บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางข้น 60 % DRC มีค่าเท่ากับ 1.13 ไมโครเมตร ส่วนสารในระบบวัลคาไนซ์ที่ใช้ในการทดลองและอยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน ได้แก่ ซัลเฟอร์ ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ZDEC) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5.70, 2.36 และ1.88 ไมโครเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่ามีขนาดใหญ่ว่าอนุภาคของน้ำยางข้น จึงทำให้มีข้อจำกัดในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้การวัลคาไนซ์ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร

5.1.2 ผลของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์

1. ผลการออกแบบการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ได้แก่ ปริมาณซัลเฟอร์ อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ และเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าปริมาณซัลเฟอร์มีผลต่อความต้านทานแรงดึงน้อยมาก ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด คือ อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ต่ำประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง

2. ผลค่าความต้านทานแรงดึง

2.1 ปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มจาก 1.0 phr เป็น 1.5 และ 2.0 phr ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณซัลเฟอร์มากขึ้น พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มมากขึ้น โมเลกุลของซัลเฟอร์จะเกาะกันเองเป็นสายโซ่ยาวซึ่งไม่ได้เกิดการเชื่อมขวางที่ดี ทำให้ขาดความแข็งแรงจึงเป็นสาเหตุให้ความต้านทานแรงดึงลดลง และเป็นไปในแนวทางเดียวทั้งในเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง

2.2 อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีค่า 30 และ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากว่าที่อุณหภูมินี้เป็นช่วงที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาได้ดี

แต่เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์สูงขึ้นเป็น 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลงตามลำดับ และมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำมากที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากว่าที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่สูงนี้ทำให้แอมโมเนียเกิดการระเหยมากขึ้น เป็นสาเหตุให้น้ำยางเกิดการเสียเสถียรภาพความแข็งแรงของยางจึงลดลง

2.3 เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากว่าที่ 1 ชั่วโมงมีเวลาไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางโมเลกุล จึงเป็นสาเหตุให้ความต้านทานแรงดึงต่ำกว่าที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 3 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์สูงขึ้นเป็น 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกัน เพราะว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้น น้ำยางวัลคาไนซ์อิสระเกิดการสร้างพันธะซัลเฟอร์กับสายโซ่พอลิเมอร์ของยางได้อย่างรวดเร็ว ในปริมาณเท่าๆ กัน

2.4 ระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์มีค่าความต้านทานแรงดึงไม่ผ่านไปตามมาตรฐาน มอก. 1056-2548 ของกระทรวงอุตสาหกรรม เนื่องมาจากซัลเฟอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาอนุภาคของยางมาก จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การเชื่อมขวางโมเลกุลได้ไม่สมบูรณ์

5.1.3 ผลของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ในเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) ดิสเพอร์ชัน

1. ผลของร้อยละการบวม (% Swelling)

ร้อยละการบวมของน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 30, 40, 50, 60 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 85 – 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำยางเกิดการคงรูปได้ปานกลาง ส่วนที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 70 องศาเซลเซียส ร้อยละการบวม อยู่ในช่วง 90 - 110 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำยางคงรูปเล็กน้อย เนื่องจากว่าที่อุณหภูมิสูงน้ำยางเกิดการเสียเสถียรภาพเพราะแอมโมเนียระเหยออกไปมาก ทำให้ไม่เกิดการเชื่อมขวางโมเลกุล

2. ผลค่าความต้านทานแรงดึง

2.1 ปริมาณซัลเฟอร์ในเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ 1.5 phr และ 2.0 phr ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าสูง เนื่องจากว่าที่ปริมาณซัลเฟอร์ในเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ 1 phr ยังเกิดการวัลคาไนซ์ไม่เพียงพอความต้านทานแรงดึงจึงต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 3.0 phr

ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มมากขึ้น โมเลกุลของซัลเฟอร์จะเกาะกันเองไม่ได้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล

2.2 อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระในระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้เตตระ เมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ดิสเพอร์ชัน

2.3 สรุปได้ว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงที่สุดที่ปริมาณซัลเฟอร์ในเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ 1.5 phr และอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 องศาเซลเซียส มีค่า 11.4 เมกะพาสคัล

2.4 ระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ดิสเพอร์ชัน มีค่าความต้านทานแรงดึงที่ผ่านไปตามมาตรฐาน มอก. 1056-2548 ของกระทรวงอุตสาหกรรม มีค่า 10.8 และ 11.4 เมกะพาสคัล ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

5.1.4 ผลของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์เปรียบเทียบกับระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) ดิสเพอร์ชัน

1. ผลของค่าความต้านทานแรงดึง

ระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ดิสเพอร์ชัน ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์มาก เพราะว่าซัลเฟอร์ในเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์นี้มีประสิทธิภาพในการเชื่อมขวางมาก เนื่องจากว่า TMTD ที่ใช้จะสลายตัวให้อนุมูลเสรี และรวมตัวกับโมเลกุลของยางทำให้เกิดการเชื่อมขวางโมเลกุลขึ้น โดยซัลเฟอร์ต่อกันเพียง 1 หรือ 2 อะตอม (mono หรือ disulfidic crosslink) และไม่มีซัลเฟอร์มาต่อกันเป็นวง จึงทำให้ฟิล์มยางที่ได้มีความต้านทานแรงดึงและความร้อนดีกว่ายางที่มีการวัลคาไนซ์แบบหลายๆ อะตอม (polysulfidic crosslink)

2. ผลของความยืดเมื่อขาด

2.1 ค่าความยืดเมื่อขาดของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์มีค่าอยู่ในช่วง 550 – 800 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 30 – 60 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความยืดเมื่อขาดต่ำมากประมาณ 30 – 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่าน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระเกิดการเสียเสถียรภาพอย่างมากที่อุณหภูมินี้

2.2 ความยืดเมื่อขาดของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ดิสเพอร์ชัน มีค่าอยู่ในช่วง 600 – 900 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมของถุงมือยาง

5.1.5 ผลสภาพให้น้ำซึมผ่านได้ของฟิล์มยางจากน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ

อัตราการซึมผ่านได้ของน้ำผ่านฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระมีค่าประมาณ $(0.05 – 0.27) \times 10^{-2}$ กิโลกรัม/(ตารางเมตร–ชั่วโมง–มิลลิเมตร) ซึ่งสามารถกั้นความชื้นจากไอน้ำได้ดีมาก

5.1.6 ผลของสมบัติเชิงกลของไซเลนและโซเดียมซิลิเกต

1. ผลของความต้านทานแรงดึง

1.1 เมื่อเพิ่มปริมาณไซเลนมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.13 – 5.54 เมกะพาสคัล เนื่องไซเลนเป็นสารประสานคู่ควบไม่ได้สร้างพันธะกับโมเลกุลของยาง จึงไม่ได้ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงไม่แตกต่างกันมาก

1.2 ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 0 phr ของปริมาณซิลิเกต มีค่าเท่ากับ 11.4 เมกะพาสคัล เมื่อเพิ่มปริมาณของซิลิเกตเป็น 5, 10, 15 และ 20 phr ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด คือ 5.3, 2.97, 2.3 และ 1.7 เมกะพาสคัล ตามลำดับ เนื่องจากอนุภาคซิลิเกตมีขนาดใหญ่ เมื่อปริมาณซิลิเกตมากขึ้นอนุภาคก็มีขนาดใหญ่มากขึ้น แล้วเข้าไปแทรกในโครงสร้างทำให้ความแข็งแรงลดลง

2. ผลของความยืดเมื่อขาด

การเพิ่มปริมาณของทั้งไซเลนและโซเดียมซิลิเกตไม่ได้มีผลต่อค่าความยืดเมื่อขาด โดยมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 800 – 900 เปอร์เซ็นต์

3. ผลของค่าความแข็ง

3.1 ปริมาณของไซเลนเพิ่มมากขึ้นค่าความแข็งมีค่าคงที่ โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 34 IRHD เนื่องจากไซเลนเป็นสารประสานคู่ควบ ที่ทำหน้าที่ในการช่วยให้อนุภาคซิลิเกตสามารถจับกับอนุภาคยางได้ดียิ่งขึ้น

3.2 ปริมาณโซเดียมซิลิเกตเพิ่มมากขึ้นค่าความแข็งมีค่าสูงขึ้น โดยที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกต 20 phr ค่าความแข็งมีค่ามากที่สุด ซึ่งมีค่า 43 IRHD ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากโซเดียมซิลิเกตเป็นสารช่วยในการเสริมแรง

5.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการยึดติดระหว่างพื้นผิวกับฟิล์มยาง

1. ผลของปริมาณไซเลน

1.1 เมื่อเพิ่มปริมาณไซเลนขึ้น ในช่วงแรกจาก 0 – 2 phr พบว่าค่าการยึดติดระหว่างยางกับพื้นผิวต่างๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากว่าปริมาณไซเลนน้อยๆ ไม่มีผลต่อค่าการยึดติด เพราะไซเลนที่เติมลงไปจะไปยึดติดกับโครงสร้างของซิลิเกตกับโมเลกุลยางจนหมด แต่เมื่อปริมาณไซเลนเพิ่มเป็น 3, 4, 5 phr ค่าการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เพราะว่ายังมีไซเลนที่เหลืออยู่บางส่วนเข้าไปยึดติดกับพื้นผิวต่างๆ

1.2 ค่าการยึดติดระหว่างฟิล์มยางกับพื้นผิวต่างๆ ที่ปริมาณไซเลน 5 phr พบว่าพื้นผิวอิฐบล็อกและคอนกรีตให้ค่าการยึดติดของยางสูงที่สุด ซึ่งมีค่า 10 และ 8 เมกะพาสคัล ตามลำดับ เนื่องจากพื้นผิวทั้งสองมีส่วนประกอบของซิลิกาซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไซเลน โดยโมเลกุลซัลเฟอร์ไนไซเลนจะทำการสร้างพันธะกับสายโซ่ยางที่ตำแหน่งพันธะคู่

2. ผลของปริมาณโซเดียมซิลิเกต

2.1 ปริมาณโซเดียมซิลิเกตจาก 0 เป็น 5 phr ค่าการยึดติดของพื้นผิวต่างๆ มีค่าเท่ากัน เมื่อปริมาณโซเดียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นเป็น 10 phr ค่าการยึดติดของแต่ละพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นอีกเป็น 15 และ 20 phr ค่าการยึดติดมีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกตมากขึ้นทำให้อนุภาคซิลิเกตมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการกระจายตัวไม่ดี โดยอนุภาคของซิลิเกตจะเกิดการเกาะกลุ่มกันเอง

2.2 ค่าการยึดติดของยางที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกต 10 phr ซึ่งให้ค่าการยึดติดที่สูงสุด พบว่าพื้นอิฐบล็อกมีค่าการยึดติดสูงสุด 14.5 เมกะพาสคัล เนื่องจากว่าที่พื้นผิวของ อิฐบล็อกมีลักษณะขรุขระมากทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับอนุภาคซิลิเกตได้มาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สารเคมีต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปดิสเพอร์ชันควรบดให้มีขนาดเล็กกว่านี้ อาจทำให้การเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น

5.2.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ไม่ควรเกิน 70 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวเป็นก้อน

5.2.3 ควรศึกษาถึงผลของสารตัวเติมเพื่อให้ได้ค่าความแข็งมากขึ้นกว่านี้