

การใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายการหดตัวของ
ผลิตภัณฑ์ยางในกระบวนการอัดขึ้นรูป
A Prediction of Product Shrinkage in Rubber Compression Moulding Process
Using the Neural Network Model

วัชรพงษ์ ชูแก้ว^{1*} ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ¹ นุชนาฏ ณ ระนอง² ชนะ รัศศิริ³ และ คุณยุต เอี่ยมสอาด¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ
ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค่นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

²สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2942-7188 โทรสาร 0-2942-7189 *อีเมลล์ g4665048@ku.ac.th

Watcharapong Chookaew^{1*}, Supasit Rodkwan¹, Nuchanat Na-Ranong², Chana Raksiri³ and Kunnayut Eiamsa-ard¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University and
Center of Excellence in Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology

²Postharvest and Processing Research and Development Office, Department of Agriculture,
Ministry of Agriculture and Cooperatives, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand.

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand,

Tel: 0-2942-7188, Fax 0-2942-7189, *E-mail: g4665048@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาสำคัญที่พบในการใช้แม่พิมพ์อัดคือการหดตัวของผลิตภัณฑ์ซึ่งนำไปสู่การเสียรูปร่างของผลิตภัณฑ์ยางหลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางในกระบวนการอัดขึ้นรูป ซึ่งเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการทำนายการหดตัวของผลิตภัณฑ์แหวนยางกันซึมหรือโอริง โดยตัวแปรที่นำมาใช้ในการพิจารณา คือ ตัวแปรจากยางผสม ตัวแปรจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะ อุณหภูมิแม่พิมพ์ และตัวแปรจากขนาดของแม่พิมพ์ โดยใช้แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบผลกระทบคงที่เมื่อมีตัวแปร 2 ระดับ เพื่อกำหนดตัวแปรสำหรับใช้เป็นตัวแปรนำเข้าไปในแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

งานวิจัยนี้พบว่าสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมในการทำนายการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดของแม่พิมพ์แหวนยางคือแบบ 5-11-21-1 และแบบ 5-11-16-1 โดยให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำเฉลี่ย 95.9 และ 96.1 ตามลำดับ

คำสำคัญ เครือข่ายประสาทเทียม การหดตัว กระบวนการอัดขึ้นรูป

Abstract

One the common problems founded in the rubber compression moulding process is the shrinkage of rubber products leading to the loss of the shape of products. Therefore, this research presents an application of artificial neural network in prediction of the rubber product shrinkage in compression moulding. A back propagation neural network was developed to determine the shrinkage based on the variables of the rubber compound, processing variables like mould temperature and mould sizing variable. A two factorial design of experiment was carried out to obtain the significant variables before training the neural network.

The results from the neural network prediction for the inside diameter shrinkage and the cross section diameter shrinkage indicate that architectures 5-11-21-1 and 5-11-16-1 provide a prediction within 95.9% and 96.1% accuracy, respectively.

Keywords: Neural Network, Shrinkage, Compression Moulding.

1. บทนำ

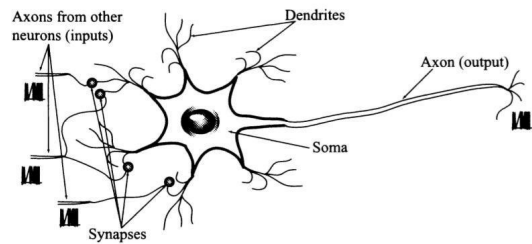
ในกระบวนการแปรรูปยางพาราเพื่อเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์นั้น ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ แบบอัด (Compression Moulding) แบบกึ่งฉีด (Transfer Moulding) และแบบฉีด (Injection Moulding) [1] โดยแม่พิมพ์แบบอัดเป็นแม่พิมพ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีราคาถูกกว่าแบบอื่น เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่มีความซับซ้อนของรูปร่างมากนัก ในขณะที่แม่พิมพ์กึ่งฉีดนั้นจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนปานกลาง และใช้เวลาที่สั้นกว่าแบบอัด ส่วนแบบฉีดนั้นเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนสูง โดยมีราคาของแม่พิมพ์ที่สูงด้วยเช่นกัน

ในส่วนของแบบแม่พิมพ์อัดนั้นนักวิจัยให้ความสนใจในการศึกษาวิจัยการออกแบบสร้างแม่พิมพ์สำหรับงานด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปยางค่อนข้างน้อยทั้งๆ ที่ตัวแม่พิมพ์มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตชิ้นงานผลิตภัณฑ์ยางเป็นอย่างมาก ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชนิดต้องนำเข้าแม่พิมพ์จากต่างประเทศ เช่น รองเท้ายาง แม่พิมพ์ยางอะไหล่ เครื่องยนต์ เป็นต้น [2] สำหรับการใช้งานในปัจจุบันยังมีการผลิตผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์อัดในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ชิ้นส่วนประกอบของอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนประกอบอุตสาหกรรมยานยนต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ และชิ้นส่วนประกอบสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ ปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์อัดคือการเสียรูปร่าง (Loss of Shape) ของผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ แล้ว ผลิตภัณฑ์ยางดังกล่าวเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จะเกิดการเสียรูปที่แตกต่างกัน ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีใช้กันเกือบทุกอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเสียรูปร่างได้แก่ การออกแบบแม่พิมพ์ (Mould Design) กระบวนการขึ้นรูป (Processing) และจากยางผสม (Rubber Compound) สำหรับการแก้ปัญหาของโรงงานในปัจจุบันจะใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ซึ่งการแก้ปัญหาด้วยวิธีการดังกล่าวใช้เวลาและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก และบางครั้งก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดหดตัว (Shrinkage) และการบิดตัว (Warpage) ของชิ้นงานที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนี้ยังต้องอาศัยประสบการณ์การทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ประการสุดท้ายนี้ทำให้การแก้ปัญหาอยู่อย่างจำกัดและไม่ก่อให้เกิดองค์ความรู้ในการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ

ในปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลดเวลาและต้นทุนในการผลิต เช่น ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) และแบบจำลองด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent, AI) โดยเฉพาะแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ซึ่งเหมาะกับกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนสูงจากปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ยาง จึงมีแนวความคิดในการศึกษาตัวแปรในกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดการเสียรูปให้ได้ข้อมูลมาสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อแก้ปัญหาการในการออกแบบและกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป

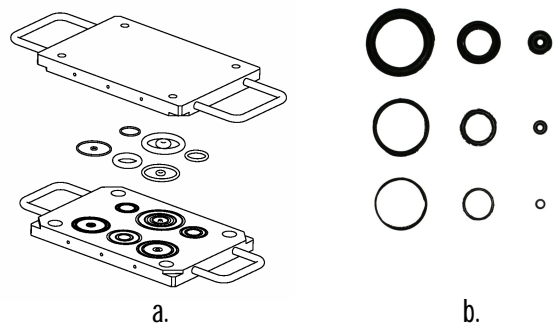
2. การใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายการหดตัวของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอัดขึ้นรูป

เครือข่ายประสาทเทียมเป็นความพยายามที่จะเลียนแบบพฤติกรรมการทำงานของเซลล์ประสาทของมนุษย์ กระบวนการทำงานของระบบประสาทมนุษย์ เช่น เมื่อสัมผัสกับวัตถุชนิดหนึ่ง นิวรอนตัวแรกจะเป็นตัวกำหนดสัญญาณ โดยที่เดนไดรต์ (Dendrites) ทำหน้าที่รับสัญญาณผ่านเส้นใยประสาทและส่งสัญญาณไปยังตัวเซลล์ (Soma or Cell Body) หลังจากนั้นตัวเซลล์ จะทำการประมวลผลโดยการรวมสัญญาณและแปลงสัญญาณออกไปเป็นสัญญาณที่มีความถี่ต่างกับตอนแรก และส่งสัญญาณนี้ออกไปยังแอกซอน (Axon) โดยที่แอกซอนจะส่งสัญญาณไปยังนิวรอนอื่นๆ โดยผ่านไซแนปส์ (Synapses) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เซลล์ประสาทในทางชีววิทยา

จุดเด่น ของเครือข่ายประสาทเทียมคือสามารถเลียนแบบพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนสูงได้เป็นอย่างดี มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear) ในงานวิจัยนี้จึงได้นำมาใช้ในการทำนายการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งเกิดขึ้นจากความซับซ้อนของคุณสมบัติทางกลและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในกระบวนการผลิต [3] โดยตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวได้แก่ คุณสมบัติของยางผสม โดยเฉพาะสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน [4] ตัวแปรจากกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันทำให้ค่าการหดตัวที่ต่างกัน [1,5] นอกจากนี้ยังพบว่า การหดตัวที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานยางรูปแบบต่างๆ มีความแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงขนาดของแม่พิมพ์ที่มีต่อการหดตัว จึงได้กำหนดให้มีรูปแบบแม่พิมพ์เป็นแม่พิมพ์ยางโอริง ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 2

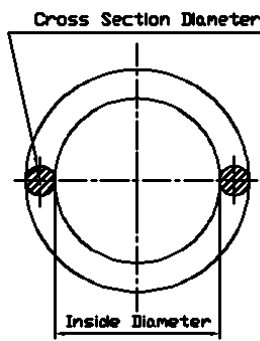


รูปที่ 2 แม่พิมพ์อัดโอริง a. แม่พิมพ์อัด b. ผลิตภัณฑ์ยางโอริง

3. ตัวแปรนำเข้าและตัวแปรนำออก

ในการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวและบิดตัวของผลิตภัณฑ์ยางที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปทำให้สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประการ คือ ตัวแปรที่มาจากยางผสม (Compound Variable) และตัวแปรในกระบวนการผลิต (Processing Variable)

จากการทดลองเบื้องต้น (Preliminary Test) พบว่า การหดตัวที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ มีความแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษานาขนาดของแม่พิมพ์ (Mould Sizing) ที่มีผลต่อการหดตัวที่เกิดจากรูปแบบของแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน โดยตัวแปรที่สนใจ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inside Diameter) และเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด (Cross Section Diameter) (ดังแสดงในรูปที่ 3)



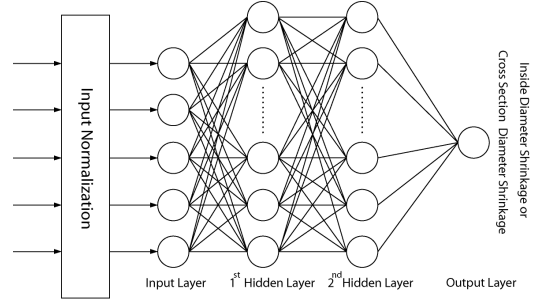
รูปที่ 3 ตัวแปรในการศึกษาผลิตภัณฑ์ยางโอริง

ในส่วนของตัวแปรนำออก (Output) ซึ่งเป็นผลกระทบจากค่าตัวแปรที่กำหนด คือ การหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inside Diameter Shrinkage) และการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด (Cross Section Diameter Shrinkage) ของยางผลิตภัณฑ์ยางโอริง

4. สถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียม

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feed Forward Neural Network) และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับรีเวนเบิร์กมาควา (Levenberg-Marquardt Backpropagation) เนื่องจากโครงสร้างแบบนี้มีลักษณะที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและสามารถทำการฝึกหัดเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้เวลาไม่นาน [6]

ตัวแปรนำเข้า (Input) ของเครือข่ายประสาทเทียมควรอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นก่อนที่จะนำค่าตัวแปรนำเข้ามาใช้ในการฝึกหัดต้องมีการปรับค่า (Normalization) ก่อน โดยการหารด้วยสองเท่าของค่าสัมบูรณ์ของค่าสูงสุดของแต่ละตัวแปรนำเข้า [7] โดยตัวแปรนำเข้าของเครือข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยตัวแปรจำนวน 5 ตัวแปร คือ ปริมาณกำมะถัน (Sulphur) ปริมาณเขม่าดำ (Carbon Black) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mould Temperature) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inside Diameter) และเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด (Cross Section Diameter) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียม

ในการหาสถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียม ไม่ปรากฏว่ามีหลักเกณฑ์ใดๆ โดยสถาปัตยกรรมที่ต่างกันจะถูกทดลองเพื่อหาการออกแบบที่เหมาะสม ในการทดลองเพื่อหาสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมควรเริ่มต้นด้วยเครือข่ายที่ง่ายที่สุด นั่นก็คือ เครือข่ายที่มี 1 ชั้นซ่อน (One Hidden Layer) [8]

จำนวนของนิวรอนภายในชั้นซ่อน (Hidden Layer) เริ่มจากจำนวนนิวรอน ของเครือข่ายที่มี 1 ชั้นซ่อน โดยให้จำนวนนิวรอนเริ่มต้นไม่มากกว่ากึ่งหนึ่งของผลรวมชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต [8] แต่ไม่มากกว่าสองเท่าของจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุตบวกด้วยหนึ่ง [7] ส่วนการกำหนดจำนวนชั้น (Layer) ในทางปฏิบัติเครือข่ายประสาทเทียมมี 2 หรือ 3 ชั้นเท่านั้น ส่วนเครือข่ายประสาทเทียม 4 ชั้นหรือมากกว่า ไม่นิยมนำมาใช้ในการฝึกหัด [6]

หลักการโดยทั่วไปของเครือข่ายประสาทเทียม คือ เมื่อป้อนข้อมูลลงไปแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม กำหนดสถาปัตยกรรมของเครือข่าย ซึ่งได้แก่ การกำหนดจำนวนนิวรอนแต่ละชั้น และกำหนดขององค์ประกอบภายในของเครือข่าย เช่น กำหนดค่าเป้าหมาย (Goal) อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) จำนวนรอบ (Epoch) และรูปแบบของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) หลังจากนั้น แบบจำลองแบบแพร่ย้อนกลับจะทำการฝึกหัดเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อการปรับค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมและถูกต้อง และแสดงผลตัวแปรนำออกที่ได้รับการฝึกหัด ค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมและถูกต้องที่สุดนั้นเมื่อเสร็จสิ้นการฝึกหัดโปรแกรมจะทำการเก็บค่าตัวแปรนำเข้าไว้ต่อไป ส่วนระยะเวลาในการฝึกหัดจะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาด ค่าการเรียนรู้ และขึ้นอยู่กับปริมาณของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกหัด

สำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการฝึกหัดเครือข่ายประสาทเทียมแบบที่มี 1 ตัวแปรนำออก 2 เครือข่าย คือ เครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด เนื่องจาก การทำนายเครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ตัวแปรนำออก มีประสิทธิภาพสูงกว่า การใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ตัวแปรนำออก

5. การออกแบบการทดลอง

โดยใช้แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบผลกระทบคงที่เมื่อมีตัวแปร 2 ระดับ (2^k Factorial Design with Fixed Effect Model) เพื่อกำหนดตัวแปรสำหรับใช้เป็นตัวแปรนำเข้า (Input) ในแบบจำลอง

เครื่องขยายประสาทเทียม ซึ่งตัวแปรที่กำหนดในการทดลองนี้ ได้แก่ ปริมาณกำมะถัน (S) ปริมาณเขม่าดำ (C/B) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mt) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (In) และเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด (Cr) โดยช่วงของการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของตัวแปรนำออก (Output) ซึ่งเป็นผลกระทบจากค่าตัวแปรที่กำหนด คือ การหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inside Diameter Shrinkage) และการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด (Cross Section Diameter Shrinkage) ของยางผลึกกันท์ยางไอริง

ตารางที่ 1 ระดับตัวแปรในการทดลองเพื่อกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัว

Parameter	S	C/B	Mt	In	Cr
Range	(phr)	(phr)	(°C)	(mm)	(mm)
High	0.5	5	140	5	2
Low	2.5	50	160	45	8

เมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติทำให้ทราบว่าตัวแปรใดบ้างมีผลต่อการต่อการหดตัวในระดับนัยสำคัญที่กำหนด จากนั้นทำการทดลองเพื่อให้ได้ข้อนำไปพัฒนาแบบจำลองเครื่องขยายประสาทเทียม โดยการทดลองทุกเงื่อนไข ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับตัวแปรในการทดลองเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องขยายประสาทเทียม

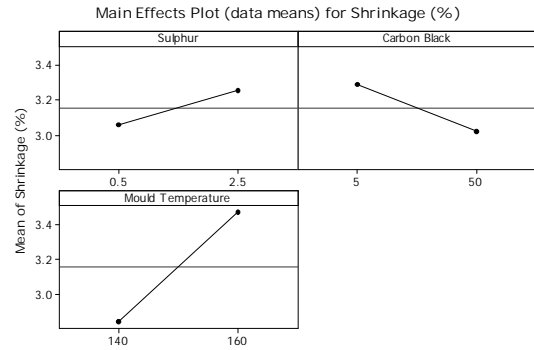
Parameter	S	C/B	Mt	In	Cr
Range	(phr)	(phr)	(°C)	(mm)	(mm)
High	0.5	5	140	5	2
Medium	1.5	27.5	150	25	4
Low	2.5	50	160	45	8

ทำการทดลองทั้งหมด 535 การทดลอง ซึ่งทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยครั้งที่ 1 และ 2 รวม 486 การทดลอง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการฝึกหัด (Train) (243 ข้อมูล) ส่วนครั้งที่ 3 ทดลอง 49 การทดลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Test) เครื่องขยายประสาทเทียม (49 ข้อมูล)

6. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อหาตัวแปรจากยางผสมและกระบวนการผลิตที่มีผลต่อการหดตัว พบว่าปริมาณกำมะถันหรือระบบการคงรูปปริมาณเขม่าดำ และอุณหภูมิแม่พิมพ์ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางไอริง ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 ให้ผลแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5

จากกราฟของผลหลักในรูปที่ 5 ปริมาณกำมะถัน ปริมาณเขม่าดำ และอุณหภูมิแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า ปริมาณกำมะถันและอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการหดตัวเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเขม่าดำที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการหดตัวลดลง สามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 5 ผลหลักของการทดลองเพื่อหาตัวแปรจากยางผสมและกระบวนการผลิต

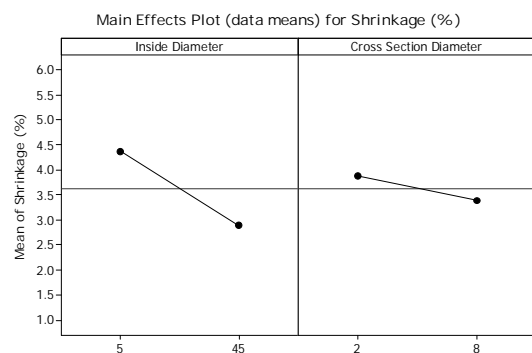
กำมะถัน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของการคงรูปที่มีความซับซ้อนมาก ทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะเคมีในระหว่างกระบวนการ โมเลกุลที่เกิดขึ้น อาจเป็น Mono- (1) Di- (2) Tri- (3) หรือมากกว่า 3 คือ Poly-Sulphide ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของกำมะถันที่ใส่ในยางผสม เหตุผลนี้ส่งผลต่อคุณสมบัติของทางกายภาพของยางที่คงรูปแล้ว ซึ่งรวมถึงการหดตัวด้วย

เขม่าดำ มีสมบัติการขยายตัวน้อยกว่ายาง เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำมากขึ้น ปริมาณเนื้อยางจะถูกแทนที่ด้วยเขม่าดำมากขึ้น ทำให้สมบัติการขยายตัวลดลง ตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเขม่าดำ เป็นผลให้การหดตัวลดลง

เมื่ออุณหภูมิมีความแตกต่างกันมาก การขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion) ของยางมีค่ามาก ทำให้เกิดการขยายตัวและหดตัวมาก และนอกจากนี้ อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยสำคัญ ในปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการคงรูปและยังมีผลต่อคุณสมบัติของทางกายภาพของยางที่คงรูปแล้ว ซึ่งรวมถึงการหดตัวด้วย

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาขนาดแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการหดตัว พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีผลต่อการหดตัว แต่เส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดไม่มีผลต่อการหดตัวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยผลหลักของการทดลองแสดงในรูปที่ 6

จากกราฟผลหลักในรูปที่ 6 พบว่า ตัวแปรทั้ง 2 ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด ที่เพิ่มทำให้ค่าเฉลี่ยของการหดตัวในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง



รูปที่ 6 ผลหลักของการทดลองเพื่อศึกษาขนาดแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการหดตัว

อย่างไรก็ตาม แม้ปรากฏว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดที่เปลี่ยนไปให้ผลต่อการหดตัวไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เมื่อนำมาฝึกหัดเครือข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกัน ระหว่างการรวมและไม่รวมเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด ผลปรากฏว่า จำนวนตัวแปรนำเข้าที่รวมเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด ให้ผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายดีกว่า ในงานวิจัยนี้จึงเลือกตัวแปรนำเข้าโดยรวมเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดเข้าไปด้วย

จากข้อมูลในตารางที่ 3 พบว่า ทั้งสองเครือข่ายที่มีสถาปัตยกรรม 1 ชั้นซ่อน นั้น สถาปัตยกรรมแบบ 5-11-1 ให้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้สถาปัตยกรรมแบบ 5-11-1 ถูกนำมาพัฒนาเป็นเครือข่ายที่มีสถาปัตยกรรมแบบ 2 ชั้นซ่อน (2 Hidden Layers) ซึ่งผลการทดลองปรากฏว่าสถาปัตยกรรมที่มีจำนวนนิวรอนแตกต่างกัน ให้ค่าประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถเลือกใช้ค่าใดก็ได้ แต่เพื่อให้ได้เครือข่ายที่เหมาะสมมากที่สุดจึงนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาพิจารณาประกอบ พบว่า สถาปัตยกรรมที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำนายการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด คือ แบบ 5-11-21-1 และแบบ 5-11-16-1 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 3 ความแม่นยำเฉลี่ยของการทำนายการหดตัวของของแหวนยางของเครือข่าย 1 ชั้นซ่อน

สถาปัตยกรรมเครือข่าย	ความแม่นยำเฉลี่ย (%) ในทิศทาง	
	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	เส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด
5-3-1	93.1	81.6
5-4-1	94.6	84.7
5-5-1	94.6	85.5
5-6-1	94.7	86.7
5-7-1	94.5	89.0
5-8-1	94.4	89.3
5-9-1	94.5	88.8
5-10-1	94.6	90.5
5-11-1	95.2	91.3

ตารางที่ 4 ความแม่นยำเฉลี่ยในการทำนายการหดตัวของของแหวนยางในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเครือข่าย 2 ชั้นซ่อน

สถาปัตยกรรมเครือข่าย	ความแม่นยำเฉลี่ย (%) ในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	
	ความแม่นยำเฉลี่ย (%) ในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5-11-15-1	95.9	0.038
5-11-16-1	95.9	0.020
5-11-18-1	95.9	0.024
5-11-19-1	95.9	0.040
5-11-20-1	95.9	0.037
5-11-21-1	95.9	0.008
5-11-22-1	95.9	0.023
5-11-23-1	95.9	0.011
5-11-15-1	95.9	0.038

ตารางที่ 5 ความแม่นยำเฉลี่ยในการทำนายการหดตัวของของแหวนยางในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดของเครือข่าย 2 ชั้นซ่อน

สถาปัตยกรรมเครือข่าย	ความแม่นยำเฉลี่ย (%) ในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด	
	ความแม่นยำเฉลี่ย (%) ในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5-11-15-1	95.3	1.042
5-11-16-1	96.1	0.183
5-11-17-1	96.0	0.188
5-11-18-1	96.0	0.223
5-11-19-1	96.1	0.182
5-11-20-1	95.8	0.513
5-11-21-1	96.0	0.167
5-11-22-1	95.8	0.517
5-11-23-1	96.1	0.185

7. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางแหวนกันซึมได้แก่ ปริมาณเขม่าดำ ปริมาณกำมะถัน อุณหภูมิแม่พิมพ์ และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแม่พิมพ์แหวนยาง ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดไม่มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยาง และเมื่อนำตัวแปรต่างๆ เหล่านี้มาจำลองปัญหาด้วยเครือข่ายประสาทเทียม พบว่าแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถทำนายการหดตัวของของแม่พิมพ์ยางโอริงได้ โดยสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมในการทำนายการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดของแม่พิมพ์แหวนยางคือแบบ 5-11-21-1 และแบบ 5-11-16-1 ตามลำดับ

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับการให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำหรับความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือชิ้นรูปและอุปกรณ์ทดสอบ รวมทั้งสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความอนุเคราะห์ด้านการสร้างแม่พิมพ์ แม่พิมพ์อัดและเครื่องมือตรวจวัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2542. การออกสูตรยางและกระบวนการผลิต. ส่วนอุตสาหกรรม สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- [2] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2546. ยุทธศาสตร์การวิจัยและการบริหารงานยางพารา. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ

- [3] Davis, B.A., Gramann, P.J., Osswald, T.A., and A.C. Rios., 2003. Compression Moulding. Carl Hanser Verlag, Munich.
- [4] Deng, J-C., 1990. Basic Study of Injection Moulding of Rubber Compounds. Ph.D. Thesis, The University of Akron.
- [5] Sommer, J.G., 2003. Elastomer Molding Technology. Bookmasters, Inc., Ashland.
- [6] Hagan, M. T., Demuth, H. B., and Beals, M., Neural Network Design, PWS Publishing Company, U.S.A., 1996.
- [7] ชัชพล ชังชู, 2545. การประมาณการสึกหรอของเม็ดกึ่งโดยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, หน้า 408-413.
- [8] Abu-Zahra, N. H., 2003, Neural Network Approach to Density Control of Rigid PVC Foam in Extrusion Process. International Polymer Processing. Vol. 18, No. 2, pp. 122-126.