



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ”

โดย นายชัยวุฒิ วัตจ้ง และคณะ

เมษายน 2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการ “การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ”

คณะผู้วิจัย

1. นายชัยวุฒิ วัตจ้ง
2. นางสาว เสาวลักษณ์ บุญยอด
3. ดร. สราวุธ ประเสริฐศรี
4. ดร. ศิริวัฒน์ ระดาบุตร

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานที่เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รายงานฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ	RDG5750106
ชื่อแผนงานวิจัย	การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ Preparation of water-swellaable rubber from natural rubber
หัวหน้าแผนงานวิจัย	นายชัยวุฒิ วัตรจั่ง
หน่วยงานต้นสังกัด	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถ. สกลมารค ต. เมืองศรีโค อ. วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี 34190
โทรศัพท์	045-353400
โทรสาร	045-288379
โทรศัพท์มือถือ	0866144178
E-mail	chaiwute2110@gmail.com
ระยะเวลาดำเนินการ	17 เดือน ตั้งแต่ 15 กันยายน 2557 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2559

ชื่อโครงการภายใต้แผนงาน

โครงการที่ 1	การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต ระยะที่ 2 Preparation of the water-swellaable rubber from epoxidized natural rubber and sodium acrylate phase 2
โครงการที่ 2	หัวหน้าโครงการ นายชัยวุฒิ วัตรจั่ง ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตและการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ Hydrogel from Natural rubber grafting Sodium acrylate and application for preparation water-swellaable rubber หัวหน้าโครงการ นางสาวเสาวลักษณ์ บุญยอด

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ	4
Abstract	5
รายงานผลการดำเนินงาน	6
การวางแผนการวิจัยของโปรแกรมวิจัย	6
ผลการดำเนินการ	9
โครงการย่อยที่ 1 การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และ โซเดียมอะคริเลต ระยะที่ 2	9
โครงการย่อยที่ 2 ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต และการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ	10
สรุปผลการดำเนินงานของแผนงานวิจัย	11

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

แผนงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนายางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ โดยมีบริษัท ยงไทยการยาง จำกัด ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางบวมน้ำให้ความร่วมมือในการวิจัยแผนงานครั้งนี้ เหตุผลที่เสนองานวิจัยเรื่องนี้ก็เนื่องมาจากปัจจุบันมีการนำยางบวมน้ำมาใช้งานในงานก่อสร้างทางโยธา วิศวกรรมการก่อสร้างใต้ดิน เช่น ห้องใต้ดิน รถไฟใต้ดิน ใช้ป้องกันน้ำท่วม และในการอนุรักษ์น้ำ เป็นต้น โดยวัสดุที่ใช้ในการเตรียมเป็นยางบวมน้ำจะเป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นและในทางการค้าจะนิยมใช้พอลิเมอร์ที่มีความเป็นขี้เช่น PVC และ CR เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามในการเตรียมยางบวมน้ำที่มีสมบัติเชิงกลดีควบคู่ไปกับความสามารถบวมพองได้สูงนั้นเป็นไปได้ยาก จึงมีแนวคิดนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber; ENR) และยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต (Natural rubber grafting Sodium acrylate) ซึ่งเป็นยางธรรมชาติที่มีการปรับปรุงโครงสร้าง ยางที่ได้จึงมีขี้สูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไป และจำเป็นต้องเติมสารที่ช่วยให้การบวมพองน้ำคือ โซเดียมอะคริเลต (Sodium acrylate; NaAA) และมีความเป็นขี้ ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต ดังกล่าวข้างต้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต ที่สามารถเข้ากับ NaAA มาเตรียมยางบวมน้ำที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีในขณะที่การบวมพองสูงขึ้นเช่นกัน

อนึ่งผลการวิจัยจากโครงการวิจัย เรื่อง การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต (RDG5550072) ที่ได้รับการสนับสนุนการวิจัยโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา ปี 2555 นั้นพบว่า สามารถเตรียมยางบวมน้ำจาก ENR และ NaAA ซึ่งให้สมบัติการทนทานต่อแรงดึง ความแข็ง และอัตราการขยายตัวในน้ำสูงกว่ายางบวมน้ำทางการค้า Hydrotite ชนิด Super-Low expansion และ Low expansion แต่ระยะยืด ณ จุดขาดของยางบวมน้ำจากงานวิจัยดังกล่าวยังต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า เนื่องจากในการทำวิจัยครั้งนั้น สูตรยางคอมปาวด์ใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมทำให้สมบัติการทนทานต่อแรงดึงสูง แต่ระยะยืด ณ จุดขาดต่ำนั่นเอง นอกจากนี้ ราคาต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ยังสูงอยู่จึงควรทำการวิจัยเพื่อหาสูตรยางบวมน้ำที่เหมาะสม

สำหรับการเตรียมยางบวมน้ำจำเป็นต้องใช้ Super absorbent polymer เป็นสารช่วยในการดูดน้ำเข้าสู่ยางบวมน้ำ ซึ่งถ้าหากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติมีการดูดซึมน้ำได้ปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งโซเดียมอะคริเลตเป็นเกลือของกรดอะคริลิกมอนอเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียมเป็น super absorbent polymer ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ดูดซึมน้ำของเสียจากร่างกายและใช้ในการเตรียมยางบวมน้ำ ซึ่งการเตรียมไฮโดรเจลจากโซเดียมอะคริเลตด้วยกระบวนการพอลิเมไรเซชันแบบสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย จึงมีแนวคิดที่จะนำโซเดียมอะคริเลตมาใช้ในการวิจัยเพื่อเพิ่มหมู่ชอบน้ำให้กับยางธรรมชาติด้วยการกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่ยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มอัตราเร็วและความสามารถในการดูดซึมน้ำให้กับยางธรรมชาติ ซึ่งการกราฟต์ไวโนลมอนอเมอร์บนสายโซ่ยางธรรมชาติมีการเตรียมมานานแล้ว และมีการนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น ใช้เป็นสารช่วยในการเข้ากัน (Compatibilizer) และ Impact modifier

สำหรับพอลิเมทิลเมทาคริเลต เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้การกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่อย่างธรรมชาติในสภาวะน้ำยาง เพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีความสามารถดูดซึมน้ำได้สูง และนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ

แผนงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการใช้วัตถุดิบจากยางธรรมชาติ 2 แบบ เพื่อนำมาใช้ในการเตรียมยางบวมน้ำโดยเลือกใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมอยู่แล้ว มาใช้เป็นวัตถุดิบหลักเพื่อให้มีความสะดวกและมีความยืดหยุ่นมากขึ้นในการจัดหาวัตถุดิบและนำวัตถุดิบยางธรรมชาติที่มีการปรับปรุงโครงสร้าง คือ ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต โดยวิธีการกราฟต์ยางธรรมชาติด้วยไวโนลมอนอเมอร์หรือมอนอเมอร์ชนิดอื่นๆ เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ ซึ่งการกราฟต์ด้วยมอนอเมอร์เหล่านี้ เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติการเข้ากันระหว่างยางธรรมชาติและพอลิเมอร์อื่นๆ ดังนั้นการตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติด้วยการกราฟต์มอนอเมอร์ที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจลจึงมีความเป็นไปได้

แนวคิดในการเตรียมยางบวมน้ำโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักนั้น ได้เลือกกระบวนการเตรียมยางบวมน้ำที่สามารถเตรียมได้ง่ายและมีความเป็นไปได้สูง ได้แก่ การเตรียมเป็นยางบวมน้ำจาก ENR และ NaAA โดยทำให้เกิดการพอลิเมอไรเซชันกลายเป็นพอลิโซเดียมอะคริเลตภายใต้สภาวะการคงรูปของ ENR โดยใช้ DCP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา และในงานวิจัยนี้ศึกษาชนิดของสารตัวเติมที่ใช้ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เกล็ด เหมดำและเบนโทไนท์ เปรียบเทียบกับสมบัติของ Hydrotite – Hydrophilic Water Swelling Material ของบริษัท C.I. KASEI CO., Ltd สมบัติทางฟิสิกส์ของยางบวมน้ำ Hydrotite

ยิ่งไปกว่านั้น ในงานวิจัยนี้ได้นำโซเดียมอะคริเลต ซึ่งเป็นเกลือของมอนอเมอร์กรดอะคริลิกที่ใช้ในการเตรียมเป็น Super absorbent polymer มาใช้ในการวิจัยเพื่อเพิ่มหมู่ชอบน้ำให้กับยางธรรมชาติด้วยการกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่อย่างธรรมชาติ เพื่อเพิ่มอัตราเร็วและความสามารถในการดูดซึมน้ำให้กับยางธรรมชาติ โดยใช้การกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่อย่างธรรมชาติในสภาวะน้ำยาง เพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีความสามารถดูดซึมน้ำได้สูง และนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ ฉะนั้น แผนงานวิจัยการเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาตินี้จึงประกอบด้วยโครงการวิจัยย่อย 2 โครงการ

โครงการที่ 1 การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต ระยะที่ 2 และโครงการที่ 2 ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตและการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สูตรยางคอมปาวด์

1.1 สูตรคอมปาวด์การเตรียมยางบวมน้ำจาก ENR และ NaAA โดยใช้ ENR 25 เป็นวัตถุดิบหลัก NaAA 20 phr CaCO_3 10 phr เป็นสารตัวเติม และใช้ระบบการคงรูปแบบผสม คือ ใช้ระบบคงรูปด้วยกำมะถันร่วมกับเพอร์ออกไซด์ ซึ่งให้สมบัติการทนทานต่อแรงดึง 11 MPa ระยะยืด ณ จุดขาด 611 เปอร์เซ็นต์ ความแข็ง 40 shore A และ อัตราการขยายตัวในน้ำ 207 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง

ผลที่ได้เป็นไปตามสมบัติของ Hydrotite ชนิด Super-Low expansion และ Low expansion ทางการค้า

- 1.2 เมื่อนำสูตรยางบวมน้ำที่เหมาะสมจากห้องปฏิบัติการไปทดลองผลิต ณ. บริษัท ย่งไทยการยาง จำกัด พบว่า สามารถผลิตยางบวมน้ำได้ตามกระบวนการผลิตเดิมของบริษัท

2. การกราฟต์ยางธรรมชาติด้วยโซเดียมอะคริเลต

- 2.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต คือ ใช้ NaAA 40 phr KPS 2 phr เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาในสภาวะน้ำยาง โดยทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ซึ่งยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตที่สภาวะดังกล่าวให้สมบัติการดูดซึมน้ำดีที่สุด
- 2.2 เมื่อนำ NR-g-NaAA ที่เตรียมได้จากสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเตรียมเป็นยางบวมน้ำตามสภาวะและสูตรที่เหมาะสมจากโครงการย่อยที่ 1 พบว่า สมบัติของยางบวมน้ำที่เตรียมจาก NR-g-NaAA โดยไม่เติม NaAA จะมีสมบัติที่เป็นไปตามสมบัติของยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite คือ ความแข็ง 45 shore A ความทนทานต่อแรงดึง 17 MPa แต่สมบัติร้อยละการยืด ณ จุดขาด 580 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการขยายตัว 86 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าต่ำกว่าสมบัติของยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite เช่นเดียวกันกับยางบวมน้ำที่เตรียมจาก NR-g-NaAA และมี NaAA 20 phr ตามสภาวะและสูตรเดียวกัน มีความแข็ง 46 shore A ความทนทานต่อแรงดึง 13 MPa และอัตราการขยายตัว 237 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นไปตามสมบัติของยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite และมีสมบัติที่ดีกว่ายางบวมน้ำที่เตรียมจาก ENR แต่อย่างไรก็ตาม ยางบวมน้ำสูตรดังกล่าวมีสมบัติร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพียง 500 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสมบัติของยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite เนื่องจากความยืดหยุ่นที่ลดลงจากการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ ทำให้ NR-g-NaAA ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเตรียมยางบวมน้ำที่ต้องการสมบัติของตามเกณฑ์ของยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite

บทคัดย่อ

แผนงานวิจัยและพัฒนายางบวมน้ำจากยางธรรมชาติมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาความรู้ในการผลิตยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ เพื่อสนับสนุนผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์ยางไทยให้มีความสามารถในการผลิตยางบวมน้ำ แผนงานวิจัยประกอบด้วยโครงการย่อย 2 โครงการ ได้แก่ การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ-อีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต ระยะที่ 2 พบว่า สูตรที่เหมาะสมในการเตรียมยางบวมน้ำเพื่อให้ได้สมบัติตามเกณฑ์ของยางบวมน้ำชนิด Hydrotite คือ ใช้ ENR 25 เป็นวัตถุดิบหลัก NaAA 20 phr และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 10 phr เป็นสารตัวเติม โดยใช้ระบบการคงรูปแบบผสมระหว่างกำมะถันร่วมกับเพอร์ออกไซด์ ซึ่งยางบวมน้ำที่พัฒนานี้ให้สมบัติการทนทานต่อแรงดึง 11 MPa ระยะยืด ณ จุดขาด 611 เปอร์เซ็นต์ ความแข็ง 41 Shore A และอัตราการขยายตัวในน้ำ 207 เปอร์เซ็นต์ ในโครงการพัฒนายางบวมน้ำจากยางธรรมชาตินี้ได้รับความร่วมมือจากบริษัท ย่งไทยการยาง จำกัด ในการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ยางบวมน้ำ โดยสูตรยางบวมน้ำที่เหมาะสมสามารถผลิตตามกระบวนการผลิตเดิมของบริษัทและได้สมบัติตามสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite และโครงการที่สอง ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตและการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ พบว่า สูตรการสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุด คือการใช้ปริมาณของโซเดียมอะคริเลตที่ 40 phr ปริมาณของโปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่ 2 phr เวลาสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง ให้ผลของกราฟต์ดีฟารามิเตอร์ และประสิทธิภาพการกราฟต์ ที่ให้ผลมีแนวโน้มสูงที่สุด ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ATR พบหมู่ $-\text{COO}^-$ ของโซเดียมอะคริเลต บริเวณเลขคลื่นที่ 1680 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าเกิดการกราฟต์โซเดียมอะคริเลตลงบนยางธรรมชาติ จากนั้นนำมาเตรียมเป็นไฮโดรเจล โดยใช้ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide; DCP) เพื่อใช้เป็นสารคงรูป ส่งผลให้ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต มีสมบัติการดูดซึมน้ำได้ดีที่สุดประมาณ 130 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 720 ชั่วโมง เนื่องจากผลของประสิทธิภาพการกราฟต์ แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของหมู่ชอบน้ำในโครงสร้างไฮโดรเจลสูงที่สุด จากเกิดรูพรุนมากที่สุด ซึ่งส่งผลให้เกิดการดูดได้มากที่สุด ยืนยันได้จากการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา เมื่อนำ NR-g-NaAA ที่สังเคราะห์ได้มาประยุกต์ใช้โดยการเตรียมเป็นยางบวมน้ำ และทดสอบสมบัติของยางบวมน้ำตามสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite ผลปรากฏว่ายางบวมน้ำมีสมบัติที่เป็นไปตามเกณฑ์ คือ ความแข็ง 45 Shore A ความทนทานต่อแรงดึง 17 MPa แต่สมบัติร้อยละการยืด ณ จุดขาด 580 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการขยายตัว 86 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าต่ำกว่าสมบัติของยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite

Abstract

The preparation of water-swellaable rubber from natural rubber programme aims to develop knowledge for production of water-swellaable rubber from natural rubber. The objective is to support the Thai rubber product manufacturers to build-up their capability in manufacturing of water-swellaable rubbers. The research programme comprises 2 related projects, viz. Preparation of the water-swellaable rubber from epoxidized natural rubber and sodium acrylate phase 2. The suitable WSR formulation having standard properties relative to the Hydrotite product was ENR-25 based rubber, NaAA 20 phr and CaCO_3 filler 10 phr by using the mixed vulcanizing systems between sulfur and peroxide. The developed WSR exhibited tensile strength of 11 MPa, elongation at break of 611%, hardness 41 Shore A and water expansion rate of 207%. This WSR project also collaborated with Yong Thai Rubber Industrial Co., Ltd. for a trial production. The suitable WSR formulation can produce with the conventional procedure of the company and the developed WSR product displayed the properties in accordance with standard Hydrotite type. The second programme, hydrogel from Natural rubber grafting Sodium acrylate and application for preparation water-swellaable rubber. The hydrogel from natural rubber was prepared by grafted sodium acrylate (NaAA) onto natural rubber (NR) backbone in latex stage and then cured by dicumyl peroxide (DCP). The grafting efficiency was monitored by attenuated infrared spectroscopy (ATR-IR). It was found that the absorption peak NaAA grafted onto NR occurred at 1680 cm^{-1} , attributed to COO^- stretching of NaAA. Furthermore, the maximum grafting efficiency was obtained for 40 phr of NaAA, 2 phr of KPS, and 4 h of reaction time. The water uptake, mechanical and morphological properties of hydrogel were determined. The pores could be observed after water uptake and the best water uptake efficiency was achieved at 130 % for 720 h. The hardness and tensile strength of hydrogel before water uptake was 45 Shore A and 17.11 MPa whereas elongation at break equaled to 580% and water expansion rate of 86 % would be less than standard Hydrotite type.

รายงานผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เสนอจะพัฒนายางบวมน้ำที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลัก

การวางแผนการวิจัยของโปรแกรมวิจัย

แผนงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการใช้วัตถุดิบจากยางธรรมชาติ 2 แบบ เพื่อนำมาใช้ในการเตรียมยางบวมน้ำโดยเลือกใช้จาก

(1) นำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมอยู่แล้ว มาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก เพื่อให้มีความสะดวกและมีความยืดหยุ่นมากขึ้นในการจัดหาวัตถุดิบ ซึ่งสามารถนำมาผสมเข้ากับสารเคมี เช่น Super absorbent polymer สารคงรูป และสารตัวเติม เป็นต้น ได้ด้วยเครื่องมือที่ใช้กันทั่วไป

(2) นำวัตถุดิบยางธรรมชาติที่มีการปรับปรุงโครงสร้าง คือ ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต โดยวิธีการกราฟต์ยางธรรมชาติด้วยไวนิลมอนอเมอร์หรือมอนอเมอร์ชนิดอื่นๆ เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ เช่น สไตรีน เมทิลเมทาคริเลต มาลิกแอแนดไฮไดรด์ เป็นต้น ซึ่งการกราฟต์ด้วยมอนอเมอร์เหล่านี้เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติการเข้ากันระหว่างยางธรรมชาติและพลาสติก หรือใช้เป็น Impact modifier สำหรับพลาสติกที่ต้องการปรับปรุงสมบัติความเปราะ เช่น พอลิเมทิลเมทาคริเลต พอลิสไตรีน หรือ พอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น ดังนั้นการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติด้วยการกราฟต์มอนอเมอร์ที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจลจึงมีความเป็นไปได้

แนวคิดในการเตรียมยางบวมน้ำโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักนั้น ได้เลือกกระบวนการเตรียมยางบวมน้ำที่สามารถเตรียมได้ง่ายและมีความเป็นไปได้สูง ได้แก่

(1) การเตรียมเป็นยางบวมน้ำจาก ENR และ NaAA โดยทำให้เกิดการพอลิเมอไรเซชันกลายเป็นพอลิโซเดียมอะคริเลตภายใต้สภาวะการคงรูปของ ENR โดยใช้ DCP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา และในงานวิจัยนี้ศึกษาชนิดของสารตัวเติมที่ใช้ เช่น เขม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต เคลย์ และเบนโทไนท์ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลและลดต้นทุนยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต และทำการเปรียบเทียบกับสมบัติของ Hydrotite – Hydrophilic Water Swelling Material ของบริษัท C.I. KASEI CO., Ltd สมบัติของยางบวมน้ำ Hydrotite

(2) นอกจากนี้ การเตรียมไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำได้ ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ Super absorbent polymer ในการเตรียมยางบวมน้ำ จึงนำไปสู่แนวคิดที่จะเตรียมไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติด้วยการกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่ยางธรรมชาติ ซึ่งการเตรียมไฮโดรเจลจากโซเดียมอะคริเลตด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยทราบกันดีว่าโซเดียมอะคริเลตเป็นเกลือของกรดอะคริลิกมอนอเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียมเป็น super absorbent polymer ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ดูดซึมของเสียจากร่างกายและใช้ในการเตรียมยางบวมน้ำ และเทคนิคการกราฟต์ไวนิลมอนอเมอร์บนสายโซ่ยางธรรมชาติมีการเตรียมมานานแล้ว และมีการนำมาใช้ประโยชน์

หลากหลาย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้การกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่ยางธรรมชาติในสถานะน้ำยาง เพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีความสามารถดูดซึมน้ำได้สูง และนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ

จากการพัฒนาการเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ (1) และ (2) สามารถนำผลการศึกษาในแต่ละส่วนมาประสานกัน เพื่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ของการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติ ทำให้แผนการวิจัยนี้จะมีผลกระทบ (Impact) อย่างกว้างขวางในการริเริ่มการใช้ยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ โดยสามารถนำไปขยายผลสู่ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่นๆ ที่หลากหลายได้มากยิ่งขึ้นอีก ฉะนั้น แผนงานวิจัยการเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาตินี้จึงประกอบด้วยโครงการวิจัยย่อย 2 โครงการประกอบด้วย

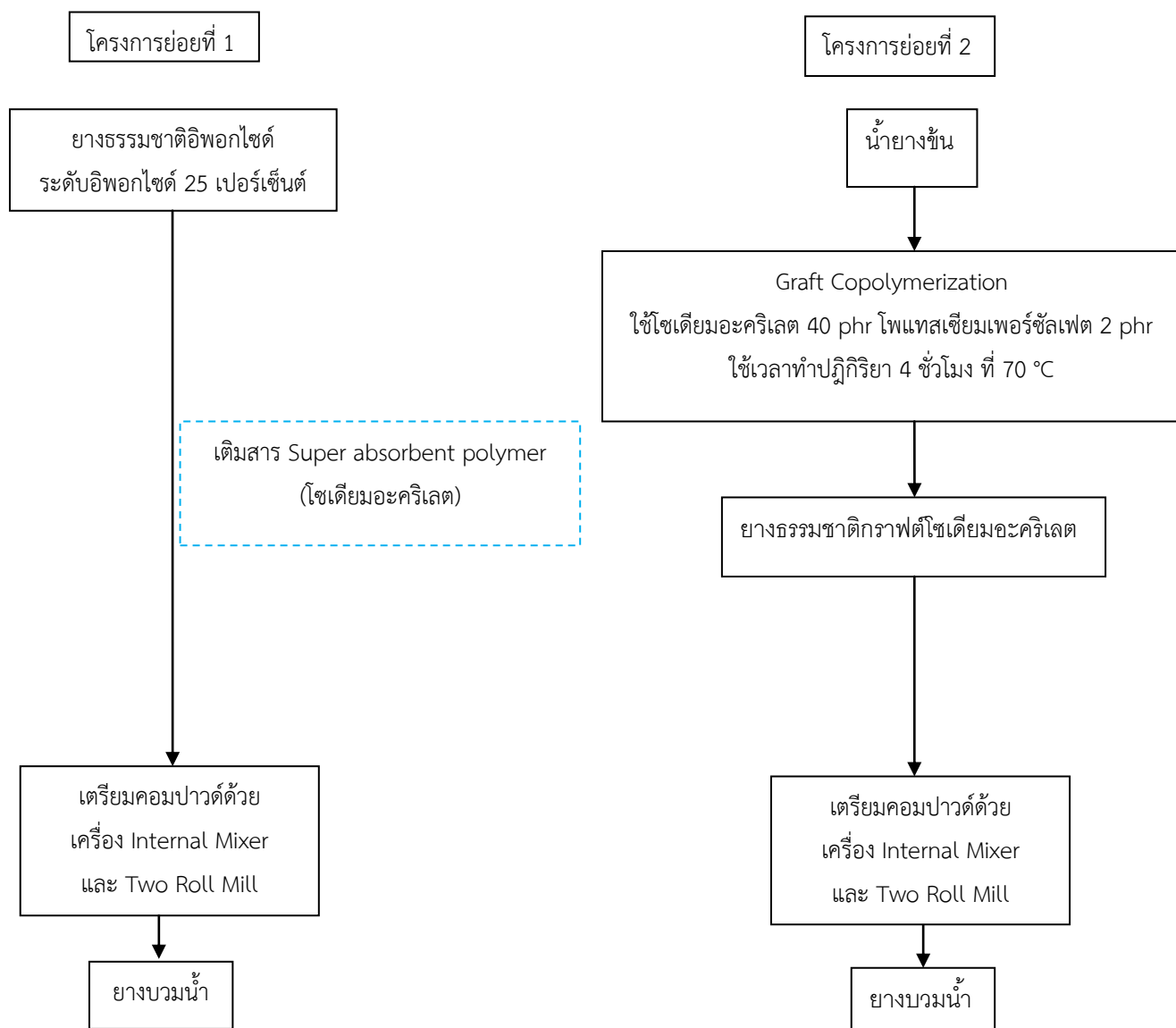
โครงการที่ 1 การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต ระยะที่ 2

หัวหน้าโครงการ : นายชัยวุฒิ วัดจั่ง

โครงการที่ 2 ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตและการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ

หัวหน้าโครงการ : นางสาว เสาวลักษณ์ บุญยอด

แผนผังแสดงข้อสรุปการเตรียมยางบวมน้ำของโครงการย่อยภายใต้แผนงาน



- ทนทานต่อแรงดึง 11.26 MPa
- ระยะยืด ณ จุดขาด 611 เปอร์เซ็นต์
- ความแข็ง 40 Shore A
- อัตราการขยายตัว 207 เปอร์เซ็นต์
- ดันหน่วัตถุดิบ 237.99 บาท/กิโลกรัม

- ทนทานต่อแรงดึง 17.11 MPa
- ระยะยืด ณ จุดขาด 580 เปอร์เซ็นต์
- ความแข็ง 45 Shore A
- อัตราการขยายตัว 86 เปอร์เซ็นต์
- ดันหน่วัตถุดิบ 372.54 บาท/กิโลกรัม

ผลการดำเนินการ

ผลการดำเนินการของโครงการวิจัยย่อยต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

โครงการย่อยที่ 1 การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต ระยะที่ 2

ยางบวมน้ำ (Water swellable rubber) สามารถเกิดการบวมพองเมื่ออยู่ในน้ำ ซึ่งสามารถหยุดการไหลและซึมผ่านของน้ำทำให้ในปัจจุบันมีการนำยางบวมน้ำมาใช้งานในงานก่อสร้างทางโยธา วิศวกรรม การก่อสร้างใต้ดิน เช่น ห้องใต้ดิน รถไฟใต้ดิน ใช้ป้องกันน้ำท่วม และในการอนุรักษ์น้ำ เป็นต้น การนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxydized natural rubber; ENR) ซึ่งเป็นยางธรรมชาติที่มีการปรับปรุงโครงสร้างยางที่ได้จึงมีขั้วสูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไป มาเตรียมเป็นยางบวมน้ำมีความเป็นไปได้ เนื่องจากการเตรียมยางบวมน้ำจำเป็นต้องเติมสารที่ช่วยในการบวมพองน้ำ คือ โซเดียมอะคริเลต (Sodium acrylate; NaAA) ที่มีความเป็นขั้วสูง ดังนั้น การใช้ ENR ที่มีความเป็นขั้วสูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไปจะสามารถเข้ากับ NaAA ได้มากขึ้นและได้ยางบวมน้ำที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีในขณะที่การบวมพองสูงขึ้นเช่นกัน และจากผลการวิจัยในโครงการวิจัย เรื่อง การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์และโซเดียมอะคริเลต (RDG5550072) ที่ได้รับการสนับสนุนการวิจัยโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา ปี 2555 นั้น พบว่า สามารถเตรียมยางบวมน้ำจาก ENR และ NaAA ซึ่งให้สมบัติการทนทานต่อแรงดึง ความแข็ง และอัตราการขยายตัวในน้ำสูงกว่ายางบวมน้ำทางการค้า Hydrotite ชนิด Super-Low expansion และ Low expansion แต่ระยะยืด ณ จุดขาดของยางบวมน้ำจากงานวิจัยดังกล่าวยังต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า เนื่องจากในการทำวิจัยครั้ง สูตรยางคอมปาวด์ใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมทำให้สมบัติการทนทานต่อแรงดึงสูง แต่ระยะยืด ณ จุดขาดต่ำนั่นเอง นอกจากนี้ราคาค่าต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ยังสูงอยู่จึงควรทำการวิจัยเพื่อหาสูตรยางบวมน้ำที่เหมาะสม

ผลการศึกษาพบว่า

1. ได้สูตรที่เหมาะสมในการเตรียมยางบวมน้ำเพื่อให้ได้ระยะยืด ณ จุดขาดได้ตามสมบัติของยางบวมน้ำชนิด Hydrotite และยังคงสมบัติอื่นๆ ให้ได้ตามสมบัติยางบวมน้ำชนิด Hydrotite และสูตรการเตรียมยางบวมน้ำจาก ENR และ NaAA (ยางบวมน้ำ ENR/NaAA) ที่ให้สมบัติยางบวมน้ำทางการค้า Hydrotite โดยใช้ ENR 25 เป็นวัตถุดิบหลัก NaAA 20 phr ปริมาณ CaCO_3 10 phr เป็นสารตัวเติม และใช้ระบบการคงรูปแบบผสม คือ ใช้ระบบคงรูปด้วยกำมะถันร่วมกับเพอร์ออกไซด์ ซึ่งให้สมบัติการทนทานต่อแรงดึง 11 MPa ระยะยืด ณ จุดขาด 611 เปอร์เซ็นต์ ความแข็ง 40 shore A และ อัตราการขยายตัวในน้ำ 207 เปอร์เซ็นต์ และพิจารณาลักษณะผิวของยางบวมน้ำ พบว่า พื้นผิวของยางบวมน้ำที่มี NaAA หลังแช่น้ำมีรูพรุนเล็กๆ กระจายทั่วทั้งผิวหน้า เนื่องจาก NaAA จะกระจายตัวในเมทริกซ์ของยางได้ดี จึงส่งผลให้สมบัติการขยายตัวในน้ำและสมบัติเชิงกลที่ดี
2. สามารถทดลองผลิตยางบวมน้ำจากสูตรที่เหมาะสมในข้อที่ 1 ณ. บริษัท ย่งไทยการยาง จำกัด โดยขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดยางแบบป้อนยางร้อน (Hot feet extruder) และคงรูปด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ (Autoclave) พบว่าสามารถผลิตยางบวมน้ำได้ตามกระบวนการผลิตเดิมของบริษัท ย่งไทยการยาง จำกัด

โครงการย่อยที่ 2 ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตและการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ

การเตรียมไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตไฮโดรเจล โดยในโครงการวิจัย SPR ปี พ.ศ. 2552 เรื่อง “การศึกษาไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติ 2” RDG 5250038 ได้เตรียมไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติได้โดยการเติมหมู่ฮิพอกไซด์ลงบนสายโซ่ยางธรรมชาติ หลังจากนั้นทำการเปิดวงแหวนออกซิแรนของหมู่ฮิพอกไซด์ที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้หมู่ไฮดรอกซิลบนสายโซ่ยางธรรมชาติ ซึ่งพบว่าระยะเวลาในการดูดน้ำ 4 ชั่วโมง ไฮโดรเจลสามารถดูดซึมน้ำได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงสุด คือ 120 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน พบว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้นั้นยังมีประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำไม่มากพอที่จะนำไปใช้เป็นไฮโดรเจลสำหรับการดูดซับของเสียจากร่างกาย เช่น ไฮโดรเจลในผ้าอ้อมเด็กสำเร็จรูปได้ นอกจากนี้ กระบวนการเตรียมไฮโดรเจลด้วยวิธีการดังกล่าวมีหลายขั้นตอน จึงมีความจำเป็นต้องการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำได้ปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งโซเดียมอะคริเลตเป็นเกลือของกรดอะคริลิกมอนอเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียมเป็น super absorbent polymer ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ดูดซับของเสียจากร่างกาย ซึ่งการเตรียมไฮโดรเจลจากโซเดียมอะคริเลตด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย จึงมีแนวคิดที่จะนำโซเดียมอะคริเลตมาใช้ในการวิจัยเพื่อเพิ่มหมู่ชอบน้ำให้กับยางธรรมชาติด้วยการกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่ยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มอัตราเร็วและความสามารถในการดูดซึมน้ำกับยางธรรมชาติ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้การกราฟต์โซเดียมอะคริเลตบนสายโซ่ยางธรรมชาติในสถานะน้ำยาง เพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูง เนื่องจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต (NR-g-NaAA) ช่วยปรับปรุงการเข้ากัน (Compatibility) ระหว่างยางธรรมชาติและพอลิโซเดียมอะคริเลต (Poly (NaAA)) ที่ใช้เป็นสารดูดซึมน้ำ ทำให้ปริมาณการสูญเสีย Poly (NaAA) จากละลายในน้ำในขณะที่ยางบวมน้ำลดลง ส่งผลต่อความสามารถดูดซึมน้ำที่ดีขึ้น นอกจากนี้ ความสามารถในการเข้ากันระหว่าง NR-g-NaAA และ Poly (NaAA) ที่ดี ยังช่วยปรับปรุงให้ความทนทานต่อแรงดึงของยางบวมน้ำดีขึ้นและนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ

ผลการศึกษาพบว่า

1. สามารถเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต (NR-g-NaAA) ด้วยสถานะการทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้ปริมาณโซเดียมอะคริเลต 40 phr เป็นมอนอเมอร์ และใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต 2 phr เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา เวลาการเกิดปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ซึ่งได้ไฮโดรเจล NR-g-NaAA ที่สามารถดูดซึมน้ำสูงสุด คือ 130 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแช่ในน้ำ 720 ชั่วโมง
2. เมื่อนำ NR-g-NaAA ที่เตรียมได้จากสถานะที่เหมาะสมเพื่อเตรียมเป็นยางบวมน้ำตามสถานะและสูตรที่เหมาะสมจากโครงการย่อยที่ 1 พบว่า สมบัติของยางบวมน้ำที่เตรียมจาก NR-g-NaAA จะมีสมบัติที่เป็นไปตามสมบัติยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite ความแข็ง 45 shore A ความทนทานต่อแรงดึง 17 MPa แต่สมบัติร้อยละการยืด ณ จุดขาด 580 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการขยายตัว 86 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าต่ำกว่าสมบัติของยางบวมน้ำ ชนิด Hydrotite

สรุปผลการดำเนินของแผนงานวิจัย

การดำเนินแผนงานวิจัย ได้สูตรยางบวมน้ำ โดยใช้ ENR 25 เป็นวัตถุดิบหลัก NaAA 20 phr ปริมาณ CaCO_3 10 phr เป็นสารตัวเติม และใช้ระบบการคงรูปแบบผสม คือ ใช้ระบบคงรูปด้วยกำมะถันร่วมกับเพอร์ออกไซด์ที่มีสมบัติเชิงกลและอัตราการขยายตัวในน้ำตามสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite และสามารถนำไปทดลองผลิต ณ บริษัท ย่งไทยการยาง จำกัด โดยใช้กระบวนการผลิตปกติของบริษัท ย่งไทยการยาง จำกัด นอกจากนี้ การเตรียมไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตและการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมยางบวมน้ำ สามารถเพิ่มสมบัติการดูดซึมน้ำให้กับยางธรรมชาติสูงขึ้นได้ และเมื่อนำยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลตมาเป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมยางบวมน้ำ ทำให้สมบัติเชิงกลอัตราการขยายตัวของบวมน้ำจากยางธรรมชาติดีขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติยางบวมน้ำจากงานวิจัยนี้กับสมบัติยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite พบว่ายางบวมน้ำ ENR/NaAA จากโครงการย่อยที่ 1 ผ่านตามสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite ในทุกคุณสมบัติ ในขณะที่ ยางบวมน้ำจาก NR-g-NaAA จากโครงการย่อยที่ 2 มีสมบัติการทนทานต่อแรงดึง ความแข็งแรงและอัตราการขยายตัวในน้ำผ่านตามสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite (กรณีที่ไม่เติม NaAA แต่สำหรับกรณี NR-g-NaAA เพียงอย่างเดียวสมบัติอัตราการขยายตัวในน้ำ ไม่ผ่านสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite) แต่ระยะยืด ณ จุดขาด ยังต่ำกว่าสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite ดังนั้นสามารถใช้งานยางบวมน้ำ ENR/NaAA จากโครงการย่อยที่ 1 ซึ่งมีสมบัติเช่นเดียวกับยางบวมน้ำทางการค้า Hydrotite ชนิด Super-Low expansion และ Low expansion ที่ใช้สำหรับโครงสร้างรถไฟใต้ดิน Road tunnel และอุโมงค์น้ำทิ้ง เป็นต้น ได้ นอกจากนี้ ยังเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับการอุดรอยรั่วในระบบน้ำอุปโภค บริโภค เนื่องจากปลอดภัยจากการปนเปื้อนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางบวมน้ำ ในส่วนของยางบวมน้ำจาก NR-g-NaAA จากโครงการย่อยที่ 2 ถึงแม้ว่าสมบัติต่างๆ จะไม่ผ่านสมบัติของยางบวมน้ำผลิตภัณฑ์ Hydrotite ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมในการใช้งานเป็นยางบวมน้ำในโครงสร้างทางวิศวกรรมอุโมงค์ใต้ดินเช่นเดียวกับยางบวมน้ำ ENR/NaAA จากโครงการย่อยที่ 1 แต่อย่างไรก็ตาม NR-g-NaAA ควรนำไปต่อยอดเพื่อเตรียมเป็น Water swelling sealant ที่ไม่ต้องการสมบัติการบวมพองในน้ำสูง ซึ่งสามารถใช้ปิดผนึกโครงสร้างและท่อได้ หรือสามารถต่อยอดไปใช้เป็นสารช่วยในการเข้ากันระหว่างพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วกับวัสดุที่มีขั้วสูงกว่า เนื่องจากการใช้ NR-g-NaAA ผสมกับ NaAA เป็นยางบวมน้ำ จะส่งผลให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางบวมน้ำ ENR/NaAA แสดงให้เห็นว่า NR-g-NaAA สามารถเข้ากับ NaAA ได้ดีกว่า ENR

สำหรับความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อศักยภาพในการเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติได้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมการผลิตยางบวมน้ำต่อไป ความรูดังกล่าวได้แก่

1. การใช้สารเสริมการเชื่อมขวาง (Co-agent) ร่วมกับการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์ ทำให้ยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น
2. การใช้สารดูดน้ำชนิด Superabsorbent polymer ซึ่งเป็นอนุภาคพอลิเมอร์ที่ผ่านการเชื่อมขวางโมเลกุลแล้ว ไม่เหมาะสมในการเตรียมยางบวมน้ำชนิดที่ต้องการสมบัติเชิงกลและอัตราการขยายตัวในน้ำสูง
3. สารตัวเติมที่เหมาะสมในการเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากให้ระยะยืด ณ จุดขาด และอัตราการขยายตัวในน้ำของยางบวมน้ำดีกว่าเขม่าดำ เกรด N774 เคลย์ และเบนโทไนท์

4. การใช้ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ NaAA สูงในการเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต (NR-g-NaAA) มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ Graft copolymer ลดลง เนื่องจากมอนอเมอร์ NaAA มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกันเองเกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์มากกว่าเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์

5. ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต (NR-g-NaAA) ที่สภาวะในการเตรียมที่เหมาะสมสามารถเตรียมเป็นไฮโดรเจลที่สามารถดูดซึมน้ำได้สูงถึง 130 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแช่น้ำ 720 ชั่วโมง

6. สามารถเตรียมยางบวมน้ำจาก NR-g-NaAA ได้จาก 2 กรณี คือ ใช้ NR-g-NaAA เพียงอย่างเดียวในการเตรียม โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารดูดน้ำ และการใช้ NR-g-NaAA ผสมกับสารดูดน้ำ ซึ่งพบว่า ยางบวมน้ำที่ใช้ NR-g-NaAA ที่ไม่เติมสารดูดน้ำ (NaAA) จะให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืด ณ จุดขาด สูงกว่ายางบวมน้ำที่เตรียมจาก NR-g-NaAA ที่เติม NaAA แต่ความแข็งและอัตราการขยายตัวในน้ำของยางบวมน้ำจาก NR-g-NaAA ที่ไม่เติม NaAA ต่ำกว่ายางบวมน้ำจาก NR-g-NaAA ที่เติม NaAA