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลให้เกิดของเสียมากที่สุดด้วยแผนภูมิก้างปลา ทำการคัดเลือกปัจจัยแล้วนำมาวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) เพื่อนำปัจจัยที่มีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ที่มีค่ามากกว่า 100 มาทำการพิจารณาผลการวิเคราะห์ พบว่า มี 3 ปัจจัยหลัก จึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยเหล่านั้น โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design) เลือกการทดลองแบบ 2^nออกแบบให้ใช้ Full Factorial และทำซ้ำ 2 ครั้ง (Repeat) กำหนด Number of Blocks 1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กำหนดค่าทั้ง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิให้ความร้อน (Heating Temperature) 190 °C และ 210 °C, ช่วงเวลาในการให้ความร้อน (Heating time) 22 Sec. และ 37 Sec. และช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ (Vacuum time) 17 Sec. และ 27 Sec. ผลการทดลองพบว่า ระดับที่เหมาะสมที่สุด คือ อุณหภูมิให้ความร้อน 190 °C, ช่วงเวลาในการให้ความร้อน 22 Sec. และช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ 17 Sec. ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียลงจากเดิม 3.53% เหลือเพียง 0.93% ซึ่งบรรลุเป้าหมายขององค์กรที่กำหนดไว้คือของเสียไม่เกิน 1%

คำสำคัญ : ปัญหาการเกิดจีบ, กระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน, การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

Abstract

The objective of this research was to reduce rumple defects problem from thermoforming process by applying the theory of the thermoforming and design of experiment (DOE) technique to analyze a major cause and factors affected on the quality of product. The research methodology included the determination of possible causes of defects with a fish bone diagram and the use of FMEA to select the major affected factors with RPN over 100 score. From FMEA, it illustrated that there were three major factors. Then the experiment was designed to test the level of significance of these three factors by 2^3 full factorial designs with 2 repeats, number of block 1 at 95% confidence level. The levels of three factors were set by temperature at 190 °C and 210 °C, heating time at 22 sec. and 37 sec. and vacuum time

[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

at 17 sec. and 27 sec. The result showed the optimal level was set the temperature at 190 °C, the heating time at 22 sec. and the vacuum time at 17 sec. Then the defect rate can be reduced from 3.53% to 0.93%. This improvement result is able to achieve the company's goal which defect target should be less than or equal 1%

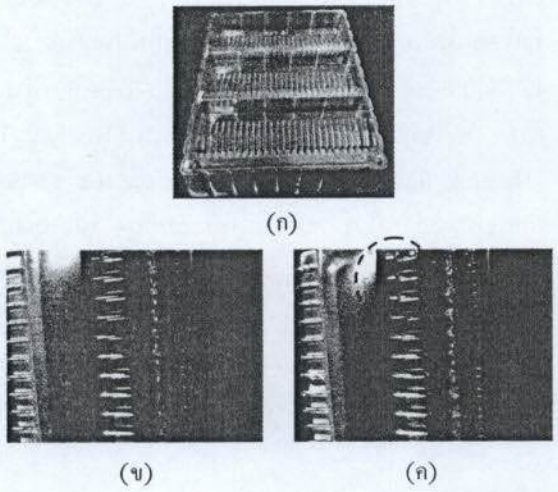
Keywords : Rumple defect problem, thermoforming process, factorial design

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ มีการเติบโตอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มการแข่งขันทางธุรกิจที่สูงขึ้น การขึ้นราคาสินค้าเพื่อเพิ่มผลกำไรจึงไม่ใช่ทางออกที่ดีนัก เพื่อให้สามารถแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นๆได้จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของสินค้าและต้นทุนการผลิต ดังนั้นการนำเครื่องมือหลักการต่างๆ เข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มผลผลิต จึงเป็นหัวใจสำคัญของการอยู่รอดทางธุรกิจและการเติบโตทางอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถยืนหยัดแข่งขันกับผู้ประกอบการอื่นในตลาดได้

ปัญหาในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกด้วยความร้อนและสูญญากาศ ที่พบมีหลายปัญหา เช่น ปัญหาการเกิดจีบของถาดบรรจุ ปัญหาถาดบรรจุบาง ปัญหาถาดบรรจุหัก ปัญหาถาดบรรจุยุบ ปัญหาถาดบรรจุสกปรก เป็นต้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการผลิต ต้นทุนคุณภาพและอาจจะเกิดปัญหาคุณภาพของกระบวนการมากที่สุด คือ ปัญหาการเกิดจีบขึ้นในถาดบรรจุภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกด้วยความร้อนและสูญญากาศ ซึ่งปัญหานี้เป็นของเสียไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงเป็นผลให้เกิดความเสียหายต่อบริษัท ซึ่งในปัจจุบันคุณภาพของสินค้าเป็นเรื่องที่สำคัญมากต่อธุรกิจ

จากสภาพปัญหาที่พบในการขึ้นรูป ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการประยุกต์ใช้ วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปพลาสติก โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดจีบถาดบรรจุฮาร์ดดิสก์ 2.5" ซึ่งจีบมีลักษณะผิดรูปไปจากปกติ คือมีลักษณะนูนขึ้นมากจากช่องใส่ชิ้นงานดั้งภาพ ในกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มมากขึ้นในกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้ผลผลิตที่ผลิตได้ ไม่เป็นไปตามเป้าหมายและเกิดของเสียจำนวนมากจากปัญหาดังกล่าว



(ก) (ข) (ค)

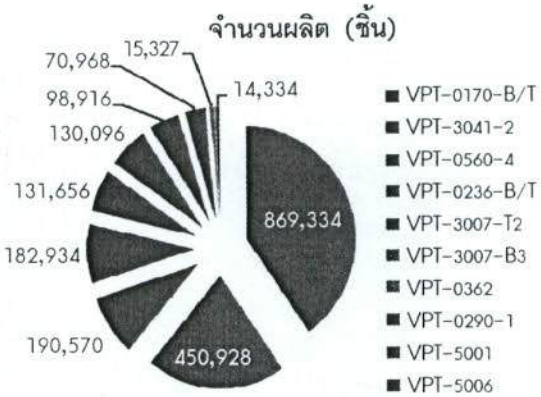
รูปที่ 1 รายละเอียดของชิ้นงานและจุดปัญหาปัญหาการเกิดจีบ

(ก) แสดงถึงบรรจุภัณฑ์ ที่ทำการศึกษา

(ข) แสดงถึงบรรจุภัณฑ์ ที่ผ่านมาตราฐานการผลิต มีลักษณะที่ไม่เกิดจีบในตัวชิ้นงาน

(ค) แสดงถึงบรรจุภัณฑ์ ที่ไม่ผ่านมาตราฐานการผลิต มีลักษณะเกิดจีบในตัวชิ้นงานซึ่งไม่สามารถนำกลับไปแก้ไขได้

จากการศึกษาในโรงงานกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือก โมเดล VPT-0170 เนื่องมาจากมีปริมาณการผลิตสูงการสั่งซื้อระยะยาว จากการรวบรวมข้อมูลจากเดือน มกราคม -กรกฎาคม 2555 มีจำนวนการผลิตรวม 869,334 ชิ้น ดังกราฟที่ 1

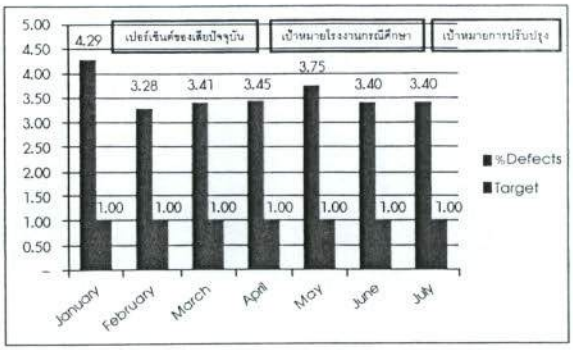


ดังกราฟที่ 1 จำนวนการผลิต

จากข้อมูลพบว่าโมเดล VPT-0170 มียอดการผลิตมากที่สุด คือ 869,334 ชิ้น ซึ่งมีจำนวนของเสีย 30,676 ชิ้นหรือ 3.53% Defects ดังตารางที่ 2 และกราฟที่ 2 ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายของโรงงาน กรณีศึกษาตั้งไว้ คือของเสียจากการผลิตต้องไม่เกิน 1% Defects

ตารางที่ 2 การผลิตและของเสียโมเดล VPT-0170 ตั้งแต่เดือน มกราคม-กรกฎาคม 2555

Month	Order	Defect	%Defects	%Yield
January	99,078	4,253	4.29	95.71
February	148,290	4,866	3.28	96.72
March	136,260	4,641	3.41	96.59
April	118,062	4,071	3.45	96.55
May	98,286	3,684	3.75	96.25
June	151,434	5,156	3.40	96.60
July	117,924	4,005	3.40	96.60
Total	**869,334**	**30,676**		
Average			**3.57**	**96.43**

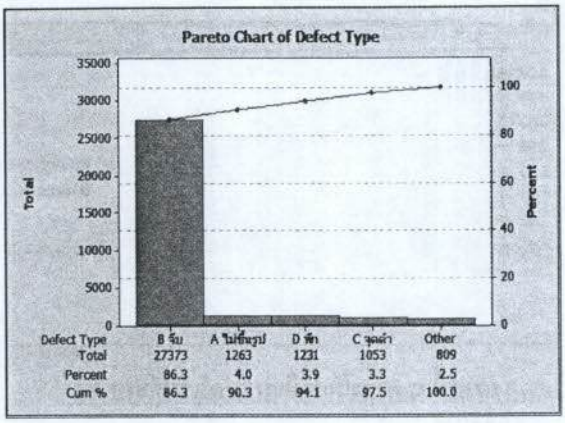


กราฟที่ 2 การเปรียบเทียบ เปอร์เซ็นต์ของเสีย กับเป้าหมายโรงงานกรณีศึกษา

จากข้อมูลพบว่า ของเสียส่วนใหญ่ประมาณ 86.3% เกิดจากการจีบ จึงจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาส่วนนี้ก่อน และของเสียที่เกิดขึ้นต้องเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น สิ่งเหล่านี้ถือว่าเป็นของเสียที่ต้องทำให้ลดลง หรือมีค่าเป็นศูนย์ จึงต้องอาศัยเทคนิคที่เหมาะสมมาปรับปรุงคุณภาพในการผลิต เพื่อให้ต้นทุนการผลิตลดลงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 3

ตารางที่ 3 ประเภทและของเสียโมเดล VPT-0170 ตั้งแต่เดือน มกราคม-กรกฎาคม 2555

Defect Type	Jan"12	Feb"12	Mar"12	Apr"12	May"12	Jun"12	Jul"12
A ไม่ขึ้นรูป	185	156	140	185	135	259	203
B จีบ	3,761	4,361	4,203	3,569	3,335	4,491	3,653
C บาง	168	163	110	158	57	149	4
D หัก	139	186	188	159	157	257	145
C จุดดำ	146	177	167	161	136	214	52
Total	4,253	4,866	4,641	4,071	3,684	5,156	4,005



กราฟที่ 3 เปอร์เซ็นต์ของเสียตั้งแต่เดือน มกราคม–กรกฎาคม 2555

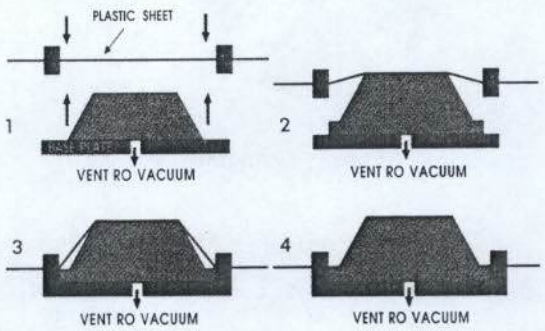
จากข้อมูลเบื้องทั้งหมด ผู้วิจัยจึงเลือกนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) มาเป็นแนวทางช่วยในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยพัฒนาและปรับปรุงทั้งด้านคุณภาพให้ดีขึ้นลดต้นทุนการผลิต และเป็นแนวทางที่ช่วยลดความแปรผันระยะยาวในการผลิต โดยอาศัยการวิเคราะห์การตัดสินใจอย่างมีเหตุผลภายใต้ข้อมูลที่สามารถเชื่อถือได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

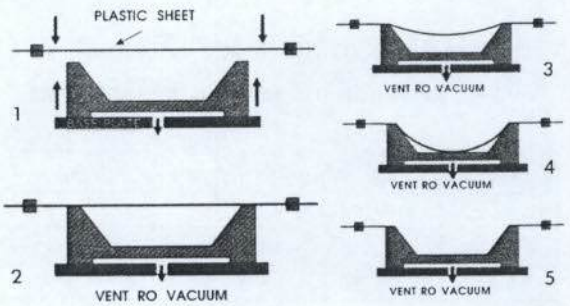
2.1 ทฤษฎีการขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming)

การขึ้นรูปด้วยความร้อน หรือที่เรียกว่า เทอร์โมฟอร์มมิ่ง คือการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นโดยนำแผ่นพลาสติกมาผ่านกรรมวิธี ในการให้ความร้อน เพื่อทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการอ่อนตัว และสามารถนำมาอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูป โดยทั่วไปมักใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ เช่น แก้วน้ำประเภทใช้แล้วทิ้ง กล่องพลาสติกบรรจุขนมต่างๆ ถาดบรรจุชิ้นงาน เป็นต้นแผ่นพลาสติกก่อนนำเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปต้องผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นแผ่นพลาสติก เช่น กระบวนการอัดรีด (Extrusion Process) หรือกระบวนการรีดแผ่น (Calendaring Process) จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยกรรมวิธีการขึ้นรูปสามารถทำได้หลายวิธี [1] ดังนี้

2.1.1การขึ้นรูปแบบสุญญากาศ (Vacuum Forming) เทคนิคการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบตามลักษณะของแม่พิมพ์ที่ใช้ คือ แบบที่ 1 การขึ้นรูปด้วยสุญญากาศแบบนูนขึ้น (Drape Vacuum Forming) ซึ่งลักษณะของแม่พิมพ์เป็นแม่พิมพ์ตัวผู้ (Male Mould) โดยสามารถแสดงขั้นตอนของการขึ้นรูปได้ดังรูปที่ 2 แบบที่ 2 การขึ้นรูปด้วยสุญญากาศแบบโพรง (Cavity Vacuum Forming) ซึ่งเป็นลักษณะของแม่พิมพ์เป็นแม่พิมพ์แบบตัวเมีย (Female Mould) โดยสามารถแสดงขั้นตอนของการขึ้นรูปได้ดังรูปที่ 3



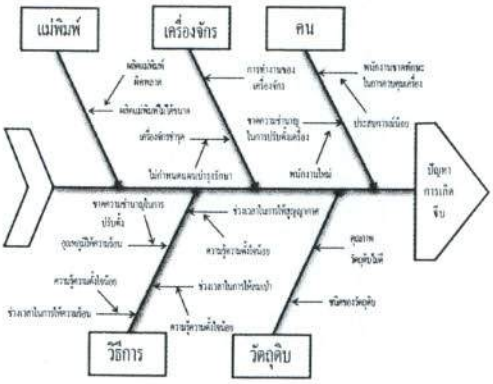
รูปที่ 2 ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบนูนขึ้น



รูปที่ 3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบโพรง

2.2 วิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลา

ทำการนิยามปัญหาให้ชัดเจน หมายถึง การนิยามปัญหาให้อยู่ในรูปปริมาณ ไม่ใช่อยู่ในรูปเชิงคุณภาพโดยควรมีการอภิปรายในกลุ่มให้เข้าใจก่อนการระดมสมองจะเริ่มขึ้น จากนั้นทำการระดมสมอง จากทีมโดยผ่านวิธีการเขียนความคิดเห็นลงในการ์ดที่เตรียมไว้แผ่นละหนึ่งข้อ และจัดกลุ่มของสาเหตุความเป็นไปได้ตามหลักของ 5M (คน เครื่องจักร วิธีการ วัตถุดิบ และแม่พิมพ์) และนำแผ่นกระดาษที่ ผ่านการระดมสมองมาจัดทำแผนภาพก้างปลา [2] ดังแสดงในรูปที่ 4

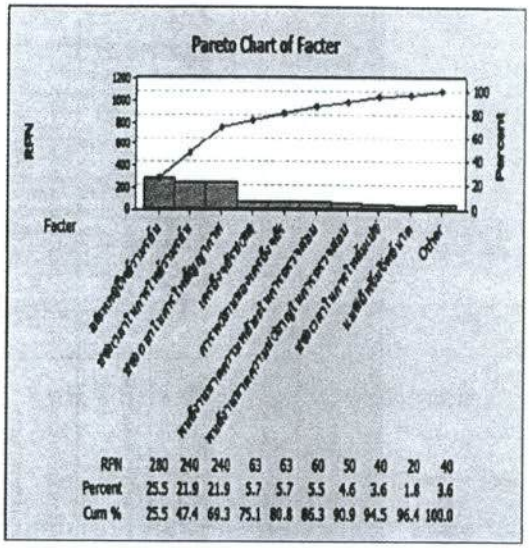


รูปที่ 4 วิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลา

2.3 วิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effect analysis: FMEA)

แนวความคิดพื้นฐานของการดำเนินการ FMEA เพื่อให้มีประสิทธิผลสูงสุดมี 3 ประการ คือ การดำเนินการโดยคณะทำงาน การดำเนินการผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ และการดำเนินการโดยเน้นการปรับปรุงไม่สิ้นสุด [3,4]

ทำการวิเคราะห์เพื่อหารากของปัญหา และสามารถดำเนินการป้องกันก่อนที่จะเสียหาย พบว่ามีข้อบกพร่องทั้งสิ้น 11 ข้อ ข้อบกพร่องที่คะแนนความเสี่ยงสูงสุดคือ 280 คะแนน ต่ำสุด 20 คะแนน และทำการเลือกค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ที่มีค่ามากกว่า 100 คะแนนตามมาตรฐานการทำงาน มาทำการแก้ไข ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 4 และตารางที่ 5



กราฟที่ 4 พาเรโตลำดับความสำคัญของ RPN Score ของ FMEA

ตารางที่ 5 ค่าคะแนนความเสี่ยงชี้นำข้อบกพร่อง

Facter	RPN
อุณหภูมิให้ความร้อน	280
ช่วงเวลาในการให้ความร้อน	240
ช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ	240
การทำงานของเครื่องจักร	63
เครื่องจักรชำรุด	63
พนักงานขาดความทักษะในการตรวจสอบ	60
พนักงานขาดความชำนาญในการตรวจสอบ	50
ช่วงเวลาในการให้ลมเป่า	40
คุณภาพของวัตถุดิบไม่ดี	20
ชนิดของวัตถุดิบ	20
แม่พิมพ์ไม่ได้ขนาด	20

ตารางที่ 4 ตารางวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่อง

Process Description/Function			Potential Failure Mod	Potential Effect of Failure	SEV ความรุนแรง	Potential Causes of Failure	โอกาสเกิด OCC	Current Control	การตรวจจับ DET	RPN
ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ			ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น	ผลกระทบจากความผิดพลาด		สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด		การควบคุมในปัจจุบัน		
MAN	1	พนักงานขาดความทักษะในการตรวจสอบ	พนักงานปรับตั้งเครื่องไม่ถูกต้อง	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	6	พนักงานขาดการอบรมก่อนเริ่มงาน	2	ก่อนการเริ่มปฏิบัติงานมีการอบรมพนักงานใหม่ทุกคน	5	60
	2	พนักงานขาดความชำนาญในการตรวจสอบ	พนักงานปรับตั้งเครื่องไม่ถูกต้อง	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	5	พนักงานขาดการอบรมเพื่อเพิ่มความรู้	2	มีการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มความรู้	5	50
Machine	3	การทำงานของเครื่องจักร	เครื่องจักรไม่สามารถทำงานตามที่ตั้งค่าไว้ได้	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	7	การบำรุงรักษาเครื่องจักรยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร	3	มีการตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนการทำงานทุกครั้ง	3	63
	4	เครื่องจักรชำรุด	ประสิทธิภาพการทำงานไม่ได้ตามกำหนด	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	7	ไม่กำหนดระยะเวลาตรวจเช็คบำรุงรักษา	3	มีแผนการบำรุงรักษาทุกๆ 1 เดือน	3	63
Method	5	อุณหภูมิให้ความร้อน	ตั้งค่าอุณหภูมิไม่เหมาะสม	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	7	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้องและเหมาะสม	5	ไม่มีการควบคุมค่า ±	8	280
	6	ช่วงเวลาในการให้ความร้อน	เวลาในการให้ความร้อนไม่เหมาะสม	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้องและเหมาะสม	6	ไม่มีการควบคุมค่า ±	8	240
	7	ช่วงเวลาในการให้ลมเป่า	เวลาในการให้ลมเป่าไม่เหมาะสม	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้องและเหมาะสม	4	ไม่มีการควบคุมค่า ±	2	40
	8	ช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ	เวลาในการให้สูญญากาศไม่เหมาะสม	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้องและเหมาะสม	6	ไม่มีการควบคุมค่า ±	8	240
Material	9	คุณภาพของวัตถุดิบไม่ดี	วัตถุดิไม่ได้มาตราฐาน	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	10	ขาดการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ	1	ตรวจสอบคุณภาพก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง	2	20
	10	ชนิดของวัตถุดิบ	ใช้วัตถุดิบผลิตประเภท	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	10	ขาดการตรวจสอบชนิดวัตถุดิบ	1	ตรวจสอบชนิดวัตถุดิบก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง	2	20
Mold	11	แม่พิมพ์ไม่ได้ขนาด	ขนาดแม่พิมพ์โตหรือเล็กกว่ามาตราฐาน	ชิ้นงานไม่ได้มาตราฐาน (เกิดจีบ)	5	แบบของแม่พิมพ์ไม่ตรงตามขนาด	1	ตรวจสอบขนาดแม่พิมพ์ก่อนการผลิต	4	20

2.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองไว้ว่า เป็นขบวนการในการแสวงหาความรู้ที่น่าเชื่อถือ โดยใช้วิธีการที่น่าเชื่อถือ และได้แบ่งการวิจัยออกเป็นหลายประเภทซึ่งหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งมี 3 ประเภทคือ การวิจัยเชิงประวัติศาสตร์ (Historical Research) การวิจัยเชิงบรรยาย (Descriptive Research) และการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ในที่นี้จะเน้นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งความหมายของการวิจัยเชิงทดลองมีดังนี้

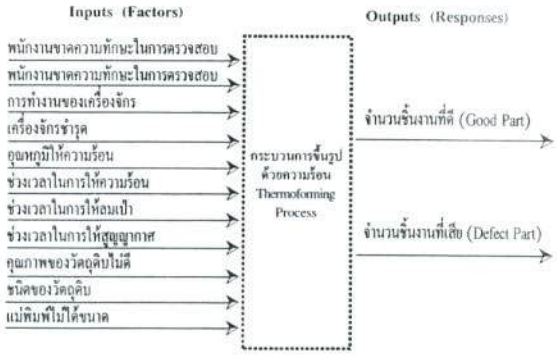
1. การวิจัยเชิงประวัติศาสตร์เป็นการวิจัยที่มุ่งบรรยายและวิเคราะห์ในสิ่งที่ควรจะเกิดขึ้นภายใต้สภาพการณ์การควบคุมอย่างระมัดระวัง

2. การวิจัยเชิงบรรยายคือ การวิจัยที่ผู้วิจัยมีการกระทำกับองค์ประกอบ เพื่อศึกษาว่าองค์ประกอบนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวผู้ถูกทดลองหรือไม่

3. การวิจัยเชิงทดลองเป็นการวิจัยที่ใช้ตัดสินว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตัวหนึ่งเป็นสาเหตุที่แท้จริงของการเปลี่ยนแปลงอีกตัวแปรตัวหนึ่งหรือไม่ ภายใต้เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปร หมายถึง การกระทำที่มีอิทธิพลต่อผลการทดลอง ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ (Independent Variable) คือ ตัวแปรที่ผู้ทดลองต้องการทดสอบว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองหรือไม่ และตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างอิสระ [5]

จากการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยใช้แผนภูมิก้างปลาและวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่อง (FMEA) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการมากที่สุด มาทำการออกแบบการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ปัจจัย (Factor) ที่มีผลต่อกระบวนการ

งานวิจัยนี้ ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design) เลือกการทดลองแบบ 2^3 ออกแบบให้ใช้ Full Factorial และทำซ้ำ 2 ครั้ง กำหนด Number of Blocks 1 เลือกการออกแบบ Randomize Runs เพื่อความเชื่อมั่นที่สูง รวมทั้งสิ้น 16 การทดลอง ใช้พลาสติกชนิดพอลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) ที่มีความหนา 0.4 มิลลิเมตรประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิให้ความร้อน 190 °C และ 210 °C, ช่วงเวลาในการให้ความร้อน 22 Sec. และ 37 Sec. และช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ 17 Sec. และ 27 Sec. โดยการกำหนดเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกด้วยความร้อนและสูญญากาศ ในการทดลอง เพื่อไม่ให้เกิดตัวแปรแทรกซ้อน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลองมากยิ่งขึ้น [1] ดังแสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ค่าของปัจจัยเดิมก่อนปรับปรุง

ปัจจัย	ค่าเดิมก่อนปรับปรุง	หน่วย
อุณหภูมิให้ความร้อน (Temperature, T)	210	องศาเซลเซียส
ช่วงเวลาในการให้ความร้อน (Heating time,H)	37	วินาที
ช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ (Vacuum time,V)	27	วินาที

ตารางที่ 7 ค่าของปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	Low	High	
อุณหภูมิให้ความร้อน (Temperature, T)	190	210	องศาเซลเซียส
ช่วงเวลาในการให้ความร้อน (Heating time,H)	22	37	วินาที
ช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ (Vacuum time,V)	17	27	วินาที

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 จัดเตรียมวัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

3.1.1 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน แบบสุญญากาศ (Vacuum Thermoforming) ของ MengXing รุ่น XC46-71/122A-WP ดังรูปที่ 6

3.1.2 พลาสติกชนิดพอลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) ที่มีความหนา 0.4 มิลลิเมตร

3.1.3 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป (Mold)

3.1.4 เครื่องปั๊มชิ้นงาน

3.1.5 มีดตัดชิ้นงาน (Die Cut)

รูปที่ 6 เครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกด้วยความร้อน และสูญญากาศ

3.2 วิธีการทดลอง

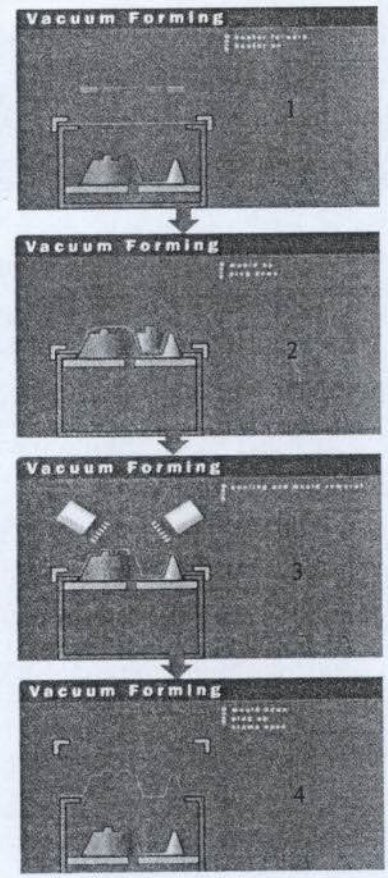
นำแผ่นพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) ติดตั้งกับรางโซ่ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนแบบสูญญากาศ จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยการปรับอุณหภูมิให้ความร้อน 190 °C และ 210 °C, ช่วงเวลาในการให้ความร้อน 22 Sec. และ 37 Sec. และช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ 17 Sec. และ 27 Sec. โดยแบ่งการขึ้นรูป ออกเป็น 4 ขั้นตอน ดัง แสดงรูปที่ 7

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากแผ่นพลาสติกถูกให้ความร้อนจนพลาสติกอ่อนตัว

ขั้นตอนที่ 2 แม่พิมพ์จะทำการดูดแผ่นพลาสติกให้ได้รูปร่างตามแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 3 ให้ความเย็นให้พลาสติกหลังการขึ้นรูปเย็นตัวลง

ขั้นตอนที่ 4 ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ได้ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 7 ขั้นตอนในการขึ้นรูปเพื่อใช้ในการทดลอง

จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปตัดขอบออก จากนั้นนำชิ้นงานมาวัดความลึกของร่องใส่ฮาร์ดดิสก์โดยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แล้วนำค่าที่ได้มาทำการทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อศึกษาหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

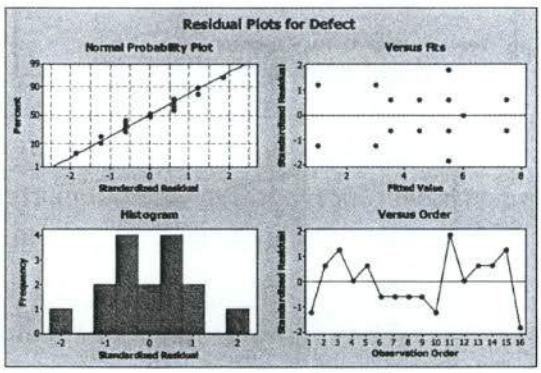
จากการวิเคราะห์ สภาพปัญหาและทางสถิติ ทำให้ได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัย อุณหภูมิให้ความร้อน 190 °C และ 210 °C, ช่วงเวลาในการให้ความร้อน 22 Sec. และ 37 Sec. และช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ 17 Sec. และ 27 Sec. ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k เลือกการทดลองแบบ 2^3 ออกแบบให้ใช้ Full Factorial และทำซ้ำ 2 ครั้ง ได้ทั้งหมด 16 การทดลอง ได้ผลตามตารางที่ 8

4.2 การทดสอบทางสถิติ

4.2.1 การตรวจสอบสมบัติของข้อมูล โดยใช้ Residual Plots สำหรับค่าการเกิดจีบในขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนแบบสูญญากาศ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตรวจสอบคุณสมบัติข้อมูล (Residual Plots)

ตารางที่ 8 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง

ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิให้ความร้อน (°C)	ช่วงเวลาในการให้ความร้อน (Scc.)	ระยะเวลาในการให้สูญญากาศ (Scc.)	จำนวนของเสีย (ชิ้น)
1	190	22	17	0
2	210	22	17	3
3	190	37	17	4
4	210	37	17	6
5	190	22	27	2
6	210	22	27	4
7	190	37	27	5
8	210	37	27	8
9	190	22	17	2
10	210	22	17	4
11	190	37	17	5
12	210	37	17	6
13	190	22	27	4
14	210	22	27	7
15	190	37	27	6
16	210	37	27	7

1. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลกราฟซ้ายมือบน มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติกราฟซ้ายมือ ล่าง มีการกระจายแบบปกติ

2. ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่เก็บมามีความแปรปรวน ของประชากรอย่างไร จากกราฟขวา บน แสดงว่าข้อมูล มีการกระจายตัวแบบสุ่ม อยู่เหนือและใต้พอๆ กัน ความแปรปรวนของประชากรเท่าๆ กัน

3.ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลกราฟขวา ล่าง เป็นการกระจายแบบสุ่ม กระจายทั่วๆ กัน ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน

4.2.2 การวิเคราะห์ ANOVA

พิจารณาค่า R^2 = 84.54% แสดงว่าการทดลองนี้ได้รับการออกแบบมาดีแล้ว หากความผันแปรทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 100 หน่วย แล้วสามารถอธิบายความผันแปรได้ถึง 84.54 หน่วย ส่วนที่เหลือไม่สามารถจะอธิบายได้

ด้วยสาเหตุด้านความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด (Repeatability) และหากทำการพิจารณาค่า R^2 Adjust = 71.02% แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลอง มีจำนวนเพียงพอ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ ANOVA ของทั้ง 3 ปัจจัย

Full Factorial Design

Factors: 3 Base Design: 3, 8
Runs: 16 Replicates: 2
Blocks: 1 Center pts (total): 0

All terms are free from aliasing.

Estimated Effects and Coefficients for Defect (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4.5625	0.2864	15.93	0.000
Tamp	2.1250	1.0625	0.2864	3.71	0.006
H.Time	2.6250	1.3125	0.2864	4.58	0.002
V.Time	1.6250	0.8125	0.2864	2.84	0.022
Tamp*H.Time	-0.3750	-0.1875	0.2864	-0.65	0.531
Tamp*V.Time	0.1250	0.0625	0.2864	0.22	0.833
H.Time*V.Time	-0.3750	-0.1875	0.2864	-0.65	0.531
Tamp*H.Time*V.Time	0.1250	0.0625	0.2864	0.22	0.833

S = 1.14564 PRESS = 42
R-Sq = 84.54% R-Sq(pred) = 38.18% R-Sq(adj) = 71.02%

Analysis of Variance for Defect (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	56.1875	56.1875	18.7292	14.27	0.001
2-Way Interactions	3	1.1875	1.1875	0.3958	0.30	0.824
3-Way Interactions	1	0.0625	0.0625	0.0625	0.05	0.833
Residual Error	8	10.5000	10.5000	1.3125		
Pure Error	8	10.5000	10.5000	1.3125		
Total	15	67.9375				

Estimated Coefficients for Defect using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-59.553
Tamp	0.260667
H.Time	1.51833
V.Time	1.04333

จากนั้นอ่านค่า P-Value ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ซึ่งปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าปัจจัยนั้น มีนัยสำคัญ หรือมีอิทธิพลต่อชิ้นงาน แต่หากมีค่ามากกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีนัยสำคัญหรืออิทธิพลต่อชิ้นงาน

จากตารางที่ 5 พบว่ามี 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยอุณหภูมิให้ความร้อน ช่วงเวลาในการให้ความร้อน ช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ มีค่า P-Value น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อขนาดของสลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$

การทดสอบค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) พบว่า หากจะทำการลดปัญหาของเสียในการขึ้นรูป ด้วยความร้อน จะต้องกำหนดปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ดังนี้ คือ ปัจจัย อุณหภูมิให้ความร้อน 190 °C , ช่วงเวลาในการให้ความร้อน 22 Sec. และช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ 17 Sec. ดังแสดงในตารางที่ 10 และกราฟที่ 9

ตารางที่ 10 การทดสอบค่าที่เหมาะสมที่สุดตามมาตรฐานการควบคุม

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Defect	Minimum	1	1	20	1	1

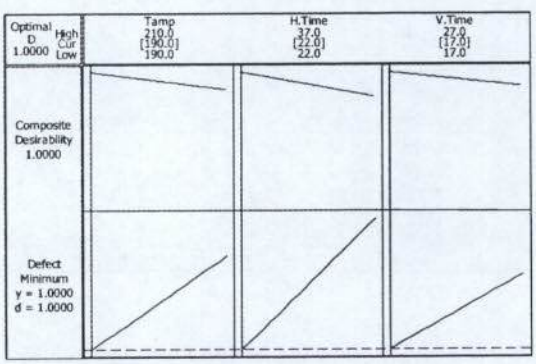
Global Solution

Tamp = 190
H.Time = 22
V.Time = 17

Predicted Responses

Defect = 1 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000



กราฟที่ 9 ค่าที่เหมาะสมที่สุดตามมาตรฐาน ที่กำหนด

7. สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยและทดลอง เพื่อหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการลดปัญหาของเสีย ในการขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบ การทดลอง จากผลการทดลองที่กล่าวมาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ปัจจัยและระดับที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิให้ความร้อน 190°C , ช่วงเวลาในการให้ความร้อน 22 Sec. และช่วงเวลาในการให้สูญญากาศ 17 Sec. โดยการเก็บข้อมูลจากการทดลองเป็นระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2555-กุมภาพันธ์ 2556 ผลการทดลองสามารถลดปริมาณของเสียลงได้ 89.15% จากเดิม 3.53% เหลือเพียง .93% ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง (ชิ้น)	หลังปรับปรุง (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
จำนวนการผลิต	869,334	357,532	89.15%
ของเสีย	30,676	3,329	
เปอร์เซ็นต์ของเสีย	3.53%	0.93%	
ค่าความสูญเสีย (9)บาท/ชิ้น	276,084	29,961	

ผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนานั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโมเดลอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาได้ แต่จำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมคือ เรื่องของความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ของลูกค้าแต่ละราย และในการศึกษาครั้งต่อไป หากมีการเพิ่มเติม โดยการนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง ประยุกต์ใช้ในช่วงที่ผลิตภัณฑ์กำลังทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product) ก็จะยิ่งส่งผลให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อเริ่มทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไปแล้ว การปรับปรุงแก้ไขบางอย่างทำได้ยากมาก เนื่องจากจะกระทบต่อต้นทุน และอาจต้องแจ้งให้ลูกค้าทราบ เพื่อขออนุมัติการเปลี่ยนแปลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ คณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อนห้อง M51IE ทุกๆ คนที่ให้ความอนุเคราะห์ คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจในทุกๆ เรื่องเสมอมา อีกทั้งทุกๆ กำลังใจที่ไม่ได้กล่าวถึง

เอกสารอ้างอิง

[1] จักรพันธ์ ต้นศรีวงษ์, 2553 **การศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลีเอทอลีนสำหรับเครื่องขึ้นรูปแบบสูญญากาศโดยวิธีการออกแบบการทะดลอง.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระเหนือ

[2] เสรี วิศิษฎ์ศีลวัต. **การแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ 7 ชนิด และผังพาเรโต (Problem solving 7 QC Tool-Pareto)**, [ออนไลน์] Available: http://www.lib13.net/c-management/problem-solving/7-qc-tools2.php (8 มิถุนายน 2553)

[3] University of Cambridge. **FMEA (Failure Modes and Efefcts Analysis)**. [online] Available: http:/www.ifm.eng.cam.ac.uk/dmg/tools/process/fmea.html (November 2009)

[4] กิติศักดิ์ พลอยพานิชย์เจริญ, 2551 **การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ.** กรุงเทพ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

[5] วรุตม์ บุญภักดี, 2550 **การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ OLVENTRE COVERY โดยวิธีการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม กรณีศึกษา บริษัท ยูเนี่ยนไทย-นิจิบัน จำกัด.** บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.