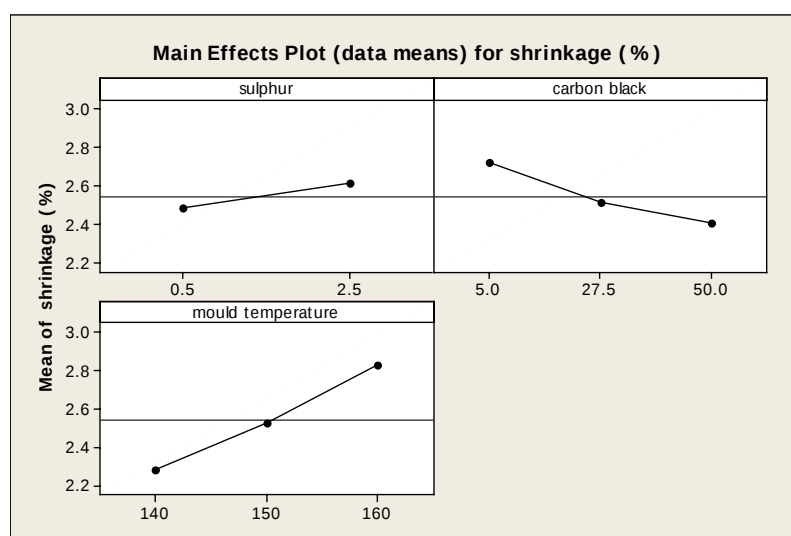


วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อหาตัวแปรจากยางผสมและกระบวนการผลิตที่มีผลต่อการหดตัวของระบบการคงรูปหรือปริมาณกำมะถัน ปริมาณเขม่าดำ และอุณหภูมิแม่พิมพ์ มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริง ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 ให้ผลแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 68



ภาพที่ 68 ผลหลักของการทดลองเพื่อหาตัวแปรจากยางผสมและกระบวนการผลิต

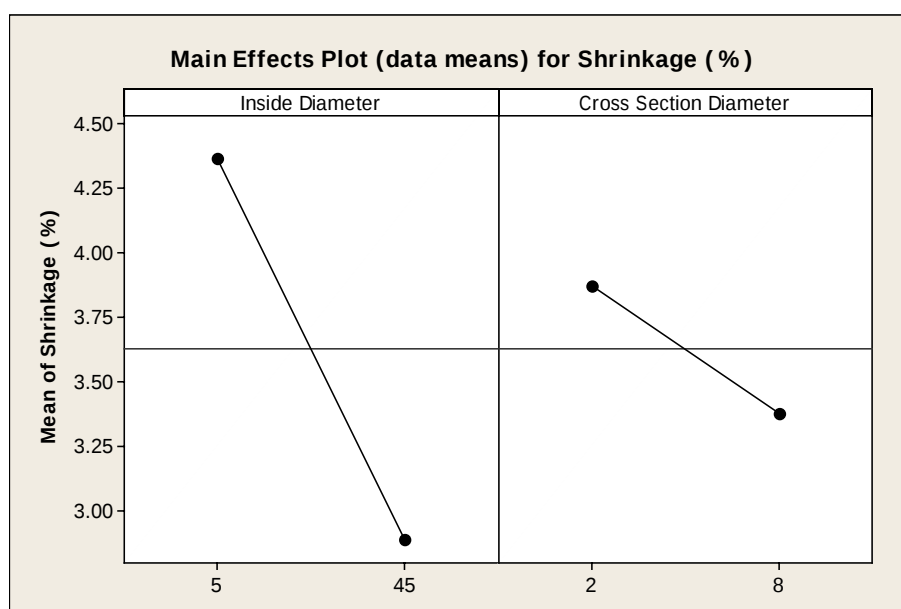
กราฟของผลหลัก ปริมาณกำมะถัน ปริมาณเขม่าดำ และอุณหภูมิแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 68 พบว่า ปริมาณกำมะถันและอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการหดตัวเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเขม่าดำที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการหดตัวลดลง สามารถอธิบายได้ดังนี้

กำมะถัน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของการคงรูปที่มีความซับซ้อนมาก ปริมาณของกำมะถันเป็นตัวแปรในการเกิดโครงสร้างร่างแห (cross link) ที่แตกต่างกัน เมื่อเติมปริมาณกำมะถันลงไปปริมาณมากทำให้ความหนาแน่นของโมเลกุลมากขึ้น มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ทำให้ปริมาตรโดยรวมลดลง ซึ่งก็คือ เกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์

เขม่าดำ มีสมบัติการขยายตัวน้อยกว่ายาง เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำมากขึ้น ปริมาณเนื้อยางจะถูกแทนที่ด้วยเขม่าดำมากขึ้น ทำให้สมบัติการขยายตัวลดลง ตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเขม่าดำ เป็นผลให้การหดตัวลดลง

เมื่ออุณหภูมิมีความแตกต่างกันมาก การขยายตัวทางความร้อน (thermal expansion) ของยางมีค่ามาก ทำให้เกิดการขยายตัวและหดตัวมาก และนอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยสำคัญในปฏิกิริยาเคมีของการคงรูปและยังมีผลต่อคุณสมบัติของทางกายภาพของยางที่คงรูปแล้ว ซึ่งเหตุผลเหล่านี้ทำให้เกิดการหดตัว

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาขนาดแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการหดตัว พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีผลต่อการหดตัว แต่เส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด ไม่มีผลต่อการหดตัวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยผลหลักของการทดลองแสดงในภาพที่ 68



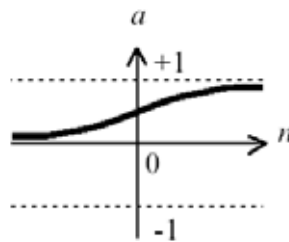
ภาพที่ 69 ผลหลักของการทดลองเพื่อศึกษาขนาดแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการหดตัว

จากกราฟผลหลัก พบว่า ตัวแปรทั้ง 2 ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด ที่เพิ่มทำให้ค่าเฉลี่ยของการหดตัวในทิศทางเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง

การทดลองที่ 16 และ 11 ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อกำหนดจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม พบว่า เครื่อง่ายที่มีทั้งสาม ให้ผลเหมือนกัน คือ จำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม คือ 5 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณกำมะถัน ปริมาณเซมาดำ อุณหภูมิแม่พิมพ์ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด ซึ่งดูเหมือนเป็นการขัดแย้งกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดไม่มีผลต่อการหดตัว น่าจะไม่จำเป็นในการฝึกหัดเครื่อง่ายประสาทเทียม

เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในการกำหนดค่านัยสำคัญ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเท่ากับ 0.05 ซึ่งเป็นไปได้มากที่เส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดมีผลต่อการหาค่าที่ระดับนัยสำคัญอื่นๆ อีกทั้งเครือข่ายประสาทเทียมยังมีความประสิทธิภาพในการเลียนแบบพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนสูง อาจตรวจจับผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่มีต่อการหาค่าได้ ดังนั้น เมื่อนำมาฝึกหัดในเครือข่ายประสาทเทียมจึงให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำเฉลี่ยสูงกว่า

การทดลองที่ 2 7 และ 12 เป็นการทดลองเพื่อกำหนดเงื่อนไขของข้อมูลที่เหมาะสมพบว่า เครือข่ายที่มีทั้งสาม ให้ผลเหมือนกัน คือ วิธีกำหนดวิธีการปรับข้อมูล (normalization) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำมากกว่าการไม่ปรับข้อมูล (unnormalization) เป็นผลมาจากการเลือกใช้ฟังก์ชันส่งผ่าน (transfer function) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบลอจิสติกมอยด์ (log-sigmoid) เป็นฟังก์ชันส่งผ่านใช้กับค่าอินพุตในช่วงระหว่าง $-\alpha$ ถึง α และจะให้เอาต์พุตในช่วง 0 ถึง 1 ดังแสดงในภาพที่ 70



ภาพที่ 70 ฟังก์ชันส่งผ่านแบบลอจิสติกมอยด์

จากภาพที่ 70 จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า n มีค่ามากหรือน้อยมากๆ เอาต์พุตหรือจะไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ไม่ว่าอินพุตจะมีค่าเท่าใด นั่นคือ จะอ่านค่าได้เป็น 0 และ 1 เท่านั้น ทำให้ค่าประสิทธิภาพของเครือข่ายประสาทเทียมต่ำ เพราะฉะนั้นเมื่อนำข้อมูลมาทำการปรับค่า (normalization) ให้มีค่าน้อยในช่วงที่กำหนด ทำให้เครือข่ายสามารถแบ่งแยกความแตกต่างได้ และส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายประสาทเทียมดีขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5 ซึ่งได้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ

การทดลองที่ 3 8 และ 13 เป็นการทดลองเพื่อกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate) และจำนวนรอบ (epoch) ที่เหมาะสม พบว่า ให้ผลเหมือนกัน คือ ค่าอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบที่ใช้ในการฝึกหัดเครือข่ายให้ประสิทธิภาพเครือข่ายไม่แตกต่างกัน ดังนั้น สามารถเลือกค่า

ใดค่าหนึ่งมาใช้ในการฝึกหัดได้ ในการพิจารณาเลือกค่าอัตราการเรียนรู้นั้นควรเลือกที่มีค่าน้อยๆ เนื่องจากอัตราการเรียนรู้ที่มากเกินไปจะทำให้เครือข่ายประสาทเทียม มีผลการเรียนรู้และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุตและเอาต์พุตของเครือข่ายประสาทเทียมอย่างรวดเร็วเกินไป ทำให้ค่าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลเอาต์พุตของเครือข่ายประสาทเทียมกับค่าเป้าหมาย ในการทดลองนี้จึงเลือกค่า 0.01 ส่วนจำนวนรอบที่ใช้ในการฝึกหัดควรเลือกที่จำนวนรอบน้อยที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการฝึกหัด ในงานวิจัยนี้จึงเลือก 1,000 รอบ

จากผลการทดลองที่ 9 10 และ 15 ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อกำหนดจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่เหมาะสมในการฝึกหัดเครือข่ายประสาทเทียม เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน และ/หรือ วิธีความแตกต่างนัยสำคัญน้อยที่สุด (LSD) พบว่า มีบางช่วงที่ให้ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งสามารถเลือกจำนวนนิวรอนเท่าใดก็ได้ แต่เพื่อให้ได้ตัวแปรที่ดีที่สุด จึงพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยเลือกค่าน้อยๆ ซึ่งหมายความว่า ผลที่ได้มีความเสถียรภาพมากกว่าที่ระดับอื่นๆ ในการทดลองที่ 9 จึงเลือกจำนวนนิวรอนเท่ากับ 11 นิวรอน การทดลองที่ 10 เท่ากับ 21 นิวรอน และการทดลองที่ 15 เท่ากับ 16 นิวรอน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ในการพิจารณาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริง ตัวแปรต่าง ๆ ได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยการค้นคว้าทางเอกสารและจากการทดลองเบื้องต้น (preliminary test) ซึ่งทำให้เราสามารถแยกแยะตัวแปรต่างๆ ออกตามแหล่งที่มา ซึ่งได้แก่ ตัวแปรจากยางผสม (compound variables) ตัวแปรในกระบวนการผลิต (processing variables) และที่ตัวแปรที่มาจากขนาดแม่พิมพ์ (mould sizing) ซึ่งภายหลังจากการวิเคราะห์ทำให้สามารถเลือกตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริงได้แก่ ปริมาณเขม่าดำ (carbon black) ปริมาณกำมะถัน (sulphur) อุณหภูมิแม่พิมพ์และเวลาคงรูป (mould temperature, cure condition) และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (inside diameter) และเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภาคตัด (cross section diameter) ของแม่พิมพ์ ผลิตภัณฑ์ยางโอริง หลังจากได้ตัวแปรที่น่าจะมีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริง ทั้ง 5 ตัวแปรแล้ว จึงได้วางแผนการออกแบบการทดลอง ซึ่งการทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อหาตัวแปรจากยางผสมและกระบวนการผลิต และการทดลองส่วนที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่มาจากขนาดแม่พิมพ์ โดยแผนการออกแบบการทดลองที่ใช้ ในการส่วนที่ 1 ได้ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 2 ระดับ (2^k factorial design) เพื่อที่จะเลือกตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 1 พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริง คือ ปริมาณเขม่าดำ ปริมาณกำมะถัน และอุณหภูมิแม่พิมพ์และเวลาคงรูป ส่วนในแผนการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 2 ได้ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 2 ระดับ เพื่อที่จะเลือกตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 2 พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัวของผลิตภัณฑ์ยางโอริง คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

จากผลทดลองเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของเครือข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ตัวแปร นำออก คือ การหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางและการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภาคตัด การทดลองเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของเครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ตัวแปรนำออก คือ การหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และการทดลองเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของเครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ตัวแปรนำออก คือ การหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภาคตัด (ดังแสดงในตารางที่ 73) พบว่า ได้ผลสรุปที่เหมือนบางประการ คือ

1. จำนวนตัวแปรนำเข้าเท่ากับ 5 ตัวแปร ให้ค่าประสิทธิภาพเครือข่ายดีที่สุด โดยตัวแปรดังกล่าว คือ ปริมาณ ปริมาณเขม่าดำ อุณหภูมิแม่พิมพ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด
2. วิธีการปรับข้อมูล (normalization) ซึ่งให้ประสิทธิภาพดีที่สุด คือ ปรับให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1
3. องค์ประกอบภายในที่เหมาะสม คือ อัตราการเรียนรู้ (learning rate) และจำนวนรอบ (epoch) พบว่า ตัวแปรทั้งสองให้ผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายประสาทเทียม ไม่แตกต่างกัน ในการพิจารณาค่าเล็กน้อย ๆ คือ 0.01 และใช้จำนวนรอบ 1,000 รอบ ในการฝึกหัด

ในส่วนของผลสรุปที่แตกต่างกัน คือ

1. จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1

เครือข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ตัวแปรนำออก คือ การหัดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและการหัดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด เท่ากับ 10 นิวรอน

เครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ตัวแปรนำออก คือ การหัดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 11 นิวรอน

เครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ตัวแปรนำออก คือ การหัดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด เท่ากับ 11 นิวรอน

2. จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2

เครือข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ตัวแปรนำออก คือ การหัดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและการหัดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด เท่ากับ 21 นิวรอน

เครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ตัวแปรนำออก คือ การหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 20 นิวรอน

เครือข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ตัวแปรนำออก คือ การหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด เท่ากับ 16 นิวรอน

ตารางที่ 73 ผลการทดลองการเลือกของเครือข่ายประสาทเทียม

experiment	number of input	condition of data	learning rate, epoch	number of neural in 1 st hidden layer	number of neural in 2 nd hidden layer	accuracy (%)
A	5	normalization	0.01, 1000	10	21	95.8
B	5	normalization	0.01, 1000	11	21	95.9
C	5	normalization	0.01, 1000	11	16	96.1

A = เครือข่ายประสาทเทียม 2 ตัวแปรนำออก คือ การหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและการหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด

B = เครือข่ายประสาทเทียม 1 ตัวแปรนำออก คือ การหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

C = เครือข่ายประสาทเทียม 1 ตัวแปรนำออก คือ การหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเก็บข้อมูลอย่างผสมที่มีส่วนประกอบอื่นๆ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการหดตัว ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีใช้กันมากในปัจจุบัน แต่ในสูตรยางแต่ละสูตรยังมีองค์ประกอบอื่นอีกมาก ที่มีผลการหดตัว ซึ่งถ้าหากทำการศึกษาโดยละเอียดจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบแม่พิมพ์ต่อไป

2. ควรมีการเก็บข้อมูลอย่างผสมคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ควบคู่ไปกับค่าการหดตัว

ในงานวิจัยนี้เน้นเฉพาะผลของการหดตัวเพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงผลของคุณสมบัติทางกายภาพอย่างอื่นมากนัก ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของสารเคมีที่เปลี่ยนไป เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะสอดคล้องกับความต้องการของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อย่างมากยิ่งขึ้น