บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการอบเพื่อลดอัตราการยืด-หดตัวของพีอีทีฟิล์มในการผลิตแผงสวิตซ์สำหรับควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมแนวคิด ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ดังปรากฏในรายละเอียดต่อไปนี้

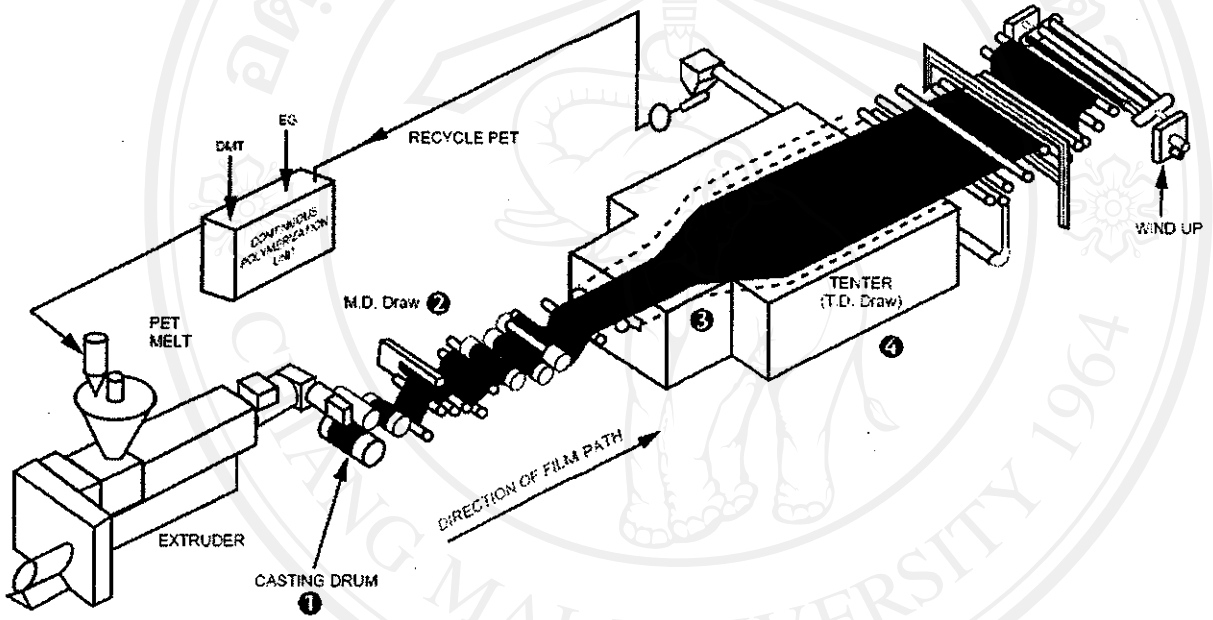
2.1 กรรมวิธีการผลิตแผ่น PET Film

PET Film (Polyethylene Terephthalate Film) เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ได้รับความที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น แผ่นสวิทช์ควบคุม (Membrain Switch) สำหรับแป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ เตาไมโครเวฟ และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ทั่วไป ในขบวนการผลิต PET Film จากวัตถุดิบที่เป็นเม็ดพลาสติกจนกระทั่งกลายเป็นแผ่นพลาสติก PET Film สำเร็จรูปจะต้องผ่านขั้นตอนดังนี้คือการผสมวัตถุดิบประกอบด้วย เอทิลีนไกโคล (Ethylene Glycol) และไดเมธทิลเทอร์เลปทาเลท์ (Dimethyl Terephthalate) ในอัตราส่วน 2.2 : 1 ที่อุณหภูมิระหว่าง 150~220°C. จนกระทั่งกลายเป็นโมโนเมอร์ของ PET (DHET) แล้วทำการลดความดันลงเพื่อดึงเอทิลีนไกโคล (Ethylene Glycol) ออกไป อุณหภูมิสุดท้ายในสภาวะของโพลิเมอร์นี้จะถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิที่สูงกว่า 260°C. จนทำให้โพลิเมอร์อยู่ในสถานะของของเหลว จากนั้นจะถูกส่งไปขึ้นรูปโดยวิธีการอัดขึ้นรูป (Extrusion) ด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Pump) ให้ไหลผ่านแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปซึ่งจะมีลักษณะเป็นช่องเล็กและยาวซึ่งความหนาของแผ่นพลาสติกที่ถูกอัดออกมาจะถูกควบคุมโดยการปรับระยะห่างของช่องดังกล่าวให้มีความหนาตามที่ต้องการแล้วลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วด้วยลูกกลิ้งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (Quenching Roller)

แม้ว่าแผ่นพลาสติกดังกล่าวถูกขึ้นรูปตามต้องการแล้วแต่ยังคงถูกหนีบและให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งก่อนส่งผ่านต่อไปยังลูกกลิ้งตัวที่สองซึ่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เร็วกว่าตัวแรกในอัตราส่วน 3.2 : 1 แผ่นพลาสติกจะถูกดึงออกเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ในทิศทางของการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดความเค้นขึ้นในแนวเดียวกันกับการเคลื่อนที่เรียกว่า Machine Direction (MD) ขณะเดียวกันในส่วนขอบด้านข้างของแผ่นฟิล์มก็จะถูกยึดด้วยตัวจับแล้วดึงออกทางด้านข้างซึ่งจะยึดติดอยู่กับโซ่ที่เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วของแผ่น PET Film ผ่านเตาอบที่อุณหภูมิ สูงกว่า 150 °C. การดึงออกทางด้านข้างนี้จะถูกกระทำอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแผ่นฟิล์มขยายตัวออกเป็น 3.16 : 1 เท่าของความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กว้างเดิม ความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางนี้เรียกว่า Transverse Direction(TD) ในขั้นตอนนี้แผ่นฟิล์มถูกดึงให้ยืดออกเป็น 3.16 เท่าในทั้งสองทิศทางและมีความหนาตามที่ต้องการแล้วไหลผ่านต่อไปยังขั้นตอนการสร้างผลึกหรือการปรับปรุงโครงสร้างด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 200°C. จากนั้นแผ่นฟิล์มก็จะไหลต่อไปสู่ช่วงลดความร้อนสุดท้ายตัวหนีบก็จะปล่อยแผ่นฟิล์มที่เย็นตัวแล้วและถูกตัดขอบให้ได้ขนาดความกว้างตามกำหนดแล้วม้วนเก็บเพื่อรอจำหน่ายต่อไป (Autotype International Limited, 1998; C.R. Clarke & Co,2007)



รูปที่ 2.1 แสดงกรรมวิธีการผลิตของแผ่น PET Film
ที่มา: DuPont Teijin Film (2003)

2.2 กรรมวิธีการอบลดความเค้นของ แผ่น PET Film

การอบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นพลาสติก PET Film มีปัจจัยที่ส่งผลให้แผ่นพลาสติก PET Film ยืด-หดตัวทำให้มีขนาดที่ไม่แน่นอนในกระบวนการผลิตแผงวงจรสวิทช์ควบคุมเกิดขึ้นได้จากหลาย ๆ สาเหตุ เช่น ความเค้นเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและหลงเหลืออยู่ในแผ่นพลาสติก การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศบริเวณสถานที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บแผ่น PET Film เป็นต้น ดังนั้นก่อนการนำแผ่น PET Film ไปใช้งานจะต้องทำการอบ (Annealing) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นพลาสติก PET Film ให้อยู่ในสภาวะที่คงที่ไม่ยืด-หด โดยการขจัดความเค้นในตัววัสดุให้หมดไปรวมทั้งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งความเหนียวให้ดีขึ้นด้วย

กระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่น PET Film ที่ใช้กันอยู่มีได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือวิธีการอบด้วยเตาอบแบบลมร้อน (Hot Air Oven) ส่วนการอบนั้นก็พบว่ามีส่วนสำคัญต่อกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่น PET Film เช่นกัน ถ้าหากทำการอบแบบต่อเนื่องแบบเป็นม้วน (Roll to Roll) ก็พบว่าสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่น PET Film ให้เป็นไปตามความต้องการได้ยากเนื่องจากแรงดึงเพื่อม้วนเก็บที่จะกระทำต่อแผ่นพลาสติก PET Film ในขณะอบจะต้องควบคุมให้มีขนาดที่ต่ำกว่าค่าที่จะทำให้เกิดความเค้นขึ้นในตัวพลาสติก แต่ถ้าหากแผ่นพลาสติกเคลื่อนที่ไปอย่างช้า ๆ ภายใต้อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานเกินไปก็จะมีผลกระทบกับคุณสมบัติของพลาสติกเช่นเดียวกัน ดังนั้นเพื่อให้กรรมวิธีการอบสามารถควบคุมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าจึงควรใช้การอบในลักษณะที่ตัดแผ่นพลาสติก PET Film ออกเป็นแผ่นแล้วนำไปอบจะทำให้ไม่มีแรงไปกระทำในขณะอบและสามารถควบคุมเวลาในการอบได้ตามต้องการซึ่งจะเป็นวิธีที่ดีเหมาะสมที่สุด (Blumentritt, 1997)

2.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ เราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k (Full Factorial Designs at Two levels) โดย k=จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษา และ 2 คือระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองซึ่งมักใช้คำกล่าวเกี่ยวกับระดับของปัจจัยเป็น ระดับ "สูง" หรือ "ต่ำ" หรือการ "มี" หรือ "ไม่มี" ของปัจจัยนั้น ๆ ก็ได้ การทดลองรูปแบบนี้ เป็นการทดลองที่สามารถศึกษาผลของปัจจัยทุกตัวเปลี่ยนแปลงระดับของทุกปัจจัยพร้อม ๆ กัน แต่ก็อยู่ภายใต้สมมติฐาน 3 ประการ คือ ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completed Randomized) และสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติที่ยอมรับได้ ดังนั้นถ้าหากสนใจศึกษาผลของปัจจัย 2 ปัจจัย จะมีจำนวนเงื่อนไขการทดลองทั้งสิ้น 4 การทดลอง (2^2, k = 2 ปัจจัย) เงื่อนไขการทดลอง แสดงได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เงื่อนไขการทดลอง	A	B
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

โดย - แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับต่ำ

\+ แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับสูง

ถ้าจำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาในการทดลองเพิ่มขึ้น จำนวนเงื่อนไขการทดลองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบเอ็กโปเนนเชียล (2^k) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาและจำนวนเงื่อนไขการทดลอง กรณีจำนวนระดับของปัจจัย=2

จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษา (k)	เงื่อนไขการทดลอง
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
:	:
k	2^k

สำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ กำหนดว่า ผลเฉลี่ยของปัจจัยหนึ่ง คือ ความเปลี่ยนแปลงของผลตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกนำมาเฉลี่ยกับระดับของปัจจัยอื่น ดังนั้นในการทดลองเกี่ยวกับการออกแบบ 2^k จึงต้องตรวจสอบทั้งขนาดและทิศทางของปัจจัยที่มีผลเพื่อที่จะหาว่า ตัวแปรใดน่าจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดผลขึ้น และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นตัวยืนยันข้อสรุปนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากการการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k แล้ว ยังปรากฏว่าได้ถูกขยายผลหรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับงานบางประเภท โดยเฉพาะการออกแบบปัจจัยทุกตัวประกอบด้วย 3 ระดับ โดยเรียกการออกแบบว่า 3^k

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 3^k คือการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และระดับทั้งสามแต่ละปัจจัยมีค่าเป็นต่ำ ปานกลาง และสูง ดังนั้นถ้าหากสนใจศึกษาผลของปัจจัย 3 ปัจจัย จะมีจำนวนเงื่อนไขการทดลองทั้งสิ้น 27 การทดลอง (3^3, $k = 3$ ปัจจัย) นอกจากนี้การออกแบบการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเงื่อนไขที่มีจำนวนปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเงื่อนไขการทดลอง จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษา และจำนวนระดับของปัจจัย

จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนระดับของ ปัจจัย=2	จำนวนระดับของ ปัจจัย=3	จำนวนระดับของ ปัจจัย=4
2	$2^2=4$	$3^2=9$	$4^2=16$
3	$2^3=8$	$3^3=27$	$4^3=64$
4	$2^4=16$	$3^4=81$	$4^4=256$
:	:	:	:
k	2^k	3^k	4^k

หมายเหตุ: ตัวอย่างของระดับของปัจจัยในการทดลองมี 2 ระดับ (levels) คือ ต่ำ (-) และสูง (+)

ตัวอย่างของระดับของปัจจัยในการทดลองมี 3 ระดับ (levels) คือ ต่ำ (-) กลาง (0) และสูง (+)

จากตารางแสดงความสัมพันธ์ข้างต้น จะเห็นว่าถ้าจำนวนระดับของปัจจัยที่ศึกษาเพิ่มขึ้น จำนวนเงื่อนไขการทดลองทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น กรณีสนใจศึกษาผลของปัจจัย 5 ปัจจัย ถ้าจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยเพิ่มจาก 2 ระดับเป็น 4 ระดับ จำนวนเงื่อนไขการทดลองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 32 การทดลองเป็น 1,024 การทดลอง เพราะจำนวนการทดลองมากเกินไป โดยปกติมีทรัพยากรสำหรับการทดลองอย่างจำกัด ดังนั้นเบื้องต้นอาจเลือกการออกแบบการทดลองโดยใช้จำนวนระดับของปัจจัยแค่ 2 ระดับ ซึ่งอาจให้ข้อมูลน้อยกว่าออกแบบการทดลองที่ใช้จำนวนระดับมากกว่าคือ 4 ระดับ โดยเฉพาะกรณีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลตอบไม่ใช่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Nonlinear) แต่จุดประสงค์เบื้องต้นหรือสำหรับการทดลองเพื่อหาข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเบื้องต้นว่าควรออกแบบอย่างไรต่อไป

การกำหนดระดับของปัจจัยการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของปัจจัยเริ่มต้นจะต้องกำหนดระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ของแต่ละปัจจัย การกำหนดระดับของปัจจัยมีผลมากต่อผลการวิเคราะห์ และผลสรุปการกำหนดระดับของปัจจัย โดยพิจารณาระดับปกติหรือค่ากลางของแต่ละปัจจัย ซึ่งระดับปกติหรือค่ากลางได้มาจากการสอบถามผู้รู้ และการวิจัยค้นคว้า หลังจากกำหนดค่ากลางแล้วเพิ่ม และลดระดับของปัจจัยจากค่ากลาง เพื่อหาช่วงของปัจจัยที่เป็นไปได้ หรือสามารถทำการทดลองได้ จากช่วงที่เป็นไปได้ของปัจจัย เลือกระดับสูงต่ำให้เหมาะสม กับข้อจำกัดในการทำการทดลอง เช่น ข้อจำกัดของวัสดุอุปกรณ์ งบประมาณในการทดลอง (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

2.4 วิธีของทากูชิ (Taguchi Method)

ในประเทศญี่ปุ่นในห้องแล็ป Electronic Control ดอกเตอร์เกนอิชิ ทากูชิ ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความมีนัยสำคัญโดยใช้เทคนิค Design of Experiment (DOE) นี้ให้ง่ายขึ้นต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของการผลิตสินค้า DOE ฉบับมาตรฐานของทากูชินี้รู้จักกันในชื่อ Taguchi Method หรือ Taguchi Approach และถูกนำไปใช้ในสหรัฐอเมริกาเมื่อต้นปี ค.ศ. 1980 ในปัจจุบันเทคนิคนี้เป็นหนึ่งในโครงการคุณภาพที่วิศวกรทุกแขนงใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งจะช่วยให้วิศวกร นักวิทยาศาสตร์ และนักวิจัยประหยัดเวลาในการตรวจสอบการทดลอง อย่างไรก็ตามแนวคิดของวิธีทากูชิ การออกแบบการทดลองโดยวิธีทากูชิ และขั้นตอนการทดลองโดยวิธีทากูชิ มีรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้ (กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์, 2546)

แนวคิดของวิธีทากูชิ (Taguchi Method)

แนวคิดของทากูชิ เป็นแนวคิดที่จะรวมคุณภาพให้อยู่ในผลิตภัณฑ์แทนที่จะใช้การสุ่มตรวจสอบคุณภาพที่ขบวนการสุดท้ายได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในการสุ่มตรวจสอบแบบทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพจะถูกแยกออกแต่คุณภาพของกระบวนการยังคงเหมือนเดิม อันที่จริงขบวนการต่างหากที่ก่อให้เกิดคุณภาพและสำคัญกว่าการสุ่มตัวอย่างมากมายนัก วิธีของทากูชิ (Taguchi Method) ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ วิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมญี่ปุ่นโดยทั่วไปแล้วคุณภาพจะลดลงโดยการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนของสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวิธีการของทากูชิ พยายามทำให้ขบวนการทำงานได้ตามที่ถูกออกแบบโดยมีภูมิคุ้มกันต่อสิ่งรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การออกแบบการทดลองโดยวิธีทากูชิ

การออกแบบการทดลองเป็นการศึกษาถึงผลของปัจจัยที่ควบคุมได้ (Control Factor) เช่น ขนาดของชิ้นส่วนสามารถควบคุมได้ง่ายโดยผู้ออกแบบและปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) หรือ (Noise Factor) เช่น ตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อม การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิตที่ไม่สมบูรณ์ ฯลฯ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังเป็นแหล่งของความผันแปรอีกด้วย ซึ่งอิทธิพลที่เกิดจากตัวแปรเหล่านี้ไม่สามารถที่จะจำกัดได้ เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของ Robust Design (RD) เป็นการลดความผันแปรของผลิตภัณฑ์ โดยทำการลดความไวของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อแหล่งความผันแปร โดยทำการควบคุมแหล่งความผันแปรเหล่านี้ หรืออีกนัยหนึ่งคือ Robust Design จะลดความผันแปรของค่าตอบสนองโดยทำการเลือกปรับตั้งปัจจัยควบคุม เพื่อลดอิทธิพลของตัวแปรที่ควบคุมได้ยาก (Hard-to-Control Noise) นี่เป็นจุดสำคัญของ Off Line Quality Control

ขั้นตอนของการทดลองโดยวิธีของทากูชิ

วิธีของทากูชิสำหรับสนับสนุน Robust Design (RD) มีขั้นตอนในการปฏิบัติที่สำคัญ 4 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Formulate the Problem)

ในขั้นตอนนี้วิศวกรจะต้องจัดการกับปัญหาของ Robust Design ให้แน่นอน โดยการกำหนดวัตถุประสงค์เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการให้ชัดเจนและกำหนดข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์คุณลักษณะเฉพาะของค่าตอบสนองของกระบวนการ (Process Response) และทำการไตร่ตรองวัตถุประสงค์เหล่านี้

2. ขั้นการวางแผนทดลอง (Plan the Experiment)

ขั้นตอนในการวางแผนการทดลองสามารถแยกออกเป็นขั้นตอนย่อยได้ 2 ขั้นตอน คือ

2.1 ออกแบบตารางการทดลอง (Design the Matrix Experiment) ทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยพร้อม ๆ กันคือ การกำหนดตารางแผนการทดลองโดยใช้ Orthogonal Array ประโยชน์ของ Orthogonal Array มีหลายประการด้วยกันคือ (1) ผลสรุปที่ได้จากการทดลองแต่ละการทดลอง จะใช้ได้ครอบคลุมกับขอบเขตของการทดลองทั้งสิ้นโดยการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง (2) ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองเป็นอย่างมาก (3) ความง่ายในการวิเคราะห์ข้อมูล และ (4) สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงได้จาก Additive Model

2.2 ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล (Conduct the Experiment and Collect Data) การทดลองจริงเป็นการทำให้บรรลุซึ่งผลสำเร็จ และการปฏิบัติการทดลองนี้เป็นการหาค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ ผลการทดลองจะถูกนำไปใส่ตาราง โดยที่เครื่องชี้วัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปฏิบัติสำหรับการทดลองทั้งหมด จะทำการแปลงให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) โดยที่คุณลักษณะของ S/N Ratio สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ Small-the-Better Type Problem, Nominal-the-Best-type Problem และ Large-the-Better Type Problem อัตราส่วนของ S/N Ratio มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) ของปัญหาของวิศวกรถ้าหากเกิดความล้มเหลวในการหาเป้าหมายก็จะนำไปสู่การสรุปผลที่ผิดพลาดได้ในเรื่องของระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

ในการกำหนดตารางแผนการทดลอง (Matix Experiment) โดยใช้ตารางมาตรฐานของวิธีทากูชิ (Orthogonal Array) ตารางแผนการทดลองจะประกอบด้วยเซตของการทดลอง ซึ่งมีผลิตภัณฑ์หรือปัจจัยของกระบวนการที่เราต้องการศึกษาจากการทดลอง หลังจากดำเนินการกำหนดตารางแผนการทดลองจะต้องดำเนินการทดลอง โดยกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองตามตารางแผนการทดลองที่ได้กำหนดไว้ และเมื่อดำเนินการทดลองเสร็จแล้วจะต้องนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Analysis The Result)

หลังจากได้ตารางผลลัพธ์ของการทดลองที่ถูกต้องแล้ว การสรุปผลที่ได้จากการทดลองเป็นการวิเคราะห์เพื่อความสัมพันธ์ของอิทธิพลของปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย ขั้นตอนหลักในการวิเคราะห์ผลลัพธ์คือ การวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางผลลัพธ์ของการทดลองและใช้ผลลัพธ์นี้ ทำนายค่าที่ดีที่สุดของการรวมกันของระดับปัจจัย (Optimal Factor Level Combination) ซึ่งจะให้ผลการปฏิบัติที่ดีที่สุด ขั้นตอนนี้เรียกว่าการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean) หรือ ANOM การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนและหาความสัมพันธ์ที่สำคัญของปัจจัย ๆ ปัจจัยใช้วิธีแยกความแปรปรวน ซึ่งเรียกอย่างง่าย ๆ ว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) หรือ ANOVA

4. ขั้นทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirm the Experiment)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทดลองในกระบวนการที่มั่นคง ขั้นตอนนี้จะเกี่ยวกับพิสูจน์ค่าที่ดีที่สุดของ Factor Level Combination ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างมีเหตุผล โดยการกำหนดตารางแผนการทดลองให้สอดคล้องกับโครงการที่จะทำการปรับปรุง ในการกำหนดแผนการทดลองเพื่อยืนยันผลจะใช้ Factor Level Combination ที่ได้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุด ซึ่ง Factor Level Combination นี้จะได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ANOM ถ้าค่าตอบสนองที่มีค่าตรงตามที่ได้ทำนายไว้ ก็แสดงว่า Factor Level Combination ที่ให้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ANOM เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดจริง สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงโครงงานหรือกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การออกแบบพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface Design) (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2544)

ปัจจุบันมีความสนใจในการออกแบบเพื่อหาความสอดคล้องกับพื้นที่ของการตอบสนอง และประเมินความเหมาะสมในสภาวะของการทดลอง การออกแบบที่เรียกว่า Response Surface Design (RSD) และการวิเคราะห์ได้ถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาคำตอบของการทดลองที่ประกอบด้วยจำนวนปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย ซึ่งนำทางสู่การค้นพบการตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด การตอบสนองที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้ใน 2 ลักษณะ คือ การตอบสนองมากที่สุด (Maximum) หรือการตอบสนองต่ำสุด (Minimum) ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการทดลอง

วิธีการของพื้นที่ตอบสนองประกอบด้วยกลุ่มของเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาจากค่าสังเกต เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอบสนอง (Response Variable) ที่วัดได้ 1 หรือ 2 ค่า เช่น ผลผลิต ดัชนีค่าสี และความหนืด กับตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง (Input Variables) เช่น เวลา อุณหภูมิ ความดัน และความเข้ม อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ ได้ใช้เพื่อให้คำตอบต่าง ๆ เช่น

1. ค่าตอบสนองได้รับผลกระทบจากชุดสิ่งทดลองบนพื้นที่เฉพาะที่น่าสนใจบางอย่างได้อย่างไร

2. ถ้าจำเป็นชุดของสิ่งทดลองอะไรที่จะให้ผลิตภัณฑ์หนึ่งเป็นที่น่าพอใจตรงตามข้อกำหนดจำเพาะพร้อม ๆ กัน

3. ค่าอะไรของสิ่งทดลองที่จะให้ผลผลิตในจุดที่สูงที่สุดของพื้นที่เฉพาะหนึ่ง ๆ และพื้นที่การตอบสนองอะไรที่ใกล้กับค่าสูงสุดนี้ได้

การศึกษาค่าตัวแปรเพื่อให้ได้คำตอบต่าง ๆ อยู่ในรูปของสมการ

$$Y = \int(X_1, X_2, \ldots, X_n) + \varepsilon$$

เมื่อ y = ค่าตอบสนองที่สังเกตได้ ซึ่งมักรู้จักกันในชื่อ Dependent Variable

$\int$ = ฟังก์ชั่นของการตอบสนองของ $X_1, X_2, \ldots, X_n$ ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ซึ่งมักรู้จักกันในชื่อ Independent Variable

ε = เทอมของความคลาดเคลื่อนสุ่ม

แม้ว่ารูปแบบความเที่ยงตรงของฟังก์ชั่นการตอบสนอง $\int$ มักจะไม่ทราบเสมอ มักจะให้เห็นว่าโดยทั่วไปสามารถประมาณการมันได้โดยฟังก์ชั่นเชิงเส้นตรงหรือเส้นโค้งของตัวแปรเชิงปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Relationship) เป็นดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots\ldots\ldots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

ซึ่งสมการดังกล่าวเป็นสมการพื้นฐานง่ายสุด ที่มักรู้จักกันว่าเป็นรูปแบบหรือสมการลำดับที่หนึ่ง (First-order Model or Equation) ส่วนรูปแบบลำดับที่สอง (Second-order Model) เป็นความสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นโค้ง (Quadratic Regression Relationship)

$$\begin{aligned} Y = {} & \beta_0 + \beta_1 X_1 + \ldots\ldots\ldots + \beta_n X_n \\ & + \beta_{11} X_1^2 + \ldots\ldots\ldots + \beta_{nn} X_n^2 \\ & + \beta_{12} X_1 X_2 + \ldots\ldots\ldots + \beta_{n-1,n} X_{n-1} X_n + \varepsilon \end{aligned}$$

พารามิเตอร์ของสมการนี้โดยทั่วไปมักไม่ทราบ ดังนั้นจะต้องถูกประมาณจากผลการทดลอง ความหมายในเชิงกายภาพของพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นดังนี้

β_0 = จุดตัด (Intercept) หรือ Grand Mean

β_i = เป็นผลเชิงเส้นตรง (Linear Effect) ของ X_i เมื่อ i=1,....,n

β_{ii} = เป็นผลเชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) ของ X_i เมื่อ i =1,.....,n

β_{ij} = เป็นผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ของ X_i และ X_j เมื่อ $i < j$ และ i = 1,.....,n-1 ส่วน j=1,....,n-1

ในเทอมของความคลาดเคลื่อนโดยปกติจะถูกกำหนดให้มีการกระจายตัวเทียบกับค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีค่าความแปรปรวนเป็น σ^2 ความแปรปรวนในเชิงปริมาณ σ^2 ในการกระจายตัวของค่าตอบสนองเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างจุดต่าง ๆ ที่ออกแบบกับความคลาดเคลื่อนในการทดลองที่ไม่สามารถควบคุมได้ ความแปรปรวนเนื่องจากความแตกต่างระหว่างจุดต่าง ๆ ที่ออกแบบสามารถอธิบายโดยฟังก์ชั่นของการตอบสนองถ้าเกิดทราบความแปรปรวนดังกล่าว แต่โดยปกติฟังก์ชั่นของการตอบสนองที่เป็นจริงไม่ค่อยทราบมาก่อน ดังนั้นจึงมักจะต้องประมาณการของค่าดังกล่าว เป็นผลให้การกระจายตัวของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่เฉพาะแต่เกิดเนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเพียงอย่างเดียวแต่เกิดเนื่องจากการขาดความสอดคล้องของรูปแบบหุ่นที่ประมาณการขึ้นมาหรือเรียกว่า Lack of fit of estimate model ถ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปแบบหุ่นที่ประมาณขึ้นมามีความสอดคล้องในการตอบสนองที่กำลังคาดคะเนแล้วค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) ของความคลาดเคลื่อน จะเกิดเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการทดลองเพื่อประเมินความเหมาะสมของรูปแบบหุ่นที่ประมาณ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนจึงถูกแบ่งเป็น ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในการทดลอง และผลรวมกำลังสองอันเนื่องมาจากการขาดความสอดคล้องของรูปแบบหุ่น

หลักการทางสถิติของกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) ถูกนำมาใช้ในการประมาณพารามิเตอร์ของฟังก์ชั่นการตอบสนองของสมการถดถอยที่ตั้งสมมุติฐานขึ้น เมื่อพารามิเตอร์ของฟังก์ชั่นการตอบสนองที่ถูกตั้งสมมติฐานขึ้นถูกแทนด้วยค่าประมาณของมัน ผลลัพธ์คือฟังก์ชั่นของการตอบสนองจะถูกทำให้สอดคล้องขึ้นและค่า Y จึงเป็นดังนี้

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + \ldots\ldots + b_n X_n$$

สมการดังกล่าวเป็นฟังก์ชั่นการตอบสนองเชิงเส้นตรงที่ถูกทำให้สอดคล้องซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนการตอบสนองสำหรับค่าที่ต้องการของตัวแปรเชิงปริมาณ (Independent Variables) เมื่อฟังก์ชั่นการตอบสนองที่ถูกทำให้สอดคล้อง (Y) ได้นำมาสร้างกราฟในลักษณะของฟังก์ชั่นของตัวแปรเชิงปริมาณ ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างกราฟนี้เรียกว่า Response Surface Plots หรือ Contour Maps

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์ (2546) ทำการศึกษา การปรับปรุงคุณภาพงานหล่อนิกเกิล - อลูมิเนียมบรอนซ์โดยวิธีการของทากูชิ การพัฒนาและการปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อบรอนซ์ผสมดังกล่าวใช้วิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยหลักการของทากูชิ และใช้แผนการทดลอง Orthogonal Array L9 (3^4) ตามมาตรฐานของ Taguchi Method กำหนดตัวแปรที่มีผลต่องานหล่อ 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิเท ส่วนผสมทางเคมีของนิกเกิล ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม และส่วนผสมทางเคมีของสังกะสี การออกแบบการทดลองจะกำหนดระดับของตัวแปร 3 ระดับ ดังนี้ อุณหภูมิเทที่ 1150 ^{o}C, 1250 ^{o}C และ 1350 ^{o}C ส่วนผสมของนิเกิลที่ 10%, 12%, และ 14% ส่วนผสมของอลูมิเนียมที่ 10%, 12% และ 14% ส่วนผสมของสังกะสีที่ 6%, 8% และ 10% และทำการทดลอง 9 ครั้งตามแผนการทดลอง ผลการทดลองได้ปัจจัยที่ทำให้สมบัติด้านความแข็งตัวที่ดีที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิเทที่ 1350 ^{o}C นิกเกิล 14% อลูมิเนียม 12% และสังกะสี 8%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปมิกา สุวรรณมณี (2548) ทำการศึกษา การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา : โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ โดยเห็นว่าจากสภาพปัญหาในการทำสีของกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ พบว่าไม้ของเสียที่เกิดจากการพ่นสีไม่ได้มาตรฐานเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาของเสียที่พบมากที่สุด คือ ปัญหาเป็นผิวส้ม ดังนั้นจึงต้องการศึกษาเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการพ่นสีที่ทำให้เกิดของเสียสีเป็นผิวส้มน้อยที่สุดโดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่ามีปัจจัย 5 ปัจจัย คือ ความสูงของหัวปืนพ่นสี (ระยะห่างระหว่างงานกับหัวปืนพ่นสี) ความเร็วของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของสายพาน แรงดันลม และความหนืดสีที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองของทากูชิ พบว่า ความหนืด และแรงดันลมมีอิทธิพลต่อปัญหาสีเป็นผิวส้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนความสูงของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของหัวปืนพ่นสี และความเร็วของสายพาน ตามมาตรฐานการทำงานปัจจัยไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหานี้ และเมื่อนำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลองมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับ เมื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง พบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของความหนืดสีคือ 10-10.5 วินาที และค่าแรงดันลมที่เหมาะสม คือ 4 บาร์ และจากการนำผลการวิจัยไปใช้ในการทำงานจริง พบว่า จำนวนของสีเป็นผิวส้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมมีงานเสียเฉลี่ย 532 ชิ้น/เดือน ลดลงเหลือ 210 ชิ้น/เดือน จากปริมาณการผลิต 10,000 ชิ้น/เดือน คิดเป็นจำนวนงานเสียลดลงร้อยละ 60.49 และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานเดิม 306,432 บาท/ปี เหลือเพียง 120,960 บาท/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 185,472 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานลดลงร้อยละ 60.53

การวิจัยเกี่ยวกับพอลิเมอร์และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ และอมร เพชรสม (2537) ทำการศึกษาการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากขวดเพทที่ใช้แล้ว ด้วยการย่อยสลายทางเคมีโดยการไกลโคไลซ์ในไกลคอลปริมาณมากเกินพอ เช่น เอทิลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล และไดเอทิลีนไกลคอล โดยมีซิงค์อะซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 190 ^{o}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ผลที่ได้จากปฏิกิริยา ส่วนใหญ่จะเป็นบิสไฮดรอกซีเอทิล เทเรฟธาเลท (BHET) ซึ่งเป็นโมโนเมอร์ของเพท และเมื่อนำผลที่ได้นี้ไปทำปฏิกิริยากับเลอิกแอนไฮไดรด์ และผสมกับสไตรีนโมโนเมอร์จะได้พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถทำให้แข็งตัวโดยการใช้เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (MEKPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล ระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้จากขวดเพทที่ใช้แล้ว กับพอลิเอสเตอร์เรซินที่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งานกันอยู่ทั่วไปพบว่าสมบัติด้านความแข็ง ความทนการดัดโค้ง และจุดอ่อนตัวของเรซินที่สังเคราะห์ได้จะสูงกว่าเรซินที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เรซินที่ได้จากขวดเพทที่ใช้แล้วนี้ จึงสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ด้วยกรรมวิธีการหล่อ เช่นเดียวกับพอลิเอสเตอร์เรซินทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส และหินอ่อนเทียมได้อีกด้วย

นที ศรีสวัสดิ์ (2546) ทำการศึกษาผลของการทำให้คงรูปด้วยความร้อนต่อสมบัติของเส้นใยพอลิไตรเมทิวลินทาแลบทาเลท ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่สำคัญหนึ่งในการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อทำให้เส้นใยสังเคราะห์นั้นมีสมบัติที่คงรูป ป้องกันการเสียรูปและการยับ โดยใช้เส้นใยพอลิไตรเมทิวลีนทาแลบทาเลท (PTT Fibers) มาขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่มีความละเอียดประมาณ 4.5 ดีเนียร์ ด้วยความเร็วม้วนเก็บตั้งแต่ 2000 ถึง 6000 เมตรต่อนาที แล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้คงรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 120 ถึง 200 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำเส้นใยทั้งหมดไปทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบทางกล เชิงความร้อน ทางเสียง และสมบัติทางจุลภาค ซึ่งผลของการทำให้คงรูปนั้นทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป โดยเครื่อง WAXD จากการทดสอบต้านทานแรงดึงของเส้นใยความสัมพันธ์ Stress-strain พบว่าระยะ Cold Drawing ลดลงเมื่อผลิตด้วยความเร็วม้วนเก็บที่สูงขึ้น และเมื่อมีการทำให้คงรูปด้วยความร้อน Cold Drawing ลดลงแต่ความแข็งแรง (Tenacity) และความสามารถในการยืดตัว (Elongation) คงที่ และผลจากการทดสอบเชิงความร้อนด้วย DSC พบว่า เส้นใยทุกความเร็วในการม้วนเก็บเมื่อนำมาผ่านการทำให้คงรูปด้วยความร้อนพบว่ามีพีกใหม่เกิดขึ้นที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิในการทำให้คงรูป และเมื่อนำเส้นใยมาผ่านการกัดกร่อนด้วยสารละลาย NaOH พบว่าเมื่ออุณหภูมิมีการทำให้คงรูปที่สูงขึ้นการกัดกร่อนของเส้นใยด้วยด่างนี้ยิ่งมากขึ้น

บัวลอย จันผกา (2546) ทำการศึกษา การปรับปรุงคุณภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างขวดน้ำพลาสติกใสพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่ใช้แล้วเพื่อใช้ในงานฉีดขึ้นรูปโดยผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ทั้งนี้ขวดน้ำดื่มที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Polyethylene Terephthalate, PET) เมื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปจะได้ชิ้นงานที่มีความเปราะ (Brittle) ดังนั้นจึงปรับปรุงให้ชิ้นงานมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น โดยผสมเข้ากับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่สามารถผสมเข้ากันได้ จึงใช้สารช่วยผสมเลอิกแอนไฮดรายกราฟท์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LlDPE-g-MA) เพื่อไปเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะระหว่างผิวหน้าของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด โดยที่ทำการผสมในเครื่อง Extruder แบบเกลียวหนอนคู่ แล้วนำไปฉีดขึ้นรูป พบว่าสัดส่วนการผสม PET/LLDPE 30/70% โดยน้ำหนัก และสารช่วยผสม LlDPE-g-MA 10.0 - 15.0 pph เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมส่งผลให้พฤติกรรมการไหลมีความหนืดต่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมจะเห็นขนาดอนุภาคเฟสกระจายตัวเล็กลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการผสมเข้ากันได้ดี ซึ่งจากการศึกษาผลของสารช่วยผสม พบว่า มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเชิงกลชิ้นงานฉีดขึ้นรูปโดยทำให้ความสามารถในการต้านแรงดึงและการต้านแรงกระแทกแบบไอซอดเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่าสารช่วยผสมทำให้การตกผลึกของ PET เปลี่ยนแปลงไปได้

ศุภชัย เกิดโภคา (2546) ทำการศึกษา การศึกษาสมบัติของสารเติมแต่งใหม่ในพอลิเมอร์ เพื่อศึกษาแนวทางในการนำขวดพอลิเอทธิลีน เทเรพธาเลท (PET) กลับมาใช้ใหม่ รูปแบบของสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมยางโดยสารเติมแต่งดังกล่าวจะได้จากการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้เพนตะอีริทิทอล และเอทธิลีนไกลคอลในสัดส่วนต่าง ๆ เป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งมีซิงค์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายจะเป็นบิสไฮดรอกซิลเอธิลีนเทเรพธาเลทและโอลิโกเมอร์ของพอลิเอทธิลีน เทเรพธาเลท จากการศึกษาพบว่าสารเติมแต่งที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วให้สมบัติในด้านการเป็นสารควบคู่สำหรับยางวัลคาไนซ์ที่ผสมด้วยสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำขวด PET ที่ใช้แล้วมาแปรสภาพเป็นสารเติมแต่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางที่มีการใช้สารตัวเติมเฟสคู่คือซิลิกาและเขม่าดำได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการลดของเสียจากขวด PET ที่ใช้ และยังได้สารเติมแต่งที่มีราคาถูกทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved