

การทำนายตำแหน่งรอยประสานของชิ้นงานยางในกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้ แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

A Prediction of Weld Line Location in Compression Rubber Parts using Neural Network Model

ธนวัฒน์ ตั้งเชื่อนันท์^{1*}, วัชรพงษ์ ชูแก้ว¹, และ สมเจตน์ พัทธพันธ์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*ผู้ติดต่อ: *E-mail: tanawat_yod@hotmail.com

บทคัดย่อ

การเกิดรอยประสานเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงและความสวยงามของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อน จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอาศัยการวางยางคอมพาวด์ในหลายตำแหน่งภายในแม่พิมพ์อัด ซึ่งก่อให้เกิดรอยประสานบนผลิตภัณฑ์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กการออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์ ยังคงอาศัยการลองผิดลองถูกเพื่อให้รอยประสานเกิดขึ้นในตำแหน่งที่ไม่กระทบต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นหรือโดยการออกแบบให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาเพิ่มมากขึ้นที่บริเวณรอยประสาน ส่งผลให้ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างแม่พิมพ์ที่เพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ในการทำนายตำแหน่งของรอยประสานในระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปยาง โดยมีตัวแปรหลักได้แก่ขอบเขตของแม่พิมพ์ และตำแหน่งการวางยางคอมพาวด์เริ่มต้น จากผลการพัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม พบว่าแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแบบ Generalize feed forward 1 ชั้นซ่อน เมื่อจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเท่ากับ 37 นิวรอน ให้ผลการทำนายที่แม่นยำที่สุด จากผลการวิเคราะห์ความแม่นยำในกรณีที่ชิ้นงานมีความซับซ้อนมากขึ้นพบว่าแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถทำนายตำแหน่งของรอยประสานได้ใกล้เคียงกับโปรแกรมจำลองการไหลที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

คำหลัก: รอยประสาน ตำแหน่งของรอยประสาน เครือข่ายประสาทเทียม กระบวนการอัดขึ้นรูป

Abstract

The presence of weldlines in rubber products is regarded as a one of the most undesirable phenomena, since it results in poor mechanical properties as well as unsightly appearances. Compression molding of large and/or complicated products are usually prepared by multiple charges, which produces weldlines once the melt fronts are joined by the impingement flow. Mold designers

typically minimize the influence of weldlines by their placement in non-critical areas and the application of a factor of safety based on design specifications. Such practice results in time consuming and over-design of parts, since the factor of safety is generally, independent of the material. Truly cost-effective part design requires a better understanding of the behavior of polymers under different loads and failure conditions. In this work, the Artificial Neural Network (ANN) is employed in order to predict the location of weldline, developed during the compression molding process. The input parameters used in this study are part contour and the position of charges. The analytical results obtained from ANN indicated that the generalize feed forward of 1 hidden layer with 37 neurons shows the best accuracy compared to the experimental results. The ANN developed in this work is then applied to the complicated part and also compared with the exiting commercial simulation program. The agreement is found to be satisfactory..

Keywords: Weld line, Weld line position, Artificial neural network, Compression molding

1. บทนำ

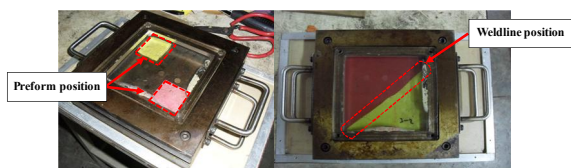
วัสดุประกอบประเภทอีลาสโตเมอร์หรือยางมีปริมาณการใช้เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี ทั้งในด้านอุตสาหกรรมยานยนต์และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสมบัติเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดี [1] การแปรรูปจากยางดิบเป็นผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคอัดขึ้นรูปเป็นกระบวนการที่นิยมมากในประเทศไทย เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำและให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบในกระบวนการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อนมาก ได้แก่ การเกิดรอยประสาน (weldline) ซึ่งเกิดจากการไหลมาเจอกันของเนื้อยางภายในแม่พิมพ์ขณะอัดขึ้นรูป โดยรอยประสานที่เกิดขึ้นนั้น นอกจากเป็นรอยตำหนิซึ่งสามารถเห็นได้แล้ว ยังทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงที่ลดลง [2-3] จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีการศึกษาและแนวทางแก้ไขปัญหารอยประสานที่เกิดขึ้น เช่น การออกแบบแม่พิมพ์ การปรับเปลี่ยนตัวแปรในกระบวนการผลิต หรือการใส่สารตัวเติม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของรอยประสานหรือย้ายตำแหน่งของรอยประสานไปยังจุดที่ไม่สำคัญในการใช้งาน [4-6] อย่างไรก็ตามการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นที่วัสดุประกอบประเภทเทอร์โมพลาสติก ทำให้การแก้ปัญหาเรื่องรอยประสานในด้านยางยังพบน้อยมาก ซึ่งรวมไปถึงโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเพื่อช่วยในกระบวนการอัดขึ้นรูปยังไม่แพร่หลาย

เหมือนกระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูปยาง (injection molding) กระบวนการอัดรีดขึ้นรูปยาง (extrusion molding) งานวิจัยนี้จึงศึกษาเรื่องการทำนายตำแหน่งของรอยประสานที่เกิดขึ้นภายในแม่พิมพ์ โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม (neural network) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำนายปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear problem) และมีข้อจำกัดในด้านการใช้งานที่น้อยกว่าโปรแกรมทางวิศวกรรมทั่วไปในด้านความต้องการข้อมูลของวัสดุและปัจจัยในกระบวนการผลิตรวมไปถึงประสบการณ์ในการใช้งานทำให้นิยมใช้ในงานวิจัยซึ่งมีตัวแปรจำนวนมาก โดยเครือข่ายประสาทเทียมอาศัยการเรียนรู้จากข้อมูลตัวแปรต้นและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเพื่อสร้างความสัมพันธ์ในการทำนายปัญหาในอนาคต จึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการทำนายตำแหน่งของรอยประสานในกระบวนการอัดขึ้นรูปซึ่งมีตัวแปรจำนวนมากและยังไม่มีโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมในการจำลองกระบวนการขึ้นรูป

2. ขั้นตอนการวิจัย

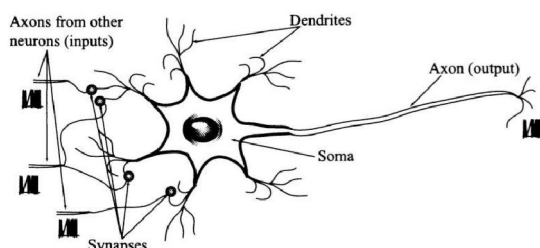
วัสดุยางที่ใช้ในงานวิจัยเป็นยางธรรมชาติ (STR 5L) โดยบดในเครื่องบดผสมระบบปิดเป็นเวลา 2 นาที เพื่อลดความหนืดและความยาวสายโซ่โมเลกุลของยาง จากนั้นจึงเติมกรดสเตียริก (stearic acid) และซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) เพื่อเป็นสารกระตุ้น และบดต่อ

เป็นเวลา 10 นาที จึงนำยางมาบดต่อในเครื่องบดผสม สองลูกกลิ้งและเติมกำมะถัน (sulfur) และ CBS เพื่อทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปของยาง เป็นเวลา 2 นาที และรีดออกมาเป็นแผ่นที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้สารเคมีเข้ากับเนื้อยางได้สมบูรณ์ จากนั้นจึงนำมาตัดเป็นชิ้นงานเริ่มต้น (perform) ขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการบวกรีดขึ้นรูป โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แม่พิมพ์ที่ใช้ในขั้นตอนการเก็บตำแหน่งพิกัดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

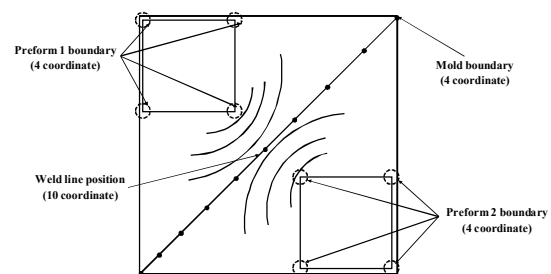
เครือข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองการเรียนรู้และทำงานในสมองมนุษย์ ซึ่งมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก จึงมีการนำเสนอโครงสร้างของแบบจำลองหลากหลายรูปแบบ โดยหลักการทำงานของสมองเริ่มจากการรับข้อมูลจากภายนอก (input) โดยตัวรับข้อมูล มาประมวลผลโดยมีค่าถ่วงน้ำหนักหรือค่าความสำคัญของข้อมูล (synapses strength) ที่ตัวเซลล์จากนั้นจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ต่อไปยังเครือข่ายอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2



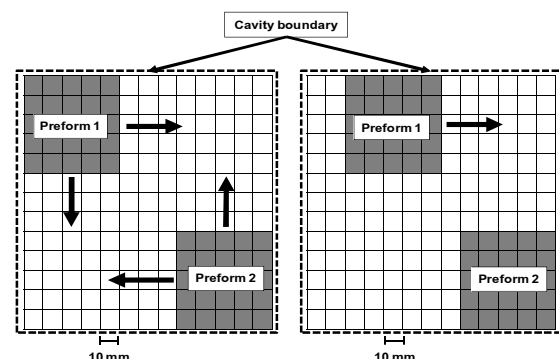
ภาพที่ 2 แบบจำลองการทำนายของเครือข่ายประสาท

กระบวนการสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายตำแหน่งของรอยประสานใน

กระบวนการอัดขึ้นรูปในกรณีที่มีชิ้นงานเริ่มต้น 2 ตำแหน่ง กำหนดให้ ขอบเขตของแม่พิมพ์ ขอบเขตของชิ้นงานเริ่มต้น เป็นตัวแปรต้น ในขณะที่ตำแหน่งของรอยประสานเป็นผลลัพธ์หรือตัวแปรตามที่เกิดขึ้น ซึ่งตำแหน่งของตัวแปรต้นและตัวแปรตามถูกเก็บอยู่ในรูปพิกัด X,Y ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยข้อมูลที่ใช้สอนได้แก่ ขอบเขตของแม่พิมพ์ ได้แก่ พิกัดขอบเขต 4 จุด (8 ตัวแปร) ขอบเขตของชิ้นงานเริ่มต้น 2 ตำแหน่ง แต่ละชิ้นมีพิกัดของเขต 4 จุด (16 ตัวแปร) และตัวแปรตามได้แก่ พิกัดตำแหน่งของรอยประสาน 10 จุด (20 ตัวแปร) ซึ่งรูปแบบการวางชิ้นงานเริ่มต้น 200 รูปแบบ แบ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการสอน 160 รูปแบบ และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองเครือข่าย 40 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การเก็บตำแหน่งเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม



ภาพที่ 4 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นงานเริ่มต้น

แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward back propagation neural network) ถูกเลือกมาใช้ในการทำนาย เนื่องจากมีความสามารถในการทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปร

ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีและมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนสามารถพัฒนาได้ง่าย [7]. โดยการพัฒนาเครือข่ายประสาทเทียมได้เลือกใช้จำนวนชั้นซ่อน (hidden layer) ตั้งแต่ 1-3 ชั้นซ่อน และปรับเปลี่ยนจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้น 22-49 นิวรอน จากจำนวนตัวแปรต้น 24 ตัวแปรและตัวแปรตาม 20 ตัวแปร โดยใช้ฟังก์ชันส่งผ่านในชั้นซ่อนและชั้นตัวแปรตามเป็นแบบซิกมอยด์ (sigmoid) การเรียนรู้แบบโมเมนตัม (momentum learning rule) โดยค่าถ่วงน้ำหนักแบบอิสระ เพื่อเพิ่มความรวดเร็วและแม่นยำในการพัฒนาเครือข่ายประสาทเทียม [8]

ผลและการวิเคราะห์ผล

จากผลการพัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลจากการอัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ 200 รูปแบบ โดยแบ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการสอน 160 รูปแบบ และใช้ในการทดสอบ 40 รูปแบบ ดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งการเลือกใช้โครงสร้างในเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม พิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) โดยใช้หลักทางสถิติในการเลือกใช้ตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมในการพัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งในตารางที่ 1 แสดงถึงอิทธิพลของจำนวนรอบการสอนและอัตราการเรียนรู้ที่มีต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

ตารางที่ 1 อิทธิพลของจำนวนรอบการสอนและอัตราการเรียนรู้ที่มีต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

จำนวนรอบการเรียนรู้	อัตราการเรียนรู้	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
1000	0.01	0.047134
	0.05	0.035323
	0.09	0.028683
	0.15	0.024880
2000	0.01	0.044884
	0.05	0.027983
	0.09	0.023949
	0.15	0.022249
3000	0.01	0.040908

4000	0.05	0.025111
	0.09	0.022480
	0.15	0.021356
	0.01	0.037423
5000	0.05	0.023448
	0.09	0.021686
	0.15	0.020419
	0.01	0.035439
10000	0.05	0.024801
	0.09	0.021288
	0.15	0.081915
	0.01	0.027665
20000	0.05	0.023424
	0.09	0.020024
	0.15	0.084493
	0.01	0.023324
20000	0.05	0.018688
	0.09	0.016377
	0.15	0.014925
	0.01	0.023324

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่จำนวนการสอนที่ 20,000 รอบให้ผลที่แม่นยำที่สุดในขณะที่อัตราการเรียนรู้ไม่ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง จากนั้นจึงเป็นการวิเคราะห์หาจำนวนชั้นซ่อนที่เหมาะสมในการพัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมโดยผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อิทธิพลของจำนวนชั้นซ่อนที่มีต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

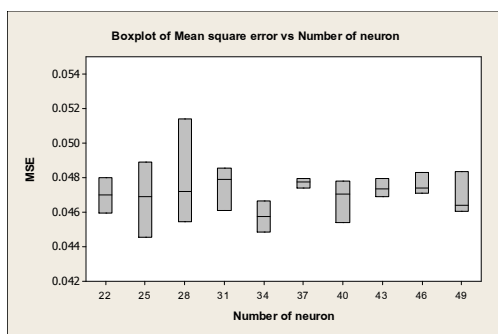
จำนวนชั้นซ่อน	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
1	0.045887
2	0.047816
3	0.047732

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของจำนวนชั้นซ่อนที่มีต่อค่าความแม่นยำพบว่า จำนวนชั้นซ่อนที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนาย นอกจากนี้จำนวนชั้นซ่อนที่เพิ่มขึ้น ทำให้เวลาในการวิเคราะห์นานขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ชั้นซ่อน โดยการทดลองที่ 3 เป็นการหาจำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อนที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อิทธิพลของจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่มี
ต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

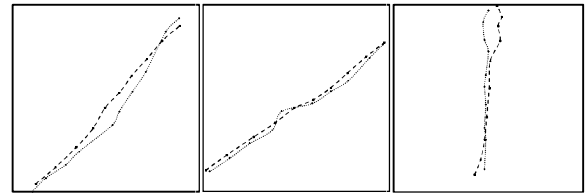
จำนวนชั้น ซ่อน	จำนวนนิวรอน ชั้นซ่อน	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลัง สองเฉลี่ย
1	22	0.046985
	25	0.0467843
	28	0.0480074
	31	0.0475299
	34	0.0457416
	37	0.0477017
	40	0.0467588
	43	0.0474104
	46	0.0476125
	49	0.0469394

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของจำนวนนิวรอนที่
มีต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยพบว่าจำนวน
นิวรอนที่เพิ่มมากขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแม่นยำมาก
นัก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยดัง
แสดงในภาพที่ 6 พบว่าจำนวนนิวรอนที่ 37 มีค่าที่ต่ำ
กว่าจำนวนอื่น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้จำนวนนิวรอนใน
ชั้นซ่อน 37 นิวรอน



ภาพที่ 6 แผนภาพแบบกล่องแสดงค่าความ
คลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

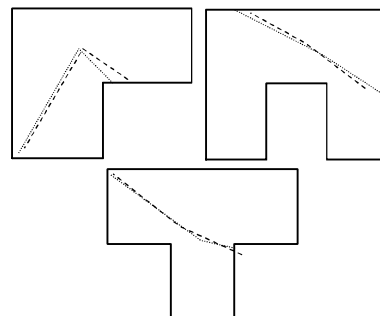
จากผลการพัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาท
เทียมที่ได้ เมื่อนำมาทดสอบด้วยการอัดขึ้นรูปโดยใช้
รูปแบบที่ไม่เคยทดลองพบว่า เครือข่ายประสาทเทียม
สามารถทำนายตำแหน่งได้อย่างแม่นยำดังแสดงใน
ภาพที่ 7



— Mold boundary Experimental - - - Neural network prediction

ภาพที่ 7 ผลการทำนายตำแหน่งรอยประสานโดยใช้
เครือข่ายประสาทเทียม

จากแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่
พัฒนาขึ้น เมื่อนำไปใช้ในชิ้นงานที่มีความซับซ้อนมาก
ขึ้น พบว่ายังคงให้ผลการทำนายที่แม่นยำ ดังแสดงใน
ภาพที่ 8



— Mold boundary Experimental - - - Neural network prediction

ภาพที่ 8 ผลการทำนายตำแหน่งรอยประสานโดยใช้
เครือข่ายประสาทเทียมในชิ้นงานที่ซับซ้อน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง
เครือข่ายประสาทเทียมซึ่งผ่านการพัฒนาแล้ว
สามารถใช้ในการทำนายตำแหน่งของรอยประสานใน
กรณีที่มีชิ้นงานเริ่มต้น 2 ตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ ซึ่ง
เป็นข้อมูลสำคัญในการเลือกตำแหน่งการวางชิ้นงาน
เริ่มต้นในกระบวนการอัดขึ้นรูป ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มี
โปรแกรมทางวิศวกรรมที่ช่วยในการผลิต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการ
โครงการวิจัยขนาดกลางเรื่องยาพารา (MPR) ประจำปี

2552 สัญญาเลขที่ RDG5250075 รวมทั้งได้การสนับสนุนอุปกรณ์การทดสอบจากสำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] James, E.M., B. Erman and F.R. Eirich. 1994. Science and Technology of Rubber. Academic Press Inc. San Diego

[2] Chookaew, W., T. Tungkeununt, J. Mingbunjerdusuk, N. Na-Ranong and S. Patcharaphun. 2010. Weld Line Strength of Acrylonitrile Butadiene Rubber Process by Compression Molding Technique. International Conference on Materials Processing Technology. Bangkok

[3] Chookaew, W., T. Tungkeununt, S. Patcharaphun and N. Na-Ranong. 2010. Effect of Processing Parameters on the Weld line Strength of Compression Molded Natural Rubber. International Seminar on Elastomer. Bangkok

[4] Patcharaphun, S. 2006. Characterization and Simulation of Material Distribution and Fiber Orientation in Sandwich Injection Molded Parts. Ph.D. Thesis, Chemnitz University of Technology.

[5] Patcharaphun, S., B. Zhang and G. Mennig. 2006. Investigation on Weldline Strength of Short-glass-fiber Reinforced Polycarbonate Manufactured through Push–Pull-processing Technique. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 25: 421-435.

[6] Zhai, M., Y. C. Lam and C. K. Au. 2006. Runner Sizing and Weld Line Positioning for Plastics Injection Moulding with Multiple Gates. Engineering with Computers. 21: 218–224.

[7] Hagan, M. T., H. B., Demuth and M. Beals. 1996. Neural Network Design. PWS Publishing Company. Boston

[8] Soltani F. and S. Manoochehri. 1999. A Neural Network-Based Prediction of the Weld Lines in Resin Transfer Molded Parts. ASME Design Engineering Technical Conference, Las Vegas, Nevada