



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากงานวิจัยนี้สามารถเตรียม NR-g-CST CST และ DPVA ซึ่งเป็นปรับปรุงสมบัติความชอบน้ำของยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์ดังกล่าวสามารถย่อยสลายได้ ในส่วนแรกเป็นการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ ST และ PVA ได้ใช้ $K_2S_2O_8$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รายละเอียดสำหรับการเตรียม DPVA เป็นการเชื่อมสภาพของทางเคมีแบบเชื่อมขวางของ PVA ดัดแปรโดยใช้ $K_2S_2O_8$ เริ่มจากการนำ PVA ละลายในน้ำแล้วให้ความร้อนที่ $70^\circ C$ ต่อมาได้เติม $K_2S_2O_8$ ลงในสารละลาย PVA ภายใต้การกวน 45 นาที ทำให้ได้ DPVA แล้วนำไปตรวจสอบโครงสร้างด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบว่าสเปกตรัมของ DPVA พบเลขคลื่นที่ตำแหน่ง 1357 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่ง -C-O-C- ของหมู่เอเทอร์ที่มีการเชื่อมขวางของโมเลกุล PVA แสดงว่า PVA มีการเชื่อมสภาพทางเคมีแบบการเชื่อมขวาง ส่งผลให้สมบัติของ PVA เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นสูงถึง 246% ตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD และได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนืดของ PVA ได้แก่ การเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลให้ PVA ใช้เวลาการเปลี่ยนเป็น DPVA น้อยลง ยังมีการศึกษาการเพิ่มปริมาณของ $K_2S_2O_8$ ผลการทดลองพบว่า PVA ใช้เวลาการเปลี่ยนแปลงเป็น DPVA น้อยลง และมีการศึกษาการลดความเข้มข้นของ PVA ผลการทดลองพบว่า PVA ใช้เวลาการเปลี่ยนแปลงเป็น DPVA น้อยลงเช่นกัน โดยใช้พลังงานกระตุ้นเท่ากับ -1.225 kJ/mol ยังมีการศึกษาการสมบัติทางความร้อน ผลการทดสอบพบว่า DPVA สามารถทนความร้อนได้สูงขึ้น ตลอดจนได้ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ DPVA ที่มีการเติม $K_2S_2O_8$ 0.25 0.5 และ 1.0 wt% พบว่า DPVA ที่มีการเติม $K_2S_2O_8$ 1.0 wt% มีการย่อยสลายช้าที่สุด เนื่องจากมีความหนาแน่นของการเชื่อมขวางมากที่สุด ในกรณีการลดความหนืดของ ST เมื่อเติม $K_2S_2O_8$ โดยใช้เวลา 30-45 นาทีที่ $60^\circ C$ ทำให้ได้ CST แล้วนำตรวจสอบโครงสร้างด้วยเทคนิค ATR-FTIR ผลการตรวจสอบพบว่า ST และ CST โครงสร้างทางเคมีที่ไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลึกของ CST และ ST ด้วยเทคนิค XRD พบว่า CST มีปริมาณผลึกลดลง และมีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของ ST ได้แก่ การเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลให้ ST ใช้เวลาการเปลี่ยนเป็น CST น้อยลง ยังมีการศึกษาการเพิ่มปริมาณของ $K_2S_2O_8$ และผลการทดลองพบว่า ST ใช้เวลาการเปลี่ยนเป็น CST น้อยลงเช่นกัน และค่าพลังงานกระตุ้นของอาร์เรเนียสมีค่าประมาณ -0.74 kJ/mol หลังจากการเตรียม CST ได้สำเร็จสามารถนำไปกราฟต์กับ NR เพื่อเพิ่มสมบัติในเรื่องความชอบน้ำให้มากขึ้น

งานวิจัยส่วนที่สอง เป็นการศึกษาการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำของยางธรรมชาติได้ตีขึ้นโดยการกราฟต์กับ CST เริ่มจากการนำ CST ดัดแปรเติมลงใน NR ที่มี Terric 16A16 ที่ $60^\circ C$

เป็นเวลา 3 h และนำมาหล่อฟิล์มบนแผ่นกระจก ทำให้ได้ NR-g-CST แล้วนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบว่า NR-g-CST มีเลขคลื่นที่ $3550-3200\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ O-H ของ CST และเลขคลื่นที่ 1659 และ 1634 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของหมู่ C=CH ของ NR แสดงว่า NR-g-CST มีการกราฟต์เกิดขึ้นจริงและสามารถเพิ่มสมบัติการชอบน้ำของ NR ผลการทดสอบสมบัติการบวมตัวในน้ำกลั่นของ NR-g-CST มีสมบัติการบวมน้ำมากกว่า NR และมีการนำ NR-g-CST ไปทดสอบสมบัติเชิงกลที่ทำการเปรียบเทียบการเติม CST ที่ 25 50 และ 100 phr โดยไม่เติมสารคอมพาวด์ใดๆ พบว่าเมื่อเติม CST สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งและค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงขึ้น และเมื่อทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงตีสั้น พบว่าผลของการทนต่อแรงดึงของ NR-g-CST ที่มีการเติม CST 50 phr ให้ค่าสูงสุดคือ 6.73 MPa และมีร้อยละของระยะยืด 630% แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมของ NR/CST พบว่ามีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน แต่มีค่าความต้านทานต่อการฉีกและค่าของความต้านทานต่อแรงดึงของ NR/CST blend ต่ำมาก เนื่องจากเกิดการแยกเฟสของ NR และ CST ในตัวอย่างของ NR/CST blend มีการยืนยันการแยกเฟสด้วยเทคนิค SEM และเมื่อนำ NR-g-CST ไปทดสอบสมบัติทางความร้อนสูงขึ้น รวมถึงการย่อยสลายทางชีวภาพของ NR-g-CST สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า NR/CST blend

ผลการทดลองในส่วนที่สาม เป็นการนำ NR-g-CST และ DPVA จัดแปรมาใช้เป็นพอลิเมอร์เมมเบรนสำหรับการควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ และพอลิเมอร์จัดแปรดังกล่าวสามารถย่อยสลายในดินได้ กรณีที่หนึ่งเป็นการเตรียมแคปซูลปุ๋ยยูเรียแบบเคลือบโดยการนำ DPVA มาเคลือบผิวของปุ๋ยยูเรีย โดยมีการศึกษาจำนวนชั้นของการเคลือบปุ๋ยเช่น 1 2 และ 3 ชั้น แล้วมีการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยยูเรียด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี พบว่าแคปซูลปุ๋ยยูเรียที่มีการเคลือบจำนวนชั้นมากขึ้นสามารถปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียได้ช้าลง ใช้เวลาในการปลดปล่อยสูงสุดที่ 180 นาฬิกา กรณีที่สองเป็นการเตรียมแคปซูลปุ๋ยยูเรียแบบผสมโดยการนำ NR-g-CST ผสมกับปุ๋ยยูเรียในขณะที่อยู่ในรูปของคอลลอยด์แล้วนำไปอบแห้ง ทำให้ได้แคปซูลปุ๋ยยูเรียแบบผสมโดยมีปุ๋ยยูเรียกระจายตัวใน NR-g-CST ที่เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ แล้วนำมาศึกษาสมบัติการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี พบว่า NR-g-CST ที่มีการเติม CST ลดลงส่งผลให้ปลดปล่อยช้าลง สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้นานถึง 72 h เป็นของ NR-g-CST ที่การเติม CST 25 phr และเมื่อปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียหมดแล้วได้แผ่น NR-g-CST ไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM พบว่าแผ่น NR-g-CST มีรูพรุนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเกิดจากปุ๋ยยูเรียที่หายไป กรณีที่สามเป็นการเตรียมแคปซูลปุ๋ยยูเรียแบบถุโดยการนำแผ่น NR-g-CST นำมาทำเป็นถุเมมเบรนลักษณะคล้ายถุชาเพื่อห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย ได้มีการศึกษาจำนวนชั้นของถุเมมเบรนเช่น 1 2 และ 3 ชั้น แล้วนำมาศึกษาสมบัติการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี พบว่าแคปซูลปุ๋ยยูเรียที่มีชั้นของถุ NR-g-CST มากขึ้นส่งผลให้มีการปลดปล่อยช้าลง โดยแคปซูลปุ๋ยยูเรียที่มีถุเมมเบรน 3 ชั้นใช้เวลาการปลดปล่อยสูงสุดคือ 156 h กรณีที่สี่เป็นการเตรียมแคปซูลจุลินทรีย์ EM โดยการนำแผ่น NR-g-CST ที่แห้งตัวแล้วมาดูดซับจุลินทรีย์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้จุลินทรีย์ *Azotobacter vinelandii* เป็นตัวแทนของจุลินทรีย์ EM ได้ศึกษาการดูดซับจุลินทรีย์ *Azotobacter vinelandii* ที่

เวลา 6 12 24 และ 48 h ผลปรากฏว่าแคปซูลจุลินทรีย์ EM สามารถดูดซับและปลดปล่อยจุลินทรีย์ *Azotobacter vinelandii* ได้โดยจุลินทรีย์ยังรอดชีวิตและมีการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์สูงถึง 4.15×10^8 CFU/ml หลังเก็บไว้ที่ 8 สัปดาห์

ส่วนที่สี่ได้นำ CST มาเตรียมเป็นไมโครแคปซูลสารฆ่าเชื้อรา CBZ โดยมีส่วนผสมของ NaAgI CST และ GA เป็นสารเคมีหลัก แล้วนำของผสมไปพ่นฝอยในสารละลาย CaCl_2 ทำให้ได้ไมโครแคปซูลสารฆ่าเชื้อรา CBZ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาขนาดของไมโครแคปซูล CBZ ด้วยเครื่องทดสอบหาค่าศักย์ซีต้าและขนาดอนุภาค ผลการทดลองพบว่าสามารถเตรียมไมโครแคปซูล CBZ ได้ขนาดเล็กที่สุดคือ 113 nm เมื่อเพิ่มปริมาณของ NaAgI มากขึ้นส่งผลให้ขนาดของอนุภาคแคปซูลใหญ่ขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของ CST มากขึ้นส่งผลให้ขนาดของอนุภาคแคปซูลเล็กลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของ GA มากขึ้นส่งผลให้ขนาดของอนุภาคแคปซูลเล็กลง ตลอดจนศึกษาการบรรจุสาร CBZ และนำไปทดสอบการปลดปล่อย CBZ ผลการทดลองพบว่าไมโครแคปซูล CBZ สามารถควบคุมการปลดปล่อย CBZ ได้นานถึง 240 นาที และมีการศึกษาการต้านเชื้อรา ซึ่งเป็นราก่อโรคใหม่พบว่าไมโครแคปซูลสารฆ่าเชื้อรา CBZ สามารถยับยั้งเชื้อราได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญที่ว่องไวและทนทานต่อการบวมน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเกษตรและพืชสวน ทำให้สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อราและไม่ส่งผลเสียต่อพืชเมื่อนำไปใช้งาน ซึ่งพอลิเมอร์ที่เตรียมได้สามารถย่อยสลายได้ และสามารถปลูกขึ้นใหม่ (ยางธรรมชาติ และมันสำปะหลัง) มาทดแทนส่วนที่ใช้ไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการลดน้ำหนักโมเลกุลของแป้งชนิดอื่นๆ เช่น แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด เป็นต้น
2. ควรนำ NR-g-CST ไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ เช่น เป็นตัวผสมในกระบวนการผสมระหว่างพอลิเมอร์มีขั้วและไม่มีขั้ว