## การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต Preparation of Water Swellable Rubber from Sodium Acrylate Grafted Natural Rubber

เสาวลักษณ์ บุญยอด\* และชัยวุฒิ วัดจัง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 Saowaluk Boonyod\* and Chaiwute Vudjung Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Mueang Si Khai, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติยางธรรมชาติ (NR) กราฟต์โคพอลิเมอไรเซชั่นด้วยโซเดียมอะคริเลต (NaAA) เตรียม โดยใช้โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟส (KPS) เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา ได้เป็น NR กราฟต์ด้วย NaAA (NR-g-NaAA) โดยแปร ปริมาณ KPS และ NaAA ที่ 1-3 และ 20-60 phr ตามลำดับ ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันภายใต้สภาวะไนโตรเจนที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าสูตรการสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้ปริมาณ KPS ที่ 2 phr และ NaAA ที่ 40 phr ให้ผลของกราฟต์ติ้งพารามิเตอร์และประสิทธิภาพการกราฟต์ที่ให้ผลมีแนวโน้มสูงที่สุด ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ATR FT-IR พบหมู่ –COO<sup>-</sup> ของ NaAA ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1680 cm<sup>-1</sup> แสดงให้เห็นว่าเกิดการกราฟต์ NaAA ลงบน NR จากนั้นนำมาเตรียมเป็น NR-g-NaAA เชื่อมโยง โดยใช้ ไดคิวมิวเพอร์ออกไซด์ (dicumyl peroxide, DCP) เพื่อใช้เป็นสารเชื่อมโยง ส่งผลให้ NR-g-NaAA มีสมบัติการดูดซึม น้ำได้ดีที่สุดประมาณ 130 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 720 ชั่วโมง จากการทดลองในครั้งนี้ได้ผลของไฮโดรเจลที่เตรียม จากการกราฟต์ แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของหมู่ชอบน้ำในโครงสร้างไฮโดรเจลสูงที่สุด ซึ่งช่งผลให้เกิดการดูดน้ำ ได้มากที่สุด สำหรับการประยุกต์ใช้ NR-g-NaAA ในการเตรียมเป็นยางบวมน้ำและพบว่ายางบวมน้ำมีสมบัติเชิงกลที่ ดีและสามารถขยายตัวในน้ำได้

คำสำคัญ : ยางบวมน้ำ; โซเดียมอะคริเลต; ยางธรรมชาติ; การดูดซึมน้ำ

## Abstract

The aim of this research was to study the water absorption and mechanical properties of hydrogel, obtained from grafted sodium acrylate (NaAA) onto natural rubber (NR) via graft copolymerization reaction at which this sample was identified as NR-g-NaAA. The reaction was

carried out by varying potassium persulfate (KPS) acted as initiator and NaAA used as monomer at 1-3 and 20-60 phr, respectively under nitrogen atmosphere at 70 °C for 4 h. The grafting efficiency was characterized by attenuated total Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR). It was found that the absorption band at 1680 cm<sup>-1</sup> was detected and attributed to –COO<sup>-</sup> stretching of NaAA. In addition an optimum grafting efficiency was obtained for 2 phr of KPS and 40 phr of NaAA. These samples were then cured by dicumyl peroxide (DCP) used as a cross-linking agent for water absorption and mechanical experiment. It was demonstrated that the greatest water absorption was enhanced at 130 % for 720 h and good mechanical properties of water swellable rubber (WSR) was also accompanied. It could be claimed that the increase in hydrophilic property resulting in improved wettability and mechanical properties of water swellable rubber (WSR).

Keywords: water swellable; sodium acrylate; natural rubber; water absorption

#### 1. บทนำ

Super absorbent polymer (SAP) เป็นวัสดุ อินทรีย์ที่มีโครงสร้างเชื่อมโยงใน 3 มิติ เพียงเล็กน้อย ส่งผลให้การบวมพองเกิดขึ้นอย่างมหาศาลในสาร ละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งทางการค้าจะนำ SAP มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผ้าอ้อมเด็ก ผลิตภัณฑ์ผ้าอนามัย และใช้เป็นสารเติมแต่งในการ เตรียมยางบวมน้ำ (water swellable rubber, WSR) โดย SAP สามารถดูดซึมน้ำได้มากถึงร้อยละ 1,000-100,00 [1] โดย SAP ที่ใช้เป็นอนุพันธ์ของเกลือของ กรดอะคริลิก (acrylic acid salt) หรือโคพอลิเมอร์ของ เกลืออะคริลิกกับอะคริลาไมด์ เช่น starch graft, cellulose grafts, lithium acrylate และโซเดียม อะคริเลต [2,3] และจากงานวิจัยที่มีการนำ NaAA และกรดอะคริลิกมาใช้เตรียมเป็นวัสดุดูดซึมน้ำและ ไฮโดรเจล อาทิ Yong และคณะ [4] เตรียมวัสดุดูดซึม น้ำโดยการกราฟต์ carboxymethyl cellulose ด้วย กรดอะคริลิกและ inorganic gel พบว่าอัตราการดูด ซึมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 64.5 กรัม/ กรัม เป็น 103.4 กรัม/กรัม ในขณะที่การดูดซึมเต็มที่ เร็วขึ้นจาก 3 ชั่วโมง เป็น 1.5 ชั่วโมง และ Okay และ คณะ [5] พยากรณ์ความสมดุลของการบวมพองของ ทฤษฏี Flory-Rehner เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการ ทดลองการบวมพองในน้ำและสารละลายเกลือ (NaCl) ของไฮโดรเจล poly(acrylamide-co-sodium acrylate) โดยใช้ปริมาณของสารเชื่อมโยง คือ N.N methylenebis (acrylamide) คงที่ พบว่าสัดส่วนการ บวมพองของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อ สัดส่วนโมลของ NaAA เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Karadag และคณะ [6] เตรียมไฮโดรเจลจากอะคริลาไมด์/NaAA โดยการพอลิเมอไรเซชั่นผ่านอนุมูลอิสระ ใช้สาร เชื่อมโยงในการพอลิเมอไรเซชั่นชนิดต่าง ๆ พบว่าการ บวมพองของไฮโดรเจล acrylamide-NaAA จะเพิ่ม มากขึ้นตามปริมาณของ NaAA ที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้น การใช้กรดอะคริลิกและ NaAA มีผลต่อประสิทธิภาพ ในการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยการ เพิ่มปริมาณของกรดอะคริลิกและ NaAA ที่ใช้ส่งผลให้

สมบัติการดูดซึมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น WSR เป็นวัสดุที่สามารถเกิดการบวมพองเมื่อ อยู่ในน้ำ จึงสามารถหยุดการไหลและการซึมผ่านของ น้ำ ซึ่งมีการนำ WSR มาใช้ในงานก่อสร้างทางโยธา วิศวกรรมการก่อสร้างใต้ดิน โดยวัสดุที่ใช้ในการเตรียม

#### ปีที่ 25 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2560

เสื่อมสภาพทางชีวภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมจาก NR /แป้ง/พอลิอะคริลาไมด์ โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) เป็นสารเชื่อมโยงด้วยไมโครเวฟ พบว่าเมื่อปริมาณของ NR เพิ่มขึ้นสัดส่วนการบวมพอง ของไฮโดรเจลลดลง Khongtong และคณะ [1] ดัดแปร โครงสร้าง NR โดยการกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็น สารเคมีที่สามารถดูดซึมน้ำได้ พบว่า NR กราฟต์ ดังกล่าวสามารถดูดซึมน้ำได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก แต่ต้องใช้เวลาในการแช่น้ำนานถึง 30 วัน จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเตรียม NR เป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำโดยการเพิ่มหมู่ชอบน้ำให้กับ โมเลกุลของ NR นั้น ความสามารถในการเปลี่ยนแปลง หมู่ฟังก์ชัน เช่น การเปลี่ยนหมู่อิพอกไซด์กลายเป็นหมู่ diol หรือแม้แต่การเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ เกิดขึ้นได้ น้อยมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งาน เช่น อัตราเร็วในการดูดซึมน้ำน้อยตามไปด้วย สำหรับ เทคนิคการกราฟต์ NR ด้วยไวนิลมอนอเมอร์หรือ มอนอเมอร์ชนิดอื่น ๆ เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติบาง ประการของ NR ได้แก่ สไตรีน เมทิลเมทาคริเลต มาลิ-อิกแอนด์ไฮไดรด์ เป็นต้น ซึ่งการกราฟต์ด้วยมอนอ-เมอร์เหล่านี้เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติการเข้ากันระหว่าง NR และพลาสติก หรือใช้เป็นสารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact modifier) สำหรับพลาสติกที่ต้องการปรับ ปรุงสมบัติความเปราะ ได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต พอลิสไตรีน หรือพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น ดังนั้นการ ดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของ NR ด้วยการกราฟต์ มอนอเมอร์ที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ที่ชอบ น้ำ จึงมีความเป็นไปได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเตรียม WSR โดย นำโซเดียมอะคริเลต ซึ่งเป็นเกลือของกรดอะคริลิก มอนอเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมเป็น SAP มาใช้ในการเพิ่ม หมู่ชอบน้ำให้กับ NR ด้วยการกราฟต์ NaAA บนสายโซ่ โมเลกุล NR เพื่อเพิ่มอัตราเร็วและความสามารถในการ

WSR จะเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่ไม่ สามารถบวมพองน้ำ ดังนั้นจะต้องผสมกับสารที่ช่วยใน การบวมพองน้ำ คือ SAP เพื่อให้ได้ WSR ที่มีสมบัติ เชิงกลที่ดีในขณะที่การบวมพองสูงขึ้นด้วย ซึ่งจาก งานวิจัยของ ชัยวุฒิ และคณะ [7] ได้ศึกษาผลของ ปริมาณ SAP และพอลิเอทธิลีนไกลคอล (PEG) ที่มีผล ต่อสมบัติเชิงกลของ WSR ที่เตรียมจากยางธรรมชาติ อิพอกไซด์ พบว่าการเพิ่มปริมาณ SAP ช่วยให้การบวม พองน้ำและการขยายตัวในน้ำสูงขึ้น โดยปริมาณ SAP ที่ 50 phr ให้การบวมพองที่ร้อยละ 274 และร้อยละ การขยายตัวในน้ำที่ 376 อย่างไรก็ตาม การเพิ่ม ปริมาณ SAP กลับส่งผลให้สมบัติเชิงกลด้อยลงและเมื่อ แซ่ในน้ำเป็นเวลานานขึ้น อนุภาค SAP ที่บริเวณพื้นผิว ของ WSR เกิดการหลุดออกจากเมทริกซ์ ENR ส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้น จากปัญหา ดังกล่าว ถ้าสามารถเตรียม NR ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีและ สามารถดูดซึมน้ำ พร้อมทั้งขยายตัวในน้ำได้ จะ สามารถใช้ NR เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต WSR โดย ไม่จำเป็นต้องใช้ SAP จึงมีงานวิจัยที่มีการนำ NR ที่มี ความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic polymer) มาใช้ เตรียมเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymer) โดยการเติมหมู่ที่ชอบน้ำให้กับ NR ได้แก่ การกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชั่น หรือการเปลี่ยนจาก ENR ให้กลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล เป็นต้น ซึ่งมีความ พยายามเพิ่มหมู่ชอบน้ำให้กับ NR มากมาย เช่น S-N. Gan และคณะ [8] ศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิด หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่คาบอร์นิล โดยการทำปฏิกิริยา ของ ENR ที่ละลายในโทลูอีนซึ่งเป็นของผสมของเตตระ ไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran) ที่มีน้ำและกรดอะซิ-ติก ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณการ เปลี่ยนแปลงจากอิพอกไซด์ไปเป็น diol เพิ่มขึ้นเป็น 23 โมลเปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เวลา 24 ชั่วโมง Wongsa และคณะ [9] ศึกษาพฤติกรรมการบวมพองและการ

ดูดซึมน้ำให้กับ NR โดยใช้การกราฟต์ NaAA บนสายโซ่

NR ในสภาวะน้ำยาง จากนั้นเตรียมเป็น WSR ซึ่งส่งผล

ทำให้ได้ WSR ที่มีการขยายตัวในน้ำสูงและมีสมบัติ

# อุปกรณ์และวิธีการ 2.1 การเตรียม NR กราฟต์ NaAA

เชิงกลที่ดีด้วย โดยไม่จำเป็นต้องใช้SAP

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เตรียม NR กราฟต์ NaAA โดยนำน้ำยางข้น ชนิดแอมโมเนียสูง (high ammonia natural rubber latex concentrate ปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 60 จากบริษัท เคมีคอลแอนด์แมททีเรียลส์ จำกัด) ปรับ สภาพความเป็นกรด-ด่าง ด้วยโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH จากบริษัท Laboratory Reagents & Fine Chemicals จำกัด) และเติมโซเดียม โดดีซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulphate, SDS จากบริษัท Laboratory Reagents & Fine Chemicals จำกัด) ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว แล้วผ่านแก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้การทำปฏิกิริยาเกิดใน ระบบปิดที่ปราศจากออกซิเจน เติมกรดโอลิอิก (oleic acid จากบริษัท Panreac Ouimica S.A.U. จำกัด) และสารริเริ่มปฏิกิริยาโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟส (potassium persulfate, K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (KPS) จากบริษัท Laboratory Reagents & Fine Chemicals จำกัด) ตามลำดับ แล้วให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 70 องศา เซลเซียส เติมโซเดียมอะคริเลต (sodium acrylate, NaAA) โดยแปรปริมาณ NaAA และ KPS ที่เวลาในการ ทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชั่น 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นตกตะกอนด้วยเมทานอล ทำให้แห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้เป็นยางธรรมชาติ กราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต (NR-g-NaAA) โดย ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม NR-g-NaAA แสดงดังตารางที่ 1

2.2 ศึกษาสมบัติของ NR-g-NaAA

2.2.1 เอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมีด้วย เทคนิคแอทเทนนูเลตโททอลรีเฟลกแตนซ์ (attenuated total reflectance) นำชิ้นตัวอย่างวางบน window cell กดชิ้นตัวอย่างให้แนบชิ้นตัวอย่างกับ แท่นทดสอบมากที่สุด จากนั้นเปิดโปรแกรมเพื่อ ทดสอบโดยใช้เทคนิค ATR วัดการดูดกลืนรังสีอิน ฟาเรดในช่วงความยาวคลื่น 4000-700 cm<sup>-1</sup>

## **ตารางที่ 1** ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม NR-g-NaAA

ส่วนผสม	ปริมาณ (phr)	
60 % HA Latex	100	
water	200	
Potassium hydroxide	1	
Sodium dodecyl sulphate	1	
Oleic acid	10	
KPS	1, 2, 3	
NaAA	20, 30, 40, 50, 60	

phr = ส่วนในร้อยส่วนโดยน้ำหนักของยาง

2.2.2 สมบัติการกราฟต์ NR-g-NaAA ด้วย เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Soxhlet extraction) [10,11] นำ NR-g-NaAA ที่แห้ง ประมาณ 3 กรัม ใส่ลงใน extraction timble โดยสกัดยางธรรมชาติ และโฮโมพอลิเมอร์ของพอลิโซเดียมอะคริเลต [poly (sodium acrylate), poly NaAA] ด้วยปิโตรเลียม-อีเทอร์ (petroleum ether) และน้ำกลั่น ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ NR-g-NaAA บริสุทธิ์ หลังจากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดย สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมอนอ-เมอร์ (% total conversio) = [(W<sub>a</sub>-W<sub>0</sub>)/W<sub>n</sub>] x 100 ... (1) เมื่อ W<sub>a</sub> คือ น้ำหนัก NR-g-NaAA หลังทำ

ปฏิกิริยากราฟต์, W<sub>0</sub> คือ น้ำหนักแห้ง NR ก่อนทำ ปฏิกิริยากราฟต์ และ W<sub>n</sub> คือ น้ำหนัก NaAA ที่ใช้ใน ปฏิกิริยากราฟต์

- ร้อยละยางธรรมชาติที่ไม่เกิดปฏิกิริยา
 หรือยางธรรมชาติอิสระ (% free NR) = [(W<sub>s</sub>-W<sub>P</sub>)/W<sub>s</sub>]
 x 100 ... (2) เมื่อ W<sub>s</sub> คือ น้ำหนัก NR-g-NaAA เริ่มต้น
 และ W<sub>P</sub> น้ำหนัก NR-g-NaAA หลังสกัดด้วยปิโตรเลียม
 อีเทอร์

ร้อยละโฮโมพอลิเมอร์อิสระ (free homopolymer) = [(W<sub>P1</sub>-W<sub>W1</sub>)/W<sub>P1</sub>] × 100 ... (3) เมื่อ W<sub>P1</sub> คือ น้ำหนัก NR-g-NaAA หลังสกัดด้วย ปิโตรเลียมอีเทอร์ และ W<sub>W1</sub> คือ น้ำหนัก NR-g-NaAA หลังสกัดด้วยน้ำกลั่น

 - ร้อยละ NR-g-NaAA หรือกราฟต์โค-พอลิเมอร์ (grafting yield) = [(W<sub>P1</sub>-W<sub>S</sub>)/W<sub>S</sub>] x 100
 ... (4) เมื่อ W<sub>P1</sub> คือ น้ำหนัก NR-g-NaAA หลังสกัดด้วย ปิโตรเลียมอีเทอร์และ W<sub>S</sub> คือ น้ำหนัก NR-g-NaAA เริ่มต้น

 - ร้อยละประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการ กราฟต์ (grafting efficiency) = (W<sub>A</sub>)/W<sub>M</sub>) × 100 ...
 (5) เมื่อ W<sub>A</sub> คือ น้ำหนัก NR-g-NaAA หลังปฏิกิริยาการ กราฟต์ และ W<sub>m</sub> คือ น้ำหนักมอนอเมอร์ที่นำมาทำ ปฏิกิริยากราฟต์

2.2.3 ศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของ NR-g-NaAA นำ NR-g-NaAA ที่อบแห้งแล้ว ละลายในโทลูอีน และเติม DCP 0.25 phr เพื่อใช้เป็นสารเชื่อมโยง โมเลกุล NR-g-NaAA กวนจนกลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้น ระเหยโทลูอีนออกจากของผสมจนน้ำหนัก คงที่ นำของผสมที่ได้ไปรีดด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill) เป็นแผ่น จากนั้นอบในตู้อบลมร้อน ด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ได้เป็น NR-g-NaAA เชื่อมโยง แล้วนำไปทดสอบสมบัติ ต่าง ๆ ดังนี้ - สมบัติการดูดซึมน้ำ [12] เตรียมขิ้น
ตัวอย่างขนาดกว้าง 10×10×0.4 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนัก
ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง แช่ในน้ำกลั่น
20 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนักเป็นเวลา 720 ชั่วโมง
คำนวณดังนี้ ร้อยละการดูดซึมน้ำ (% water
absorption) = (W<sub>2</sub> – W<sub>1</sub>)/W<sub>1</sub> × 100 ... (6) เมื่อ W<sub>1</sub>
คือ น้ำหนักของไฮโดรเจลก่อน และ W<sub>2</sub> คือ น้ำหนัก
ของไฮโดรเจลหลังแช่น้ำ

- สัณฐานวิทยา เตรียมชิ้นทดสอบด้วย การเคลือบทองบริเวณที่ต้องการศึกษาและทดสอบ สัณฐานวิทยาด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโคร-สโครปี (scanning electron microscopy, SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น JEOL JEM 5410-LV

#### 2.3 การเตรียม WSR จาก NR-g-NaAA

เตรียม WSR จาก NR-g-NaAA โดยการบด ผสม NR-g-NaAA ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer) ชนิด Banbury mixer รุ่น FRN7.5G1S-4A ขนาด 1.2 ลิตร ใช้ Fill factor 0.75 ความเร็วโรเตอร์ เท่ากับ 50 รอบ/นาที และผสมซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก (stearic acid) *N*-cyclohexyl-2-benzothiazole sulfonamide (CBS) และกำมะถัน(sulphur) บนเครื่องผสมแบบเปิด (two-roll mill) มี fiction ratio 1:1.2 ได้ยางคอมปาวด์ของ NR-g-NaAA เก็บ ยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทดสอบสมบัติการคงรูป (cure property) ของยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องทดสอบเวลาการวัลคา-ในซ์ของยาง (moving die rheometer, MDR) ที่ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ แบบกดอัด (compression mold) ที่อุณหภูมิ 160

องศาเซลเซียส โดยศึกษาสมบัติของ WSR ดังนี้ - การทดสอบความแข็ง (hardness)

ด้วยเครื่อง Shore A durometer ตามมาตรฐาน JIS K6253 ชิ้น ทดสอบหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร

NaAA เช่น ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมอนอเมอร์ ร้อยละ NR ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ร้อยละโฮโมพอลิเมอร์ อิสระ ร้อยละ NR-g-NaAA และร้อยละประสิทธิภาพ ของปฏิกิริยาการกราฟต์ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายและการเปรียบเทียบ พีคที่เปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิค ATR FT-IR

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติการกราฟต์ของ NR-g-NaAA ที่แปรปริมาณ KPS และปริมาณ NaAA พบว่า เมื่อใช้ KPS ปริมาณ 2 phr ให้ร้อยละการ เปลี่ยนแปลงของมอนอเมอร์สูงที่สุด คือ ร้อยละ 72 เมื่อนำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่าที่ KPS ปริมาณ 3 phr จะมีร้อยละโฮโมพอลิเมอร์อิสระมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้น ในขณะที่ร้อยละกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากการเพิ่มสารริเริ่มปฏิกิริยาจะกระตุ้นให้เกิดพอ ลิโซเดียมอะคริเลตได้มากกว่าเกิด NR-g-NaAA [13] เพราะมอนอเมอร์ NaAA มีความว่องไวต่อการเกิด ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นเป็นโฮโมพอลิเมอร์ได้ดีกว่า

ส่วนผลการแปรปริมาณ NaAA ที่ใช้ในการ ทำปฏิกิริยามีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมอนอ-เมอร์ NaAA โดยร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมอนอ-เมอร์เพิ่มขึ้นตามปริมาณ NaAA ที่เพิ่มขึ้นและมี ้ค่าสูงสุด คือ ร้อยละ 72 ที่ปริมาณ NaAA 40 phr แต่ เมื่อปริมาณ NaAA มากกว่า 40 phr ร้อยละการเปลี่ยน แปลงของมอนอเมอร์ NaAA ลดลงแปรผกผันกับ ปริมาณ NaAA ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ ร้อยละ NR-g-NaAA และร้อยละประสิทธิภาพของ ปฏิกิริยาการกราฟต์ที่การเพิ่มปริมาณ NaAA มากกว่า 40 phr จะส่งผลให้ร้อยละ NR-g-NaAA และร้อยละ ของประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการกราฟต์ลดลง นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับผลการคำนวณหาปริมาณ สัดส่วนการกราฟต์ของ NR-g-NaAA ด้วยเทคนิค ATR FT-IR โดยเทียบพีคคงที่ของ CH3 deformation (1375 cm<sup>-1</sup>) กับพีคของ COO (1680 cm<sup>-1</sup>) ที่สามารถบ่ง

- การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

(tensile strength) ด้วย Tensile testing machine ตามมาตรฐาน JIS K6251 ใช้อัตราเร็วในการดึง 500±50 มิลลิเมตร/นาที ชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบล กว้าง 6 มิลลิเมตร หนา 2.5 มิลลิเมตร

- ทดสอบการขยายตัว (expansion)

เตรียมชิ้นทดสอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10×10×2 มิลลิเมตร แช่ชิ้นทดสอบในน้ำกลั่นเป็นเวลา 28 วัน วัด ความกว้าง ความยาว และความหนาด้วยเวอร์เนียร์คา ลิปเปอร์แบบดิจิตอล คำนวณการขยายตัวในน้ำด้วย สูตร ร้อยละการขยายตัวในน้ำ (%) = [(B-A)/A] × 100 ... (7) เมื่อ A คือ ปริมาตรชิ้นทดสอบก่อนแช่ และ B คือ ปริมาตรชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ

ตารางที่ 2	สูตรการเตรียมยางคอมปาวด์สำหรับ
	เตรียม WSR จาก NR-g-NaAA

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)	
NR-g-NaAA	100.0	
CaCO <sub>3</sub>	10.0	
DCP	1.0	
NaAA	20.0	
ZDA (zinc diacrylate)	2.5	
Sulphur	0.5	
CBS	1.0	
ZnO	3.0	
Stearic acid	1.5	

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

#### 3.1 สมบัติ NR-g-NaAA

NR-g-NaAA เตรียมจากกระบวนพอลิเมอ-ไรเซชั่นแบบอิมัลชั่น โดยมี NR เป็นสายโซโมเลกุลหลัก และเติมมอนอเมอร์ NaAA เป็นสายโซ่กิ่ง มี KPS เป็น สารริเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งสมบัติการกราฟต์ของ NR-g-

บอกถึงการมีอยู่ของ NaAA [14] พบว่าปริมาณการ กราฟต์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ NaAA เพิ่มขึ้นจนถึง 40 phr และเมื่อเพิ่มปริมาณของ NaAA เป็น 50 และ 60 phr ปริมาณการกราฟต์จะลดลง โดยการเพิ่มปริมาณ NaAA ที่มากกว่า 40 phr ส่งผลทำให้โอกาสที่ NaAA ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นเป็นโฮโมพอลิโซเดียม อะคริเลตมากขึ้น (free homopolymer เพิ่มขึ้นตาม ปริมาณ NaAA เพิ่มขึ้น) ทำให้โอกาสเกิดการกราฟต์ บนสายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติลดลง เนื่องจากความ หนาแน่นของมอนอเมอร์ NaAA ในระบบการกราฟต์ มากเกินไป ทำให้มอนอเมอร์ NaAA ซึ่งมีความว่องไว ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นต่อกันมากกว่าทำ ปฏิกิริยาการกราฟต์บนสายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติจึง มีโอกาสเกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น

		Grafting parameter (%)				
ปริ	ปริมาณ (phr)	Total	Free NR	Free	Grafting	Grafting
		conversion		homopolymer	yield	efficiency
KPS	1	67.24±7.41	16.24±9.09	13.12±5.14	75.82±6.05	24.71±5.63
	2	72.74±1.58	17.89±4.76	16.46±5.86	77.86±4.62	26.85±4.42
	3	68.84±7.15	21.18±2.95	17.79±7.52	69.78±6.73	21.70±7.48
NaAA	20	69.12±5.15	21.25±3.41	9.43±4.76	71.72±2.02	22.12±2.14
	30	71.72±2.11	12.62±5.48	14.10±4.15	73.58±5.25	26.53±5.62
	40	72.74±1.58	17.89±4.76	16.46±5.86	77.86±4.62	26.85±4.42
	50	67.43±4.78	22.15±3.57	17.47±4.50	64.07±3.59	21.32±2.58
	60	64.46±7.70	20.54±2.45	21.28±3.53	62.58±3.66	20.14±3.72

ตารางที่ 3 สมบัติการกราฟต์ของ NR-g-NaAA ที่แปรปริมาณของ KPS และ NaAA



**รูปที่ 1** สัดส่วนความหนาแน่นของ NR-g-NaAA ที่แปรปริมาณ KPS และ NaAA

วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของ NR, NaAA และ NR-g-NaAA ที่ปริมาณต่าง ๆ ด้วย ATR FT-IR ในช่วงความถี่คลื่น 4000-700 cm<sup>-1</sup> โดยแสดงผลการ วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลของ NR และ NaAA ปรากฏการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดของหมู่ฟังก์ชั่น ของ NR คือ ตำแหน่งเลขคลื่น 2962 cm<sup>-1</sup> แสดงถึง

#### ปีที่ 25 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2560

#### วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

CH₃ stretching ตำแหน่งเลขคลื่น 2850 cm⁻¹ แสดง ถึง CH<sub>2</sub> stretching ตำแหน่งเลขคลื่น 1665 cm<sup>-1</sup> แสดงถึง C=C stretching รวมทั้งตำแหน่งเลขคลื่น 1450, 1375, 1127 cm<sup>-1</sup> แสดงถึง CH<sub>2</sub> deformation, CH<sub>3</sub> deformation, C-H in plane bending และ =C-H plane bending ของ cis-1,4 ตามลำดับ [15, 16] และปรากฏการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดของฟังก์ชั่น ของ NaAA คือ ตำแหน่งเลขคลื่น 1651 cm<sup>-1</sup> แสดงถึง C-OH ตำแหน่งเลขคลื่น 1559 และ 1324 cm<sup>-1</sup> แสดง ถึง COO<sup>-</sup>แสดงในรูปที่ 2 หลังจากทำปฏิกิริยากราฟต์ NaAA ลงไปบนสายโซ่โมเลกุล NR โดย NR-g-NaAA จะแสดงตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดของหมู่ ฟังก์ชั่นเหมือนกับ NR แต่ปรากฏการดูดกลืนรังสีอิน ฟาเรดของ COO<sup>-</sup> เพิ่มขึ้น ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1680 cm<sup>-1</sup> บน NR-e-NaAA [15] ซึ่งเป็นการยืนยันว่าเกิด จากปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชั่น NaAA บนสาย โซ่โมเลกุล NR ได้สำเร็จ

เมื่อนำ NR และ NR-g-NaAA ที่ NaAA ปริมาณ 40 phr ซึ่งผ่านการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ และน้ำกลั่น เพื่อกำจัด NR ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา มอนอ-เมอร์ NaAA และโฮโมพอลิเมอร์ของพอลิโซเดียม อะคริเลตออกแล้ว มาทดสอบหาอุณหภูมิการเปลี่ยน สถานะคล้ายแก้ว (the glass transition temperature, Tg) พบว่า NR มีค่า Tg เท่ากับ -67.03 องศา เซลเซียส และหลังจากทำปฏิกิริยาการกราฟต์ NaAA บนสายโซ่โมเลกุล NR ได้เป็น NR-g-NaAA ทำให้ค่า Tg ของ NR-g-NaAA สูงขึ้นที่เป็น -64.29 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3 สาเหตุที่การกราฟต์ NaAA ลงบนสาย โซ่โมเลกุลของ NR แล้วทำให้ค่า Tg เพิ่มขึ้น เป็นผลมา จากขนาดของหมู่ข้างเคียง (side group) และความ สามารถในการเคลื่อนไหวของโมเลกุลพอลิเมอร์ [16] ดังนั้นการกราฟต์พอลิโซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่ โมเลกุล NR ทำให้สายโซ่โมเลกุล NR เคลื่อนไหวได้ยาก มากขึ้น เนื่องจากความแข็ง (stiffness) ของสายโซ่ โมเลกล NR เพิ่มขึ้น เมื่อมีโครงสร้างของ NaAA ปรากภ อยู่บนสายโซ่ เพราะโมเลกุล NaAA สามารถเพิ่มอันตร-กิริยาของหมู่ฟังก์ชั่นมีขั้ว (polar group) เช่น COO<sup>-</sup> ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของ NR-g-NaAA ทำให้ต้องใช้ พลังงานมากขึ้น เพื่อที่จะทำให้สายโซ่โมเลกุล NR-g-NaAA เคลื่อนไหว ส่งผลให้ค่า Tg ของ NR-g-NaAA สูง กว่า NR









พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำที่สามารถดูดซึมน้ำ ไว้ภายในโครงสร้างได้ในปริมาณมาก โดยไม่ละลายใน น้ำหรือตัวทำละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายหรือ สามารถคงรูปอยู่ได้ เนื่องจากในโครงสร้างของพอลิ-เมอร์มีการเชื่อมโยงในปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้นใน งานวิจัยนี้จึงนำ NR-g-NaAA มาเชื่อมโยงด้วย DCP ปริมาณ 0.25 phr ที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยการเชื่อมโยงของสายโซโมเลกุล NR-g-NaAA ด้วย DCP คาดว่าเกิดที่บริเวณพันธะคู่ของ NR [17] ซึ่ง จากตารางที่ 4 แสดงความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง ของ NR-g-NaAA โดยแปรปริมาณ NaAA โดยคำนวณ จากสมการของ Flory และ Rehner [17] พบว่า ปริมาณของ NaAA เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่น ของพันธะการเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4 แสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของ NR-g-NaAA ที่แปรปริมาณ NaAA ที่ 20, 30, 40, 50, และ 60 phr โดยแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 720 ชั่วโมง พบว่า NR-g-NaAA ที่มี NaAA ปริมาณ 40 phr มีอัตรา การดูดซึมน้ำสูงสุด เนื่องจากในโมเลกุลของ NR-g-NaAA มีหมู่คาร์บอกซิล (-COO) ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ ในปริมาณที่สูงสุด (ร้อยละ NR-g-NaAA สูงสุด แสดง ดังตารางที่ 3) จึงสามารถดูดซึมน้ำเข้าสู่โครงสร้าง NRe-NaAA ได้มาก [17] จากผลการทดลองสังเกตว่า เมื่อ ปริมาณของ NaAA เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้การดูด ซึมน้ำของ NR-g-NaAA สูงขึ้น เนื่องจากมีหมู่คาร์บอก-ซิล (-COO<sup>-</sup>) อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลมากขึ้น และการ คงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์ที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพันธะ แบบ C-C จึงส่งผลทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปใน โครงสร้างของ NR-g-NaAA และถูกกักเก็บไว้ได้มาก [12] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ NaAA เป็น 50 และ 60 phr ตามลำดับ ร้อยละการดูดซึมน้ำของ NR-g-NaAA จะ ลดต่ำลง สาเหตุมาจากการใช้ปริมาณของ NaAA มาก เกินไป จึงทำให้เกิดโฮโมพอลิเมอร์เป็นพอลิโซเดียม-อะคริเลตมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์บนสายโซ่ โมเลกุลของ NR ดังนั้นร้อยละการดูดซึมน้ำจึงต่ำลง [18]

จากรูปที่ 5 สัณฐานวิทยาของ NR และ NRg-NaAA ที่เชื่อมโยงแล้ว ที่แปรปริมาณ NaAA 20, 40 และ 60 phr ก่อนและหลังแช่น้ำ พบว่าพื้นผิวของ ตัวอย่างทุกตัวอย่างก่อนแช่น้ำจะไม่มีรูพรุน แต่เมื่อแช่

น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เกิดรูพรุนขึ้น ซึ่งเป็น ช่องว่างที่เกิดจากโมเลกุลน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่โครงสร้าง ภายใน NR-g-NaAA และเมื่อปริมาณ NaAA เพิ่มขึ้นทำ ให้รูพรุนเกิดเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยปริมาณที่เหมาะสม ของ NaAA ที่ใช้ในการเตรียม NR-g-NaAA คือ 40 phr ซึ่งจะให้สมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดีที่สุด [12] และเมื่อ ปริมาณ NaAA มากกว่า 40 phr รูพรุนบนพื้นผิว NRg-NaAA มีจำนวนลดลง เนื่องจากร้อยละ NR-g-NaAA ลดลงผกผันกับปริมาณ NaAA ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงใน ตารางที่ 2 ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง จำนวนรูพรุนบนพื้นผิว NR-g-NaAA มีจำนวนลดลง ตามไปด้วย

ตารางที่ 4	ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงจ		
	NR-g-NaAA ที่แปรปริมาณ NaAA		

ปริมาณ NaAA (phr)	ความหนาแน่นของพันธะ เชื่อมโยง (mol./m³)
0	0.33±0.1
20	0.34±0.1
30	0.30±0.1
40	0.31±0.4
50	0.33±0.2
60	0.32±0.2







**รูปที่ 5** สัณฐานวิทยาของ NR และ NR-g-NaAA ที่ เชื่อมโยงแล้ว ก่อน (A) และ หลัง (B) แช่น้ำ

NR-g-NaAA ผ่านการเชื่อมโยงด้วย DCP ที่ 160 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 6A ซึ่งการ เชื่อมโยงพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำให้มีโครงสร้างเป็นร่าง-ตาข่าย 3 มิติ เพื่อให้สามารถรักษารูปร่างเอาไว้ได้ หลังจากดูดซึมน้ำเข้าสู่โครงสร้างของ พอลิเมอร์ โดย กลไกการดูดซึมน้ำของ NR-g-NaAA เริ่มต้นจาก โมเลกุลน้ำจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลน้ำ กับคู่อิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (lone pair electron) ของ อะตอมออกซิเจนของหมู่คาร์บอกซิล (-COO<sup>-</sup>) จาก โครงสร้างของ NaAA ที่กราฟต์บนสายโซ่โมเลกุล NR จากนั้น โมเลกุลของน้ำจะดึงดูดน้ำโมเลกุลอื่น ๆ เข้ามา ใน NR-g-NaAA ที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว ด้วยการเกิด พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันเอง ดัง รูปที่ 6B



NR-g-NaAA hydrogel immersing in water

ร**ูปที่ 6** ความเป็นไปได้ (A) กระบวนเตรียม NR-g-NaAA เชื่อมโยง และ (B) กลไกการดูดซึมน้ำของ NR-g-NaAA เชื่อมโยง

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสมบัติของ WSR ที่เตรียมจาก NR-g-NaAA

สมบัติยางบวมน้ำ	ENR	NR-g-NaAA	NR-g-NaAA-N*
ความแข็ง (shore A)	40.70±0.80	46.7±0.42	45.70±0.28
ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	11.26±1.12	13.27±1.27	17.11±1.12
ร้อยละการยืด ณ จุดขาด	611.20±38.56	500±23.87	580±25.28
ร้อยละอัตราการขยายตัว	207.35±19.14	237.43±8.17	86±7.07

\*NR-g-NaAA–N คือ NR-g-NaAA ไม่เติม NaAA

## 3.2 สมบัติยางบวมน้ำที่จาก NR-g-NaAA

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของการ เตรียม WSR ที่แปรชนิดของยางคือ ENR, NR-g-NaAA และ NR-g-NaAA แต่ไม่เติม NaAA (NR-g-NaAA-N) โดยใช้ NaAA เป็น SAP พบว่า WSR จาก NR-g-NaAA-N มีอัตราการขยายตัวในน้ำน้อยกว่า WSR จาก ENR และ NR-g-NaAA ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมในการใช้งาน เป็น WSR ในโครงสร้างทางวิศวกรรมอุโมงค์ใต้ดิน

อย่างเช่น WSR ที่เตรียมจาก ENR และ NR-g-NaAA ที่ เติม NaAA เป็น SAP แต่สามารถนำไปต่อยอดเตรียม เป็น Water swelling sealant ที่ไม่ต้องการสมบัติการ บวมพองในน้ำสูง ซึ่งสามารถใช้ปิดผนึกโครงสร้างหรือ ท่อได้เช่นกัน หรือสามารถต่อยอดไปใช้เป็นสารช่วยใน การเข้ากันระหว่างพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วกับวัสดุที่มีขั้วสูง ได้ในอนาคต ในขณะที่ WSR ที่เตรียมจาก NR-g-NaAA และเติม NaAA เป็น SAP มีอัตราการขยายตัวและมี สมบัติเชิงกลดีที่สุด เมื่อเทียบกับยางบวมน้ำจาก ENR และ NR-g-NaAA-N เนื่องมาจาก NR-g-NaAA มีความ เป็นขั้วมากขึ้น เมื่อนำมาบดผสมกับ NaAA จึงสามารถ เข้ากันได้ดีกว่า ENR ทำให้ยางบวมน้ำที่ได้มีสมบัติดีขึ้น ดังตารางที่ 5



**รูปที่ 7** การขยายตัวในน้ำของยางบวมน้ำก่อน (A) และ หลัง (B) แช่น้ำ

#### 4. สรุป

ผลจากการเตรียม NR-g-NaAA ที่เวลาในการ ทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง โดย KPS ปริมาณ 2 phr และ NaAA ปริมาณ 40 phr เป็นสูตรที่ดีที่สุด เนื่องจากผล การทดสอบสัดส่วนความหนาแน่นของ NaAA ที่ กราฟต์บนโมเลกุล NR และร้อยละ NR-g-NaAA สูงสุด เมื่อเทียบกับปริมาณต่าง ๆ ส่งผลให้ในโมเลกุลของ NR-g-NaAA มีหมู่คาร์บอกซิล (-COO') ซึ่งเป็นหมู่ที่ ชอบน้ำในปริมาณที่มาก NR-g-NaAA ที่สังเคราะห์ จึง สามารถดูดซึมน้ำเข้าสู่โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ชอบ น้ำจาก NR-g-NaAA และ WSR ที่เตรียมจาก NR-g-NaAA มีอัตราการขยายตัวและมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เมื่อเทียบกับ WSR จาก ENR และ NR-g-NaAA-N ซึ่ง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างทางโยธา วิศวกรรมการก่อสร้างใต้ดินได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในโครงการวิจัยเรื่อง ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริ เลตและการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ (RDG5750106) ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยา ศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการอำนวย ความสะดวกในการทำวิจัย และขอขอบคุณ ดร.ศิริวัฒน์ ระดาบุตร ที่ช่วยตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการ

## 6. รายการอ้างอิง

- Khongtong, S. and Fungchonlajit, N., 2008, Water swollen natural rubber, Walailak J. Sci. Technol. 5: 57-75.
- [2] Ji, C., Song, S.S., Zhang, L.Q. and Wu, Y.P., 2011, The role of dicumyl peroxide in the preparation of chloroprene rubber/starch /sodium acrylate water-swellable composites, Carbohydr. Polym. 86: 581-586.
- [3] Zohuriaan-Mehr, M.J., Omidian, H.,Doroudiani, S. and Kabiri, K., 2010,Advances in non-hygienic applications of

super-absorbent hydrogel materials, J. Mater. Sci. 45: 5711-5735.

- [4] Yong, W., Kojima, T., Ming, L. and Jie, L., 2006, A new CMC-AA resin/inorganic-gel super absorbent material, J. Wuhan Univer. Technol. Mate. Sci. Edu. 21: 95-98.
- [5] Okay, O. and Sariisik, S.B., 2000, Swelling behavior of poly(acrylamide-co-sodium acrylate) hydrogels in aqueous salt solutions: Theory versus experiments, Eur. Polym. J. 36: 393-399.
- [6] Karadag, E. and Saraydin, D., 2002, Swelling of superabsorbent acrylamide/ sodium acrylate hydrogels prepared using multifunctional crosslinkers, Turk J. Chem. 26: 863-875.
- [7] ชัยวุฒิ วัดจัง, ศศิวงศ์ บุญสิงห์, ธนากร คำสอน และสราวุธ ประเสริฐศรี, 2559, ยางบวมน้ำจาก ยางธรรมชาติอิพอกไซด์และพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ ได้มาก, ว.วิทยาศาสตร์ มศว. 32(2): 77-95.
- [8] Gan, S.N. and Hamid, Z.A., 1997, Partial conversion of epoxide groups to diols in epoxidized natural rubber, Polymer 38: 1953-1956.
- [9] Wongsa, C. and Riyajan, S., 2010, Swelling behavior and biodegradation of novel polymer hydrogel based on polyacrylamide starch and NR by microwave method, The 7th IMT-GT UNINET and The 3rd Joint International PSU-UNS Conferences Proceeding, Prince of SongKla University, Songkhla.
- [10] Mohammad, S., Fatemeh, S. and Mojgan,

Y., 2011, Chemical modification of carboxy methyl cellulose via graft copolymerization and determination of the grafting parameters, Orient. J. Chem. 27: 967-972.

- [11] Routray, C.R., Tosh, B. and Nayax, N., 2013, Grafting of polymethyl methacrylate on to cellulose acetate in homogeneous medium using ceric (IV) ion as initiator, Ind. J. Chem. Technol. 20: 202-209.
- [12] อุมาพร ไชยสุวรรณ และอุไรวรรณ พันธ์แก่น, 2555, ไฮโดรเจลเชื่อมโยงแบบโครงร่างตาข่าย ของยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง, สาร นิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- [13] Alla, A., Nada, M.A., Alkady, M.Y. and Fekry, H.M., 2008, Synthesis and characterization of grafted cellulose for use in water and metal ions sorption, BioResources 3: 46-59
- [14] Nor, H.M. and Ebdon, J.R., 2000, Ozonolysis of natural rubber in chloroform solution, Part 1: A study by GPC and FTIR spectroscopy, Polymer 41: 2359-2365.
- [15] Chen, P., Du, X., Zhang, Z., Xue, Z., Chen, S. and Yang, B., 2014, Effect of amylose content on property and microstructure of starch-graft-sodium acrylate copolymer, Carbohydr. Polym. 102: 453-459.
- [16] Wongthong, P., Nakason, C., Pan, Q., Rempel, G.L. and Kiatkamjornwong, S., 2014, Styrene-assisted grafting of maleic

anhydride onto deproteinized natural rubber, Eur. Polym. J. 59: 144-155.

[17] Vudjung, C., Chaisuwan, U., Pangan, U., Chaipugdee, N., Boonyod, S., Santawitee,
O. and Saengsuwan, S., 2014, Effect of natural rubber contents on biodegradation and water absorption of interpenetrating polymer network (IPN) hydrogel from natural rubber and cassava starch, Energy Procdia 56: 255-263.

[18] Saramolee, P., Lopattananon, N. and Sahakaro, K., 2014, Preparation and some properties of modified natural rubber bearing grafted poly(methyl methacrylate) and epoxide groups, Eur. Polym. 56: 1-10.