



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ
การเตรียม และสมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทนจากยางธรรมชาติเพื่อใช้ในงานเคลือบผิว
ผลิตภัณฑ์จุ่มจากน้ำยางธรรมชาติ

โดย นายอนุวัติ แซ่ตั้ง และคณะ

มีนาคม 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

นายอนุวัติ แซ่ตั้ง

ดร.ดุยพงษ์ ตูลยพิทักษ์

ผศ.ดร. อติชัย รุ่งวิชานิวัฒน์

นางสาวชลมา หมันเถ๊ะ

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง	ก
สารบัญรูป	ข
บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ	4
Abstract	5
เนื้อหา	
1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	6
2. วัตถุประสงค์	6
3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลการทดลองที่เกี่ยวข้อง	7
4. อุปกรณ์	7
5. วิธีการทดลอง	7
5.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนจากยางธรรมชาติ	8
5.2 วิธีการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน	8
5.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน	9
5.3.1 การเตรียมน้ำยางคอมเปาว์ดน้ำยางธรรมชาติ	9
5.3.2 การเคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณของแข็งที่แตกต่างกันบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ	10
6. ผล อภิปราย และวิจารณ์	11
6.1 ผลการเตรียมพอลิเอทิลีนจากยางธรรมชาติ (HTNR)	11
6.2 สมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทนจากยางธรรมชาติ	13
6.2.1 อิทธิพลของกรดไคเมททิลอลโพรพิโอนิก	13
6.2.2 อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ HTNR	16
6.3 การเคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ	19
6.4 ผลของการเคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณของแข็งที่แตกต่างกันบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ	20
6.5 การเปรียบเทียบระหว่างพอลิอีเทอร์ พอลิเอทิลีน (Polyether polyol) ทางการค้า และHTNR	23
7. สรุปผล	26

	หน้า
8. ข้อเสนอแนะ	26
9. คำขอบคุณ	26
10. เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	29

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. สูตรที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน	9
2. สูตรที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์	10
3. ผลของยางธรรมชาติอพอกไซค์ต่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิออลที่เตรียมได้	11

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. ชุดสังเคราะห์น้ำยางพอลิยูรีเทน	7
2. การเตรียมพอลิออกซายาธรรมชาติ (HTNR)	8
3. ขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน	9
4. ขั้นตอนในการเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน	10
5. ¹ H-NMR ของ HTNR	12
6. FT-IR ของ HTNR	13
7. ผลของปริมาณ DMPA ต่อความหนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทน	14
8. ผลของปริมาณ DMPA ต่อความเป็นกรด – ด่างของน้ำยางพอลิยูรีเทน	14
9. ผลของปริมาณ DMPA ต่อความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทน	15
10. ผลของปริมาณ DMPA ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางพอลิยูรีเทน	15
11. ผลของน้ำหนักรีดน้ำยางพอลิยูรีเทนของ HTNR ต่อความหนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทน	17
12. ผลของน้ำหนักรีดน้ำยางพอลิยูรีเทนของ HTNR ต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางพอลิยูรีเทน	17
13. ผลของน้ำหนักรีดน้ำยางพอลิยูรีเทนของ HTNR ต่อค่าความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทน	18
14. ผลของน้ำหนักรีดน้ำยางพอลิยูรีเทนของ HTNR ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางพอลิยูรีเทน	18
15. FTIR-Spectra ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (A) (แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนพอลิอีเทอร์ พอลิโออล (B) และน้ำยางพอลิยูรีเทน HTNR (C))	19
16. ผลของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อ 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน	20
17. ผลของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน	21
18. ผลของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อระยะยืดขนาดของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน	21
19. ผลของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน	22
20. หนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อ 300% โมดูลัส	23
21. หนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อความต้านทานต่อแรงดึง	24
22. หนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อระยะยืดขนาด	24
23. หนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	25

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การเตรียม และสมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทนจากยางธรรมชาติเพื่อใช้ในงานเคลือบผิวผลิตภัณฑ์จุ่มจากน้ำยางธรรมชาติ

(Preparation and properties of polyurethane latex from natural rubber for coating natural rubber latex dipping applications)

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นายอนุวัติ แซ่ตั้ง

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

โทรศัพท์ 073-312213 **โทรสาร** 073-331099 **E-mail:** sanuwat@bunga.pn.psu.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย ดร.ศุภพงษ์ ตูลยพิทักษ์ และผศ.ดร. อติศัย รุ่งวิชานีวัฒน์

นักศึกษา นางสาวชลมา หมั่นเล๊ะ

งบประมาณทั้งโครงการ 120,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 10 เดือน ตั้งแต่ สิงหาคม 2552 ถึงวันที่ พฤษภาคม 2553

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีกำลังการผลิตประมาณ 3 ล้านตันในปี 2551 ส่วนใหญ่เป็นการส่งออกในรูปวัตถุดิบ เช่น ยางแท่ง หรือน้ำยางให้กับอุตสาหกรรมทั่วโลก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ พบว่ามีปริมาณการใช้น้อยมาก เพียงร้อยละ 10 ของปริมาณที่ผลิตได้ ดังนั้นการเพิ่มการใช้งานธรรมชาติในประเทศในรูปแบบใหม่ ๆ หรือการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ จึงเป็นเรื่องที่เป็นประโยชน์โดยรวมของอุตสาหกรรมยางทั้งในปัจจุบัน และในอนาคตโดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ เพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทน หรือวัสดุตั้งต้น เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทดแทนสารหรือวัสดุที่เตรียมขึ้นจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่กำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้

จากโครงสร้างยางธรรมชาติที่มีความสามารถในการถูกดัดแปลงได้ง่ายโดยวิธีทางเคมี จึงทำให้ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างไปจากเดิม รวมทั้งนำไปเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ รวมทั้ง น้ำยางพอลิยูรีเทน ลักษณะพิเศษของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีความสามารถในการยึดติดดี มีลักษณะผิวมันวาว สวยงาม และมีค่าความเสียดทานที่ดี อยู่ในรูป

ของน้ำยางซึ่งไม่เป็นพิษ จึงเป็นพอลิเมอร์ที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการเคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหนียวติด โดยไม่ต้องใช้แป้ง และมีความสวยงาม

วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมยางธรรมชาติที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล และมีการดัดแปลงโมเลกุลให้มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้น ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีความเสถียร เพื่อนำไปใช้เป็นสารเคลือบผิวผลิตภัณฑ์จุ่มจากน้ำยางธรรมชาติ

ผลการดำเนินงาน

การวิจัยนี้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนเพื่อใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์จากน้ำยางเช่น ถูมือ จุกนม เป็นต้น เพื่อลดการใช้แป้ง และเพิ่มความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ โดยนำยางธรรมชาติดัดแปลงโมเลกุลให้มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลเป็นสารตั้งต้น เพื่อทดแทนการใช้วัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีร่วมกับพอลิเอทิลีนไดออกไซด์, สารช่วยแขวนลอย และสายขยายสายโซ่ เป็นต้น ผลการทดลองพบว่า คณะผู้วิจัยสามารถเตรียมสารตั้งต้นในการเตรียมน้ำยางพอลิออลจากยางธรรมชาติสำเร็จที่น้ำหนักโมเลกุล 1500 และ 2000 g mol⁻¹ โดยสามารถยืนยันโครงสร้างทางเคมีของโครงสร้างดังกล่าวด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ในส่วนของน้ำยางพอลิยูรีเทน ประสบความสำเร็จในการเตรียม และน้ำยางมีความเสถียรในช่วงเวลาสามเดือน รวมทั้งยังได้ศึกษาความหนืด ความเป็นกรด ด่าง ขนาคอนูภาค อีกทั้งสามารถนำไปเคลือบผิวแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติได้ โดยไม่ต้องอาศัยแป้งช่วยในการถอดออกจากแบบพิมพ์ และสามารถยืนยันผลดังกล่าวด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ด้วยเทคนิคการสะท้อน (ATR) ผลการเคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ปริมาณของแข็งช่วงระหว่าง 1% ถึง 5% มีแนวโน้มให้สมบัติกายภาพไม่แตกต่าง แต่ ระยะยึดขาด และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่ได้เคลือบ ทั้งก่อนและหลังบ่มแรง และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากพอลิอีเทอร์ พอลิออลทางการค้า และยางธรรมชาติ ที่ปริมาณของแข็ง 1% พบว่า 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยึดขาด สมบัติภายหลังการบ่มแรงด้วยอากาศร้อน และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน อยู่ในระดับเดียวกัน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการเตรียมพอลิออลจากยางธรรมชาติที่น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน จากยางธรรมชาติ และสามารถนำไปเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ น้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มีความเสถียรเพียงพอ และสามารถเคลือบผิวฟิล์มยางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี โดยปริมาณของแข็งของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เหมาะสมคือในช่วง 1% ถึง 5% สมบัติ

กายภาพของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติไม่แตกต่างกันนัก ยกเว้นระยะยืดขาด แต่ความเสียดทานลดลงอย่างน่าพอใจ ที่ปริมาณสารช่วยแขวนลอย 0.4 โมลต่อโมลของพอลิออก และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากพอลิอีเทอร์ พอลิออกทางการค้า และยางธรรมชาติที่ปริมาณของแข็ง 1% มีสมบัติต่าง ๆ อยู่ในระดับเดียวกัน

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. ศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มของน้ำยางพอลิยูรีเทน
2. ศึกษาเพิ่มเติม ในเรื่องของสารเคมี ต่อความเสถียรของน้ำยาง
3. ศึกษาต้นทุนการผลิต ชนิดผลิตภัณฑ์ และความเป็นไปได้ของการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

เป็นแนวทางในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนจากยางธรรมชาติชนิดใหม่ เพื่อเผยแพร่ต่อไป

บทคัดย่อ

น้ำยางพอลิยูรีเทนชนิดใหม่จากยางธรรมชาตินำหนักโมเลกุลต่ำที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (HTNR) ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ ด้วยเทคนิคแบบพรีพอลิเมอร์ โดยใช้กรดไดเมททิลอลออล โพรพิโอนิกเป็นสารช่วยในการแขวนลอย ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการทำปฏิกิริยาของหมู่กรดกับไตรเอทิลลามีน (TEA) ทำให้พรีพอลิเมอร์ที่เหล่านี้อะกระจายตัวในชั้นน้ำได้ ตามด้วยการทำปฏิกิริยาขยายสายโซ่ด้วยสารไดเอทาโนลามีน (DEOA) จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณ DMPA มีผลทำให้ความหนืดและความเสถียรของน้ำยางเพิ่มขึ้น แต่ความเป็นกรด – ด่าง ขนาดอนุภาคของน้ำยางพอลิยูรีเทน และความตึงผิวลดลง ส่วนน้ำหนักโมเลกุลของ HTNR ที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ขนาดอนุภาคของน้ำยางพอลิยูรีเทนลดลง ส่วนความตึงผิว และความเป็นกรด – ด่างของน้ำยางพอลิยูรีเทนไม่มีความแตกต่างกัน

ปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนในช่วงที่ 1% ถึง 5% พบว่าสมบัติของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน เช่น 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และสมบัติการบ่มแรง อยู่ในระดับเดียวกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบ แต่ ระยะยืดขาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มที่เคลือบมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจาก พอลิอีเทอร์ พอลิออล (ทางการค้า) และ HTNR ที่ปริมาณของแข็ง 1% ทำการเคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ พบว่า 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดขาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และสมบัติบ่มแรงด้วยอากาศร้อนของน้ำยางพอลิยูรีเทนจากพอลิออลทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม สมบัติของแผ่นฟิล์มทั้งสองยังอยู่ในระดับแผ่นฟิล์มที่ไม่เคลือบหลังการบ่มแรง

Abstract

A new polyurethane (PU) latex system based on hydroxyl telechelic natural rubber (HTNR) was successfully synthesized by prepolymer mixing technique and using 2,2 bis (hydroxymethyl) propionic acid (DMPA) as internal emulsifier. After neutralization with triethylamine (TEA), the anionomer prepolymer was dispersed in water, followed by a chain-extension reaction with diethanolamine (DEOA). The effect of DMPA contents and molecular weight of HTNR on latex properties were studied. They were observed that an increase in the DMPA contents led to higher viscosity and more storage stability of PU latex. On the contrary, pH, the particle size and surface tension of PU latex were decreased. In addition, an increase in the molecular weight of HTNR led to higher viscosity of PU latex, but particle size was decreased. Both surface tension and pH value had no difference.

The effect of solid contents of PU latex on the properties of coated natural rubber latex films was also studied. The results revealed that the solid content of PU latex from 1% to 5% showed the same level of properties between PU coated natural latex films and uncoated natural latex films such as 300% modulus, tensile strength, and ageing properties. However, elongation at break and friction coefficient were decreased. The comparison between polyether polyol and HTNR based PU coated NLF on their properties at 1% solid content was studied. It was found that 300% modulus, tensile strength elongation at break, friction coefficient and ageing properties were not clearly different. However, their properties were remained in the same level of ageing of uncoated film.

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีกำลังการผลิตประมาณ 3 ล้านตันในปี 2551 (The Thai Rubber Association, 2009) ส่วนใหญ่เป็นการส่งออกในรูปวัตถุดิบ เช่น ยางแท่ง หรือน้ำยาง ให้กับอุตสาหกรรมทั่วโลก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ พบว่ามีปริมาณการใช้น้อยมาก เพียงร้อยละ 10 ของปริมาณที่ผลิตได้ ดังนั้นการเพิ่มการใช้งานยางธรรมชาติในประเทศในรูปแบบใหม่ ๆ หรือการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ จึงเป็นเรื่องที่เป็นประโยชน์โดยรวมของอุตสาหกรรมยางทั้งในปัจจุบัน และในอนาคต โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ทั่วโลก กำลังให้ความตื่นตัว หาแหล่งพลังงานทดแทน หรือวัสดุตั้งต้น ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อทดแทนสารหรือวัสดุที่เตรียมขึ้นจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ที่กำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้

ยางธรรมชาติเป็นตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่น่าจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมหรือสังเคราะห์พอลิเมอร์ เนื่องจากโครงสร้างยางธรรมชาติที่มีความสามารถในการถูกดัดแปลงได้ง่ายโดยวิธีทางเคมี จึงทำให้ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างไปจากเดิม เพื่อทดแทนบางส่วน หรือทั้งหมดของสารตั้งต้นที่เตรียมขึ้นจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งมีข้อด้อยอยู่หลายประการ เช่น เป็นวัสดุสิ้นเปลือง มีผลต่อสิ่งแวดล้อม และแหล่งวัตถุดิบจะหมดไปในอนาคตอันใกล้

ในการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะเตรียมพอลิยูรีเทนที่ใช้ยางธรรมชาติดัดแปลงโมเลกุลให้มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล เพื่อใช้เป็นพอลิออล เพื่อเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน ซึ่งเป็นพอลิยูรีเทนรูปแบบหนึ่ง ที่อยู่ในสถานะน้ำยาง มีการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กาวในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และงานเคลือบผิววัสดุที่ประสิทธิภาพ เช่น ไม้, ผนังบ้าน, ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความมันวาว สวยงาม ช่วยต้านทานการสึกหรอ รวมทั้งใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์จากการจุ่ม เช่น ถุงมือ เพื่อไม่ต้องใช้แป้งในการถอดออกจากแบบพิมพ์ เป็นต้น จากลักษณะพิเศษของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีความสามารถในการยึดติดดี มีลักษณะผิวสวยงาม และมีค่าความเสียดทานที่ต่ำ จึงเป็นพอลิเมอร์ที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการเคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหนียวติด โดยไม่ต้องใช้แป้ง และมีความสวยงาม ดังนั้น การนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นสารตั้งต้น เพื่อนำไปสังเคราะห์น้ำยางพอลิยูรีเทน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการนำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบใหม่ๆ ที่มีการใช้งานที่หลากหลายออกไปจากเดิม สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นการพึ่งพาวัตถุดิบธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นทดแทนได้ และเพื่อลดการพึ่งพาการใช้วัตถุดิบที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ที่กำลังจะหมดไป

2. วัตถุประสงค์

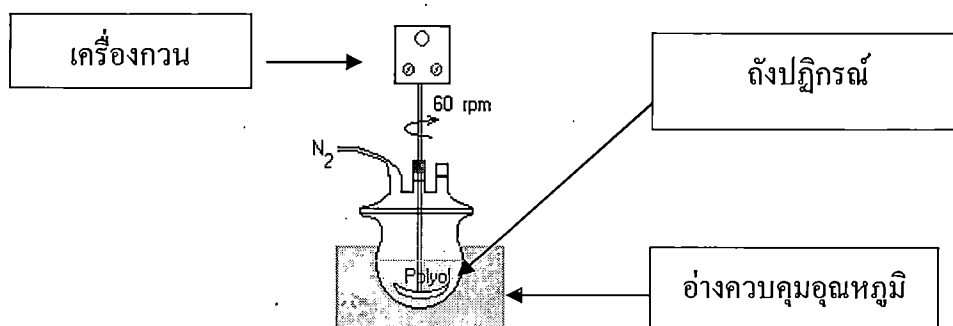
เพื่อเตรียมยางธรรมชาติที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล และมีการดัดแปลงโมเลกุลให้มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อใช้เป็นพอลิออล ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีความเสถียร เพื่อนำไปใช้เป็นสารเคลือบผิวผลิตภัณฑ์จุ่มจากน้ำยางธรรมชาติ

3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการเตรียมพอลิออลที่สามารถควบคุมน้ำหนักโมเลกุล และสามารถดัดแปลงโครงสร้างให้เหมาะสมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน และยางธรรมชาติ (Gillier-Ritoit *et al.*, 2003; Kébir *et al.*, 2005, Saetung *et al.*, 2010) เพื่อนำมาใช้เป็นสารตั้งต้น ในการเตรียมพอลิยูรีเทนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น โฟม (Saetung *et al.*, 2010) วัสดุเคลือบผิว (Pilard *et al.*, 2008) หรือเป็น เทอร์โมพลาสติก (Kébir *et al.*, 2005) โดยในการวิจัยครั้งนี้ จะนำวิธีในการเตรียมพอลิออลจากยางธรรมชาติข้างต้น มาเพื่อนำไปเตรียมพอลิยูรีเทนให้อยู่ในรูปแบบน้ำยาง โดยเทคนิคแบบพรีพอลิเมอร์ (Nanda *et al.*, 2005; Lu *et al.*, 2002) หลังจากนั้นจึงให้พอลิยูรีเทนในสถานะแขวนลอยในน้ำ และมีความเสถียรเพื่อขยายขอบเขตการใช้งานของพอลิออลที่เตรียมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานในด้านการเคลือบผิวแผ่นฟิล์มจากยางธรรมชาติ โดยคาดว่าจะได้ผลิตภัณฑ์จากการจุ่มที่ไม่ต้องใช้น้ำมันในการถอดออกจากแบบพิมพ์ เช่นเดียวกับกรณีพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นจากสารตั้งต้นที่ได้จากการสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพื่อใช้เคลือบผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ (US 6347408, 1998)

4. อุปกรณ์

ชุดสังเคราะห์น้ำยางพอลิยูรีเทน ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ (Reactor) สำหรับทำปฏิกิริยา ขนาดปริมาตร 500 มิลลิลิตร ต่อกับเครื่องกวน (Mechanical Stirrer) และระบบท่อก๊าซไนโตรเจน โดยถังปฏิกรณ์ตั้งอยู่ในอ่างน้ำมันที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 60 °C แสดงดังในรูปที่ 1



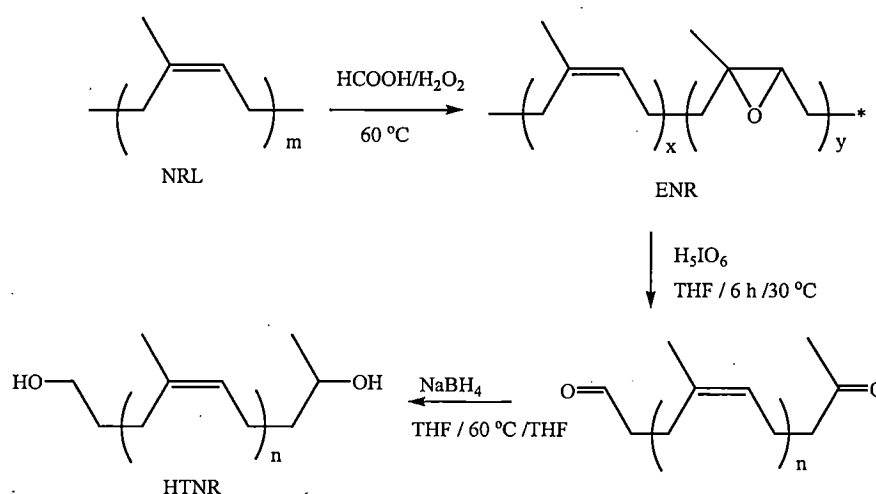
รูปที่ 1 ชุดสังเคราะห์น้ำยางพอลิยูรีเทน

5. วิธีการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งทำการทดลองออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ ๆ ดังนี้ ได้แก่ การเตรียมพอลิออลจากยางธรรมชาติ การเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนจากพอลิออลจากยางธรรมชาติ และพอลิออลจากการค้า รวมทั้ง การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การเตรียมพอลิออกซายาธรรมชาติ

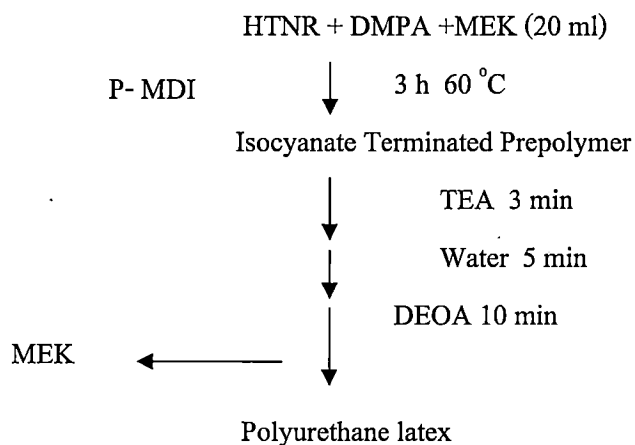
การเตรียมพอลิออกซายาธรรมชาติสามารถเตรียมได้กล่าวโดยสังเขปดังนี้ (Gillier-Ritoit *et al.*, 2003; Kébir *et al.*, 2005; Saetung *et al.*, 2010) ขั้นแรกเป็นเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber, ENR) หลังจากนั้นตัดสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เพื่อให้ได้ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดลง และดัดแปลงโครงสร้างให้มีหมู่ปลายไฮดรอกซิล (Hydroxyl telechelic natural rubber, HTNR) ดังแสดงในรูปที่ 2 หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิออกซายาที่ได้ด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) และนิวเคลียสแมกเนติกส์เรโซแนนซ์ (NMR) และหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยนิวเคลียสแมกเนติกส์เรโซแนนซ์ เพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมพอลิยูรีเทน ทดแทนการใช้พอลิออกซายาที่เตรียมจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่อไป



รูปที่ 2 การเตรียมพอลิออกซายาธรรมชาติ (HTNR)

5.2 วิธีการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน

การเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนสามารถเตรียมตามสูตรในตารางที่ 1 โดยสังเขปดังนี้ ผสม HTNR และ กรดไดเมททิลออก โพรพิออนิก (DPMA) ในสารละลายเมทิล เอทิล คีโตน (MEK) ในตัวปฏิกรณ์ จนกระทั่ง อุณหภูมิ 60°C จึงใส่ พอลิเมอร์ไดไอโซไซยานาต (P-MDI) ให้เวลาดำเนินไป 3 ชั่วโมง พร้อม กวนตลอดเวลา หลังจากนั้นจึงใส่ไตรเอทิลลามีน (TEA), น้ำ และ สายขยายสายโซ่ (ไดเอทาโนลามีน, DEOA) ตามลำดับ และในขั้นตอนสุดท้ายตัวทำละลายจะถูกระเหยออก เพื่อให้ได้น้ำยางพอลิยูรีเทน ดัง แสดงในรูปที่ 3 โดยทำการแปรปริมาณ DMPA (0.4 และ 0.5 โมลต่อโมลของ HTNR) และน้ำหนัก โมเลกุลของ HTNR (1500 และ 2000 g mol^{-1}) นำน้ำยางพอลิยูรีเทนไปทดสอบสมบัติเบื้องต้นของน้ำยาง ได้แก่ ความหนืด ความเป็นกรด - ด่าง ความตึงผิว ขนาดอนุภาค และความเสถียรของน้ำยางต่อไป



รูปที่ 3 ขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน (Dieterich, 1981 และ นิธินาถ, 2004)

ตารางที่ 1 สูตรที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน

Reagents	Weight (g)				
	1 (DMPA 0.4)	2 (DMPA 0.5)	3 (DMPA 0.4)	4 (DMPA 0.5)	5 (DMPA 0.5)
HTNR (1500)	9.94	9.77	-	-	-
HTNR (2000)	-	-	10.85	10.70	-
Polyether	-	-	-	-	14.51
DMPA	4.24	4.33	0.29	0.36	0.39
P-MDI	4.24	4.33	3.41	3.57	4.60
TEA	0.28	0.35	0.23	0.28	0.31
Diethanolamine	0.47	0.46	0.38	0.38	0.50

ควบคุม ปริมาณของแข็งเท่ากับ 20%

5.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน

5.3.1 การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์น้ำยางธรรมชาติ

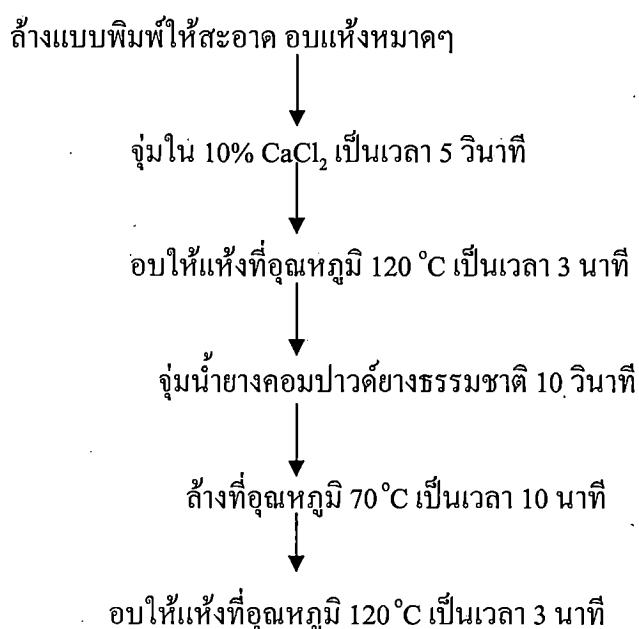
เตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติตามสูตรในตารางที่ 2 พร้อมกวนด้วยความเร็ว 40 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาบ่มน้ำยาง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำน้ำยางคอมปาวด์ไปทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ โดยใช้วิธีการตรวจสอบด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform Test) ให้ได้ระดับคลอโรฟอร์ม นัมเบอร์ประมาณ 2

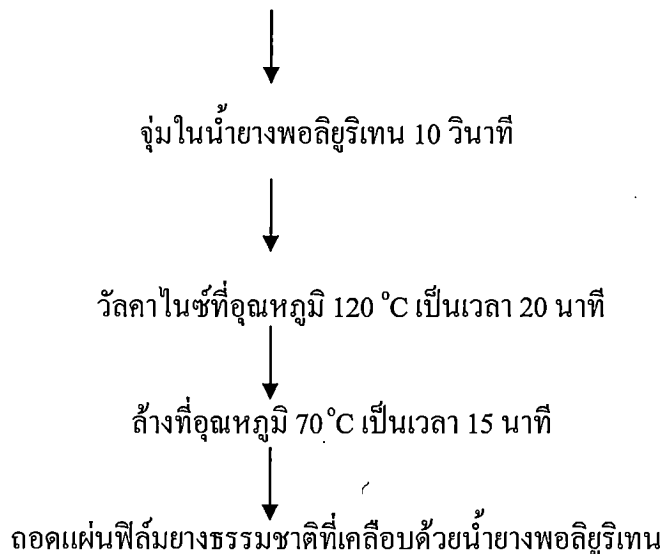
ตารางที่ 2 สูตรที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์

Ingredients	Wet weight (g)
60% HA	167.0
50% ZnO	3.0
50% S	3.5
50% ZDEC	2.0
50% ZMBT	0.5
50% Wing stay L	1.5
20% K-laurate	3.0
10% KOH	2.0
H ₂ O	83.0

5.3.2 การเคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณของแข็งที่แตกต่างกันบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

นำน้ำยางพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้ มาทำการแปรปริมาณของของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ระดับ 1, 5 และ 10% โดยวิธีการเติมน้ำกลั่น และเปรียบเทียบชนิดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจาก HTNR กับ พอลิอีเทอร์ พอลิเอสเตอร์ ที่ปริมาณของแข็ง 1% มีการควบคุมปริมาณ DMPA เท่ากับ 0.5 โมลต่อโมลของพอลิเอสเตอร์ โดยมีขั้นตอนในการเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน ดังแสดงในรูปที่ 4 เก็บตัวอย่างไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบสมบัติ 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และสมบัติหลังการบ่มแรงที่ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อไป





รูปที่ 4 ขั้นตอนในการเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน

6. ผล อภิปราย และวิจารณ์

6.1 ผลการเตรียมพอลิออกซายางธรรมชาติ (HTNR)

การเตรียมพอลิออกซายางธรรมชาติ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีการเตรียมแบบพอสังเขปดังนี้ ขั้นแรก เป็นการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ที่แตกต่างกันสองระดับ และนำมาทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ไฮดรอกซิดในสารละลายเทรตระไฮโดรฟิวเรน (THF) หลังจากนั้น ทำการรีดิวซ์ด้วยสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์ (NaBH_4) (รูปที่ 2) ทำให้ได้พอลิออกซายางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน (Gillier-Ritoit *et al.*, 2003; Kébir *et al.*, 2005; Saetung *et al.*, 2010) ผลการเตรียมพอลิออกซายางธรรมชาติ และโครงสร้างของพอลิออกซายางแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5 - 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิออกซายางที่เตรียมได้

Epoxidation reaction of natural rubber			$\overline{Mn}$ (NMR) of
$[\text{H}_2\text{O}_2]:[\text{C}=\text{C}]$	Reaction time (h)	Epoxide contents (%) ^(a)	HTNR (g mole^{-1})
0.30	4	6	1,500
0.30	2	4	2,000

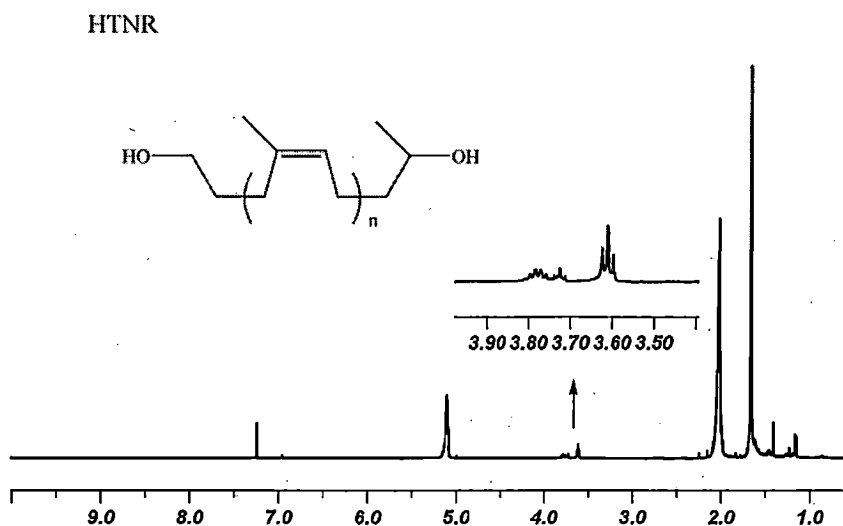
(a) $E (\%) = (I_{2,7}) / (I_{2,7} + I_{5,1}) \times 100$ (Phinyocheep *et al.*, 2005; Saetung *et al.*, 2010)

การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากน้ำยางธรรมชาติ อัตราส่วนของ $[\text{H}_2\text{O}_2]:[\text{C}=\text{C}]$ เท่ากับ 0.3 ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ทำให้ได้รับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีปริมาณ

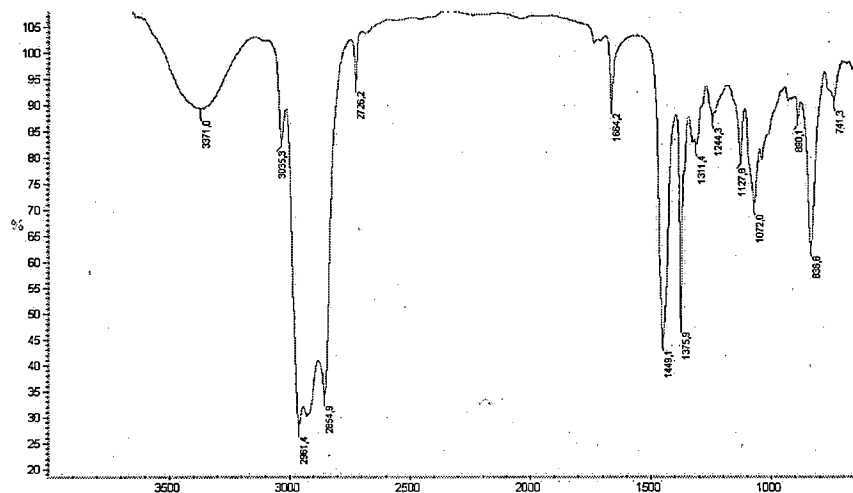
อิพอกไซด์ 2 ระดับ ได้แก่ 4% และ 6% ตามลำดับ หลังจากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ไอออกติก และรีดิวซ์ด้วยบอโรไฮไดรด์ ตามลำดับ (Saetung *et al.*, 2010) ทำให้ได้พอลิออลจากยางธรรมชาติที่มีลักษณะเหลว สีเหลืองใส

การยืนยันโครงสร้างของพอลิออลที่ได้ (Hydroxyl telechelic natural rubber: HTNR) ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของหมู่ปลายคาร์บอนิล (Carbonyl telechelic natural rubber: CTNR) แสดงในรูปที่ 5 พบว่ามีตำแหน่งของ CH_2CHOH อยู่ที่ตำแหน่งของโปรตรอนที่ 1.20 ppm. มีตำแหน่งของ $-\text{CH}_{3\text{isoprenic}}$ อยู่ที่ตำแหน่งของโปรตรอนที่ 1.67 ppm. มีตำแหน่งของ $-\text{CH}_{2\text{isoprenic}}$ อยู่ที่ตำแหน่งของโปรตรอนที่ 2.04 ppm. มีตำแหน่งของ CH_2OH อยู่ที่ตำแหน่งของโปรตรอนที่ 3.65 ppm. มีตำแหน่งของ CHOH อยู่ที่ตำแหน่งของโปรตรอนที่ 3.80 ppm. และมีตำแหน่งของ $=\text{CH}_{\text{isoprenic}}$ อยู่ที่ตำแหน่งของโปรตรอนที่ 5.1 ppm (Kébir *et al.*, 2005; Saetung *et al.*, 2010) นอกจากนี้โครงสร้างของพอลิออลดังกล่าวยังสามารถยืนยันหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ที่ให้ผลสอดคล้องกับผลจาก NMR กล่าวคือการปรากฏความยาวคลื่นกว้างในช่วง 3400 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) และปรากฏความยาวคลื่นในช่วง $1640 - 1680\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่แอลคีน ($\text{C}=\text{C}$) และมีความยาวคลื่นในช่วง $2850 - 2960\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่แอลเคน ($\text{C}-\text{H}$) ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างของไอโซพรีนที่เป็นหน่วยซ้ำ (Repeating unit) ในยางธรรมชาติดังรูปที่ 6 (Kébir *et al.*, 2005; Saetung *et al.*, 2010)

สำหรับการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของ HTNR สามารถคำนวณจากจากรายงานวิจัยของ Kébir *et al.*, 2005 และ Saetung *et al.*, 2010 พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของ HTNR เป็น 1500 g mol^{-1} และ 2000 g mol^{-1} (จาก ENR 6% และ 4% ตามลำดับ) ซึ่งใช้เป็นพอลิออลในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อไป



รูปที่ 5 ^1H -NMR ของ HTNR



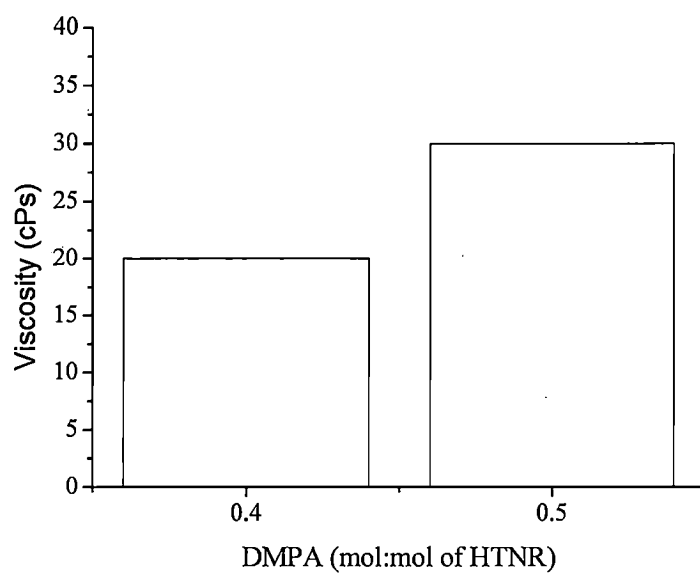
รูปที่ 6 FT-IR ของ HTNR

6.2 สมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทนจากยางธรรมชาติ

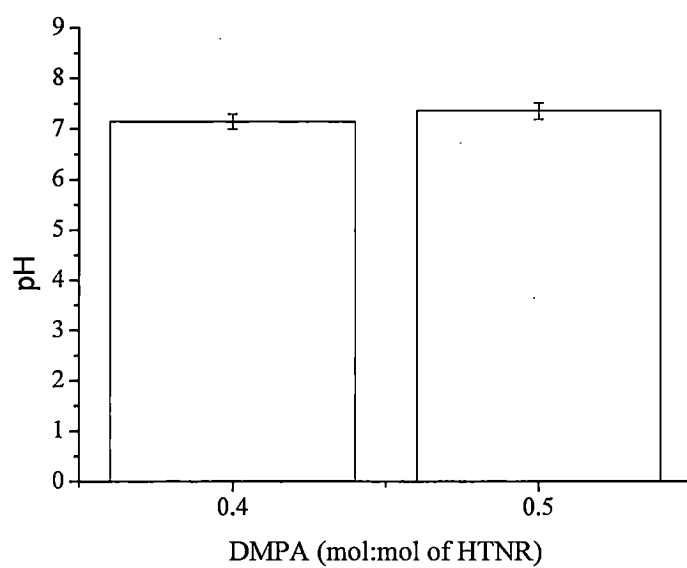
หลังจากที่ได้พอลิออลจากยางธรรมชาติ (HTNR) แล้ว จึงนำมาเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน ด้วยเทคนิคในรูปที่ 3 โดยทำการศึกษาอิทธิพลของกรดไดเมทิลฮอลโพรพิโอนิก (DMPA) และ อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิออล ที่มีผลต่อสมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทน เพื่อนำไปศึกษาการเคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อไป

6.2.1 อิทธิพลของกรดไดเมทิลฮอลโพรพิโอนิก

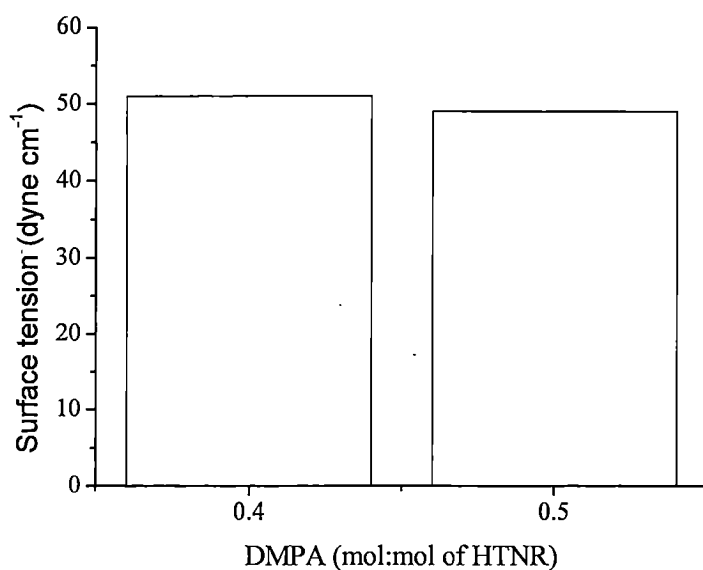
นำน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นตามรูปที่ 3 โดยแปรปริมาณกรดไดเมทิลฮอลโพรพิโอนิก (DMPA) 0.4 และ 0.5 โมลต่อโมลของ HTNR ตามลำดับ โดยใช้ HTNR (1500 g mol^{-1}) ตามสูตรในตารางที่ 1 ที่มีผลต่อความหนืด ความเป็นกรด - ด่าง ความตึงผิว และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางพอลิยูรีเทน แสดงดังรูปที่ 7 – 10



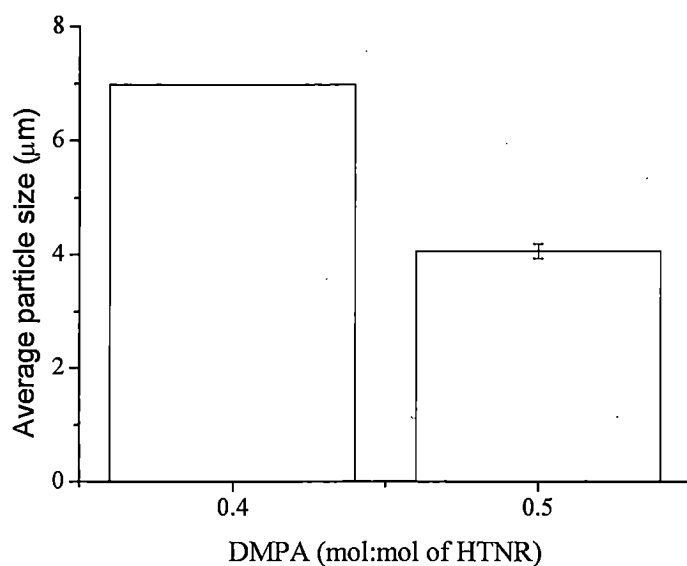
รูปที่ 7 ผลของปริมาณ DMPA ต่อความหนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 8 ผลของปริมาณ DMPA ต่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 9 ผลของปริมาณ DMPA ต่อความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 10 ผลของปริมาณ DMPA ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางพอลิยูรีเทน

จากรูปที่ 7 พบว่าเมื่อปริมาณ DMPA เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จะเกิดจากการเพิ่มปริมาณ DMPA มากขึ้น ทำให้มีหมู่คาร์บอกซิลในโครงสร้างของพอลิยูรีเทนที่ได้เพิ่มขึ้น และการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนมีการใช้ไตรเอทิลลามีน เพื่อปรับหมู่คาร์บอกซิลิก ที่อยู่ใน DMPA ให้เกิดเป็นเกลือแบบ 100% ซึ่งหมู่เกลือดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้พอลิยูรีเทนพรีพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นสามารถเข้ากับน้ำได้มากขึ้น และมีการดึงอนุภาคของน้ำยางมาไว้รอบตัวของอนุภาคพอลิ

ยูริเทน ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของพอลิยูริเทนเกิดการบวมพองจนสามารถอยู่ติดกันมากขึ้น ทำให้ น้ำยางมีความหนืดมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้คล้ายคลึงกับการใช้พอลิออลทางการค้าชนิดพอลิอีเทอร์ หรือเอสเทอร์พอลิออล (Nanda *et al.*, 2006; Rahman and Kim, 2006)

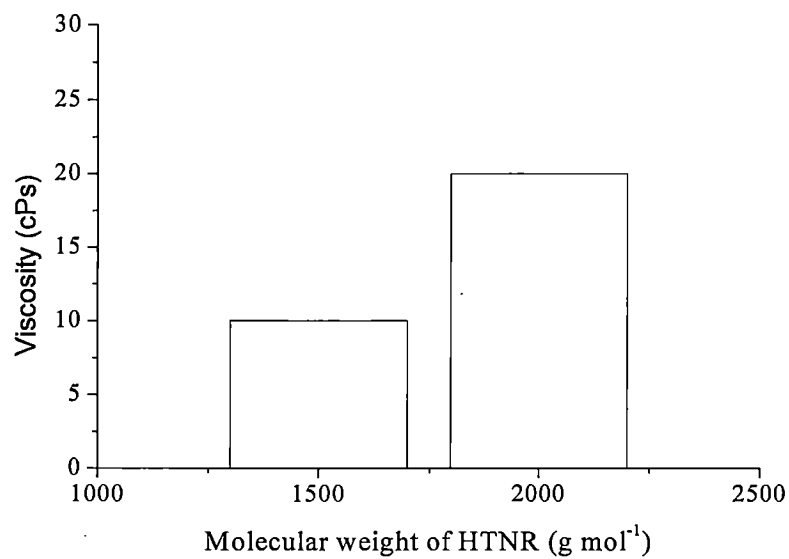
สำหรับความเป็นกรด – ด่างของน้ำยางพอลิยูริเทนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 8 ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากสารละลายไตรเอทิลเอมีนมีฤทธิ์เป็นด่าง ที่มีการใช้ในปริมาณที่มากเกินไปอยู่ 5% เพื่อให้มั่นใจว่าหมู่คาร์บอกซิลิกถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของอิมัลซิไฟเออร์ทั้งหมด ดังนั้นส่งผลให้น้ำยางพอลิยูริเทนมีค่าความเป็นด่างเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย

ในขณะที่ ความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูริเทนลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 9) ทั้งนี้เป็นเพราะว่า DMPA เมื่อถูกปรับสภาพให้เป็นกลางแล้วยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้พรีพอลิเมอร์กระจายตัวในน้ำ และส่งผลให้ความตึงผิวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางพอลิยูริเทนที่มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 10) เช่นกัน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการเพิ่มปริมาณ DMPA มากขึ้น จะทำให้หมู่คาร์บอกซิลิกใน โครงสร้างของพอลิยูริเทนเพิ่มมากขึ้น และเมื่อใช้ไตรเอทิลเอมีน เพื่อปรับหมู่คาร์บอกซิลิกที่อยู่ใน DMPA ให้เกิดเป็นเกลือ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้ดีขึ้น ทำให้พรีพอลิเมอร์กระจายตัวในน้ำ ได้มากขึ้น และน้ำยางพอลิยูริเทนที่ได้มีความเสถียรเพิ่มขึ้น การที่เมื่อดูอนุภาคจะเกิดการรวมตัวกันเป็น อนุภาคใหญ่เกิดได้ลดลง ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางลดลง ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับการ ทดลองที่ใช้พอลิออลทางการค้าชนิดพอลิอีเทอร์ หรือเอสเทอร์พอลิออล (Nanda *et al.*, 2006; Rahman and Kim, 2006)

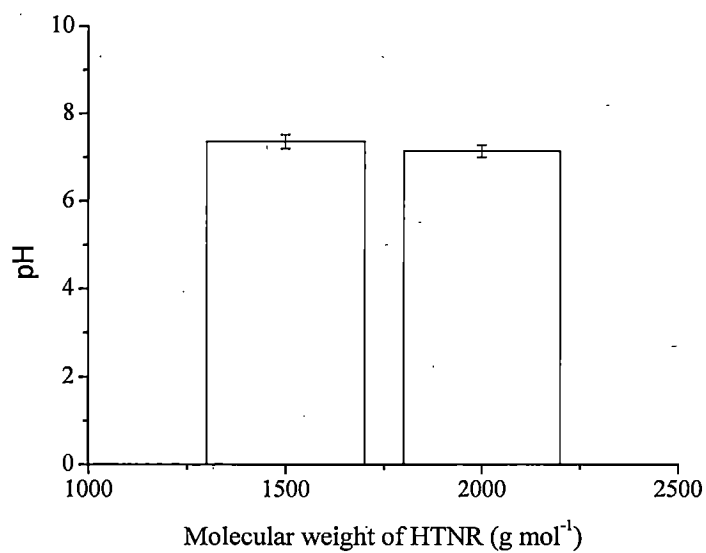
ในส่วนของคุณภาพดังกล่าวมีผลต่อการเก็บรักษาน้ำยางพอลิยูริเทนเป็นอย่างดี จากผลการ เก็บรักษาน้ำยางดังกล่าวที่อุณหภูมิห้อง พบว่าที่ปริมาณ DMPA 0.4 โมลต่อโมลของ HTNR มีการ ตกตะกอนเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ที่ปริมาณ DMPA 0.5 โมลต่อโมลของ HTNR ไม่พบการตกตะกอน หลังจากเก็บรักษาได้เป็นเวลาสามเดือน ซึ่งในการทดลองหลังจากนี้ จะเลือกปริมาณ DMPA 0.5 โมลต่อ โมลของ HTNR ในการศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิออลต่อไป

6.2.2 อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ HTNR

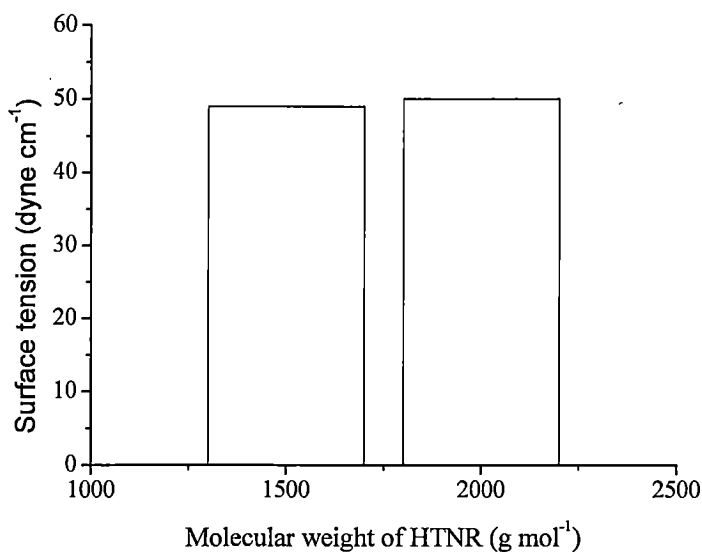
น้ำยางพอลิยูริเทนที่เตรียมขึ้นตามวิธีในรูปที่ 3 โดยศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ HTNR (1500 และ 2000 g mol⁻¹) มีการควบคุมปริมาณ DMPA เท่ากับ 0.5 โมลต่อโมลของพอลิออล ตามสูตรในตารางที่ 1 ที่มีผลต่อความหนืด ความเป็นกรด – ด่าง ความตึงผิว และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ น้ำยางพอลิยูริเทน ดังแสดงในรูปที่ 11-14



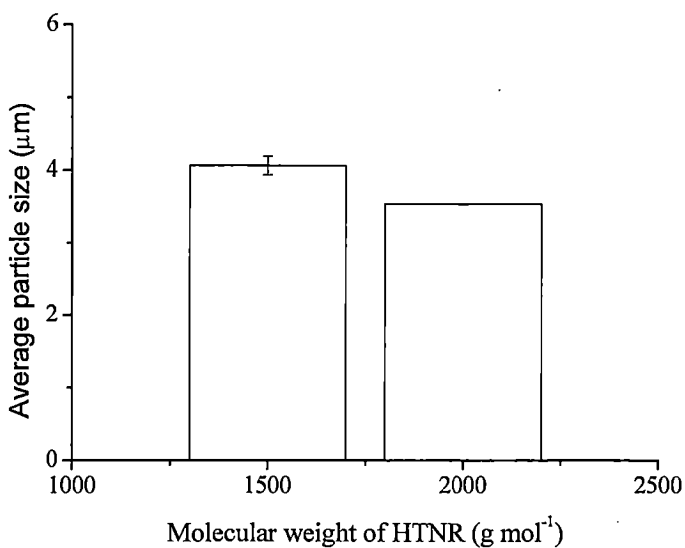
รูปที่ 11 ผลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ HTNR ต่อความหนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 12 ผลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ HTNR ต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 13 ผลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ HTNR ต่อค่าความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทน



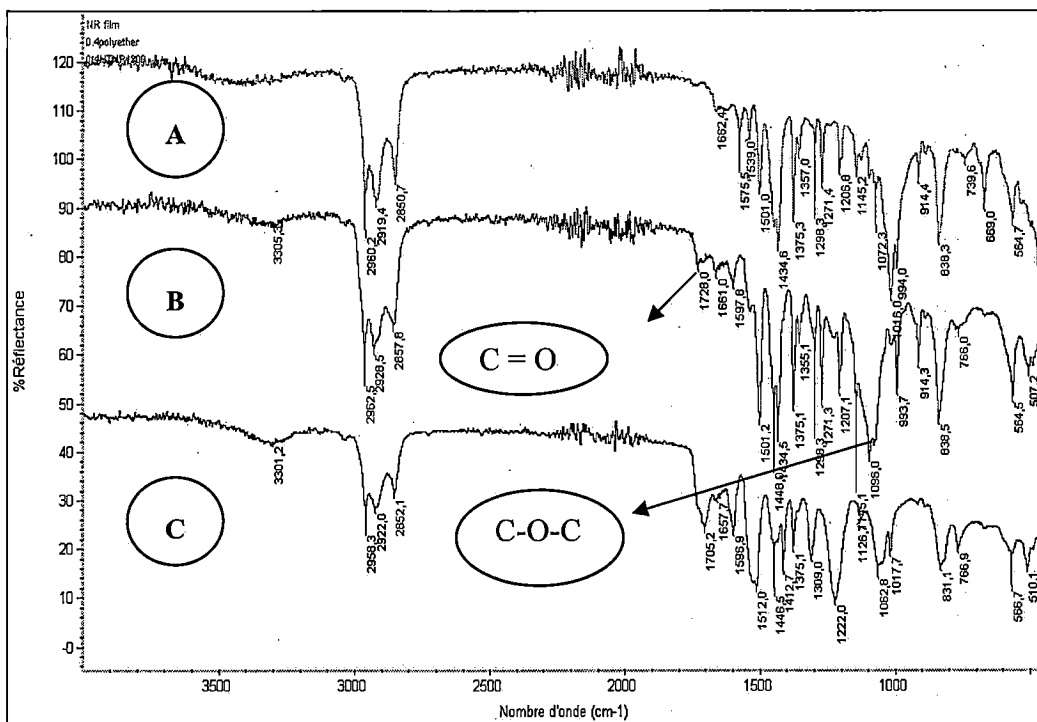
รูปที่ 14 ผลของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ HTNR ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางพอลิยูรีเทน

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า น้ำยางพอลิยูรีเทนที่ใช้ HTNR ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 2000 g mol⁻¹ จะให้ขนาดอนุภาคของน้ำยางเล็กกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักโมเลกุล 1500 g mol⁻¹ ซึ่งส่งผลให้ความหนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hourston *et al.* (1997) ที่ใช้พอลิอีเทอร์ พอลิโออล ที่มีน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโออลแตกต่างกัน (1000 และ 2000 g mol⁻¹) ต่อสมบัติดังกล่าว (ดังรูปที่ 11 และ 14) ในขณะที่การเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ HTNR ไม่ค่อยมีผล

มากนักต่อสมบัติด้านความเป็นค่า และความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทน แสดงดังรูปที่ 12 และ 13 ตามลำดับ

6.3 การเคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

เมื่อทำการเคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจาก HTNR และพอลิอีเทอร์พอลิออล ทางการค้า ที่ปริมาณของแข็ง 5% เปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ เพื่อทำการยืนยันผล การเคลือบดังกล่าว วิเคราะห์ด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยใช้เทคนิคแบบ Attenuated Total Reflection (ATR) เพื่อแสดงว่าแผ่นฟิล์มยางพอลิยูรีเทนเคลือบอยู่บนผิวของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ดังรูปที่ 15



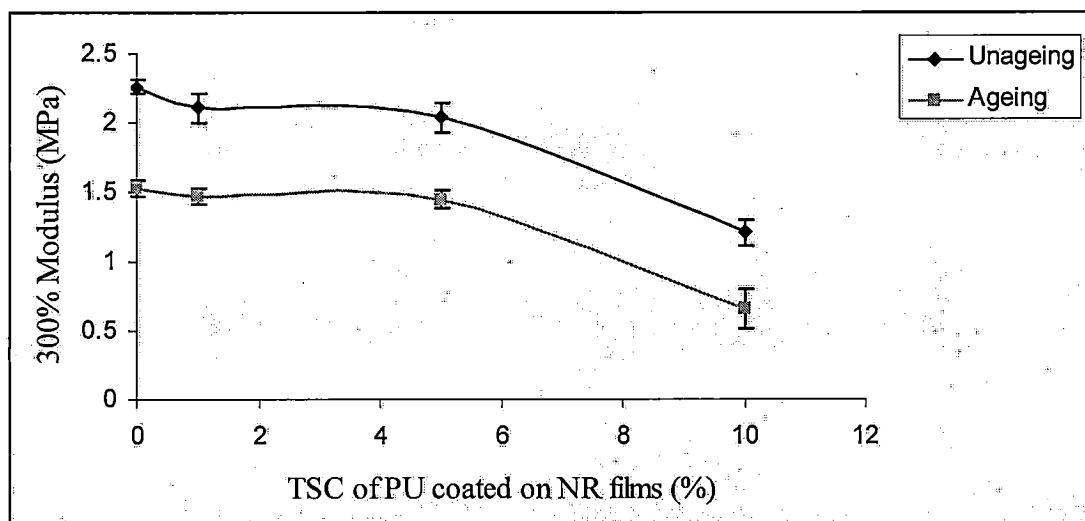
รูปที่ 15 FTIR-Spectra ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติไม่เคลือบ (A) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบ (น้ำยางพอลิยูรีเทนพอลิอีเทอร์ พอลิออล (B) น้ำยางพอลิยูรีเทน HTNR (C))

จากรูปที่ 15 พบว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนทั้งสอง (B และ C) ปรากฏความยาวคลื่นในช่วง 3300 cm^{-1} , $1080 - 1100\text{ cm}^{-1}$ และความยาวคลื่นในช่วง $1725 - 1730\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงหมู่แทนที่เอมีน (-NH-) หมู่อีเทอร์ (-C-O-) และหมู่คาร์บอนิล (C=O) ในโครงสร้างของยูรีเทน (-NHCOO-) ตามลำดับ (Kébir *et al.*, 2005; Saetung *et al.*, 2010) ในขณะที่ช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้จะไม่พบในแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (A) ที่ไม่ได้เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน ส่วนฟิล์มยางธรรมชาติจะมีความยาวคลื่นในช่วง $1640 - 1680\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่แอลคีน (C=C) และมีความยาวคลื่นในช่วง $2850 - 2960\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่แอลเคน ส่วนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิ

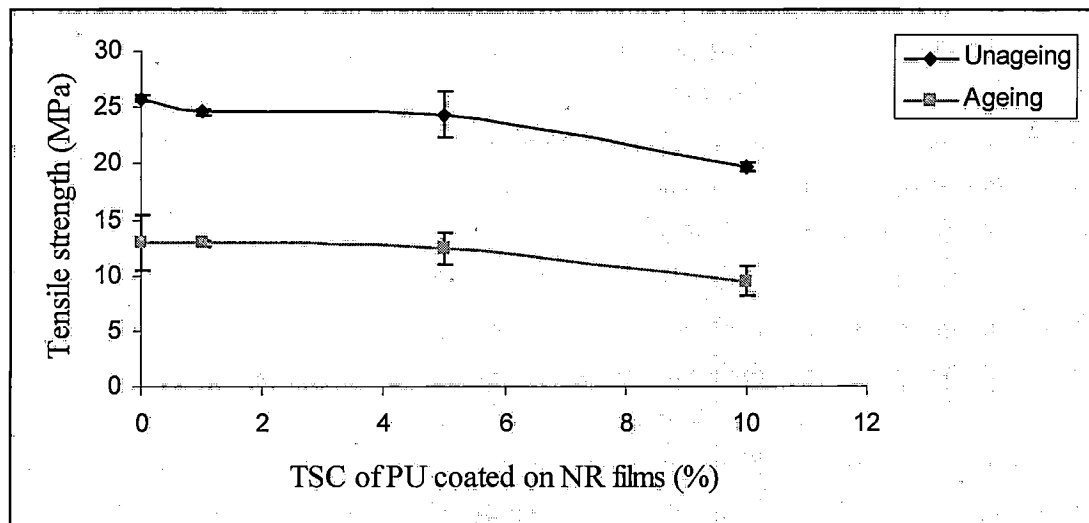
ยูริเทน พอลิอีเทอร์(B) มีความยาวคลื่นสำคัญคือในช่วง 1000 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่อีเทอร์ ในพอลิอีเทอร์ ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นพิสูจน์ให้เห็นว่ามีการเคลือบน้ำยางพอลิยูริเทนบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติอยู่จริง โดยแผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะผิวเรียบ ลื่น สามารถถอดออกจากแบบพิมพ์ได้โดยไม่ต้องใช้แปรงทาล้มช่วย

6.4 ผลของการเคลือบน้ำยางพอลิยูริเทนที่มีปริมาณของแข็งที่แตกต่างกันบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

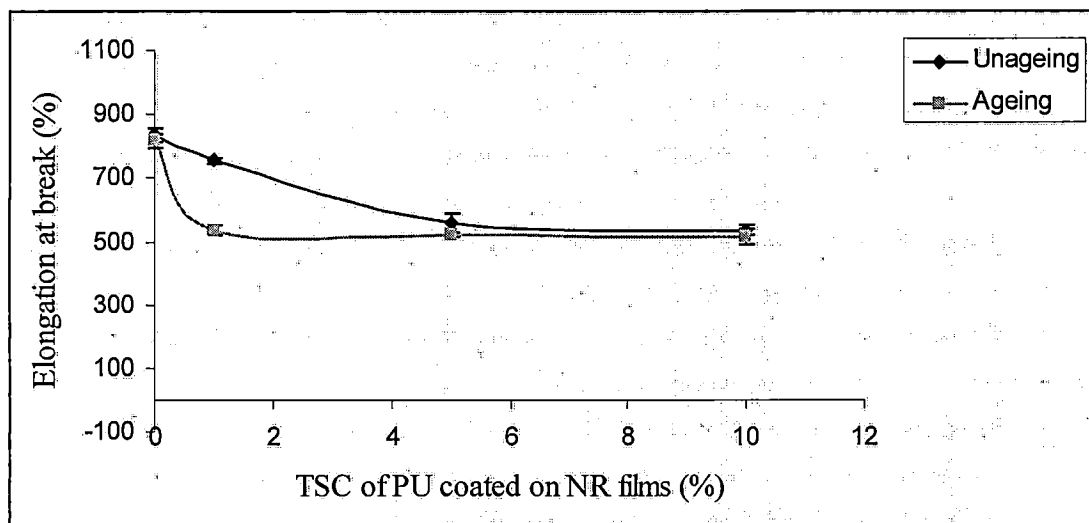
นำน้ำยางพอลิยูริเทนที่เตรียมขึ้นตามวิธีในรูปที่ 3 โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูริเทนที่ระดับ 1, 5 และ 10% มีการควบคุมปริมาณ DMPA เท่ากับ 0.5 โมลต่อโมลของ HTNR (1500 g mol^{-1}) ที่มีผลต่อสมบัติ 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อน แสดงดังรูปที่ 16 – 19



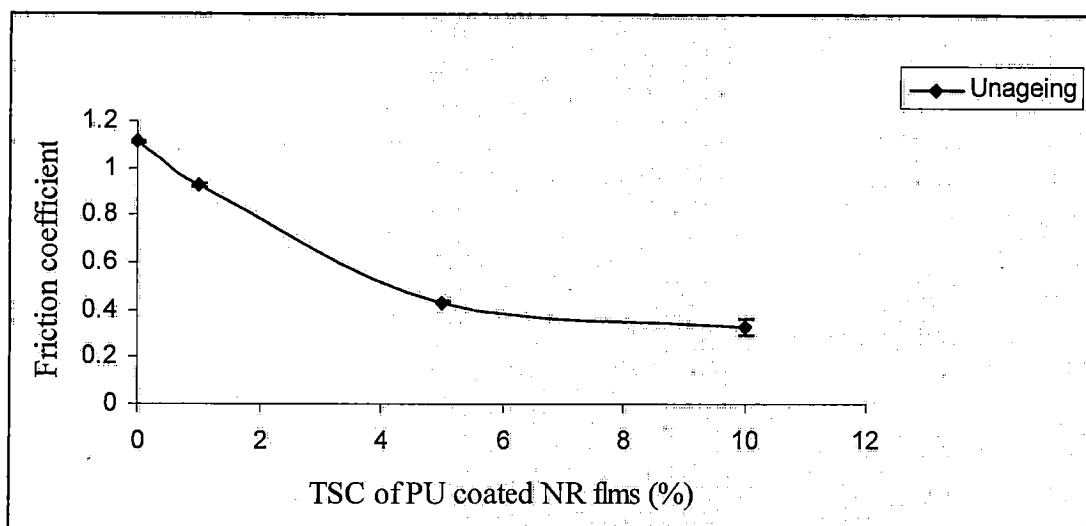
รูปที่ 16 ผลของของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูริเทนต่อ 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูริเทน



รูปที่ 17 ผลของของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 18 ผลของของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 19 ผลของของปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน

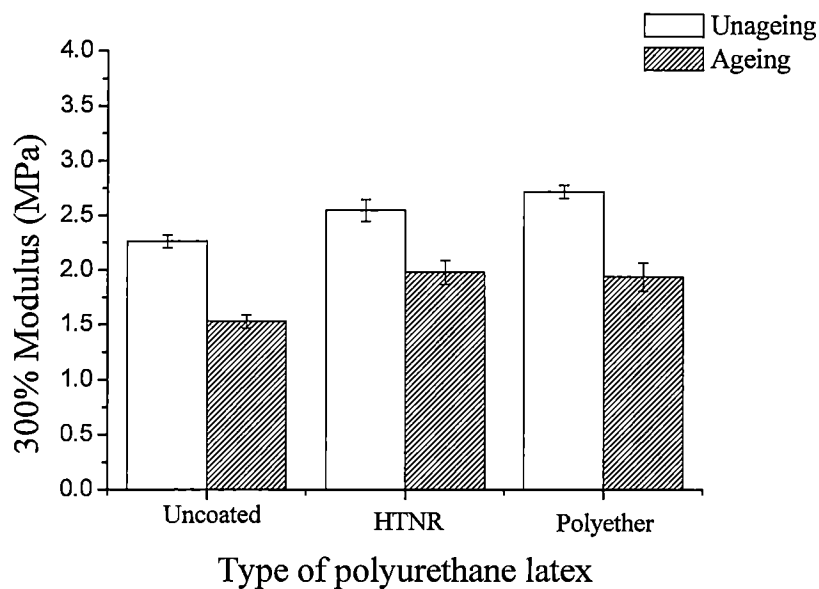
เมื่อปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนช่วง 1% ถึง 5% ที่ใช้เคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น มีผลให้ 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึงอยู่ในแนวโน้มเดียวกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบ ส่วนระยะยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 16-18 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าโดยสมบัติภายในโครงสร้างของน้ำยางพอลิยูรีเทนมีโครงสร้างจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนต่ำกว่ายางธรรมชาติ (นิธินาถ, 2544) ดังนั้นเมื่อปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ใช้เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มลดต่ำลง และไม่มีผลเมื่อปริมาณของแข็งมากกว่า 5% แสดงดังรูปที่ 19

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติหลังบ่มแรงด้วยอากาศร้อนที่ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน และแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่มีการเคลือบ พบว่าแผ่นฟิล์มมีค่า 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ลดลงเพียงเล็กน้อยโดยเฉพาะที่เคลือบที่ปริมาณของแข็งไม่มากนัก (1-5%) แต่ที่ปริมาณของแข็งมากถึง 10% จะทำให้สมบัติหลังการบ่มแรงมีแนวโน้มลดลงมากกว่า ดังนั้นปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณในช่วง 1% ถึง 5% เป็นปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเคลือบต่อไป

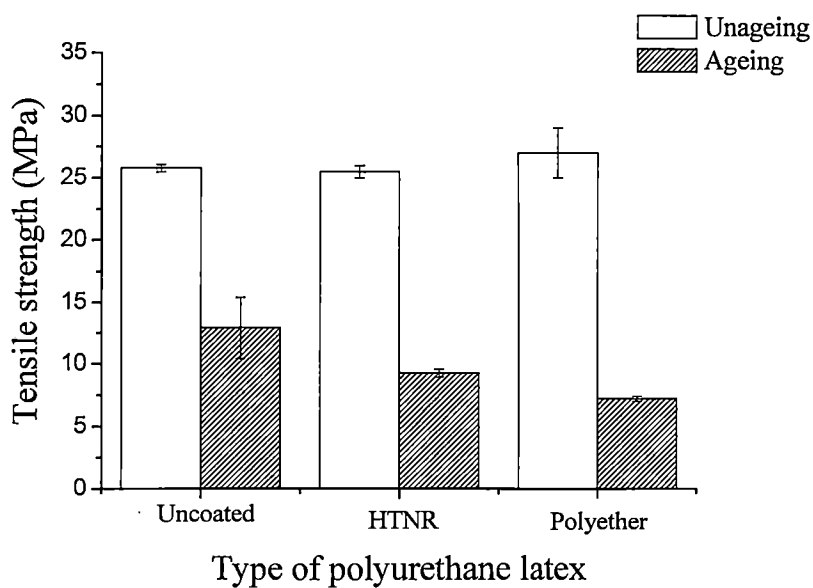
6.5 การเปรียบเทียบระหว่างพอลิอีเทอร์ พอลิออล (Polyether polyol) ทางการค้า และHTNR

การเปรียบเทียบ พอลิอีเทอร์ พอลิออล (Polyether polyol) ทางการค้า และHTNR ที่เป็นสารตั้งต้น เพื่อนำมาเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนตามหัวข้อ 3.3.4 ควบคุมปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนที่

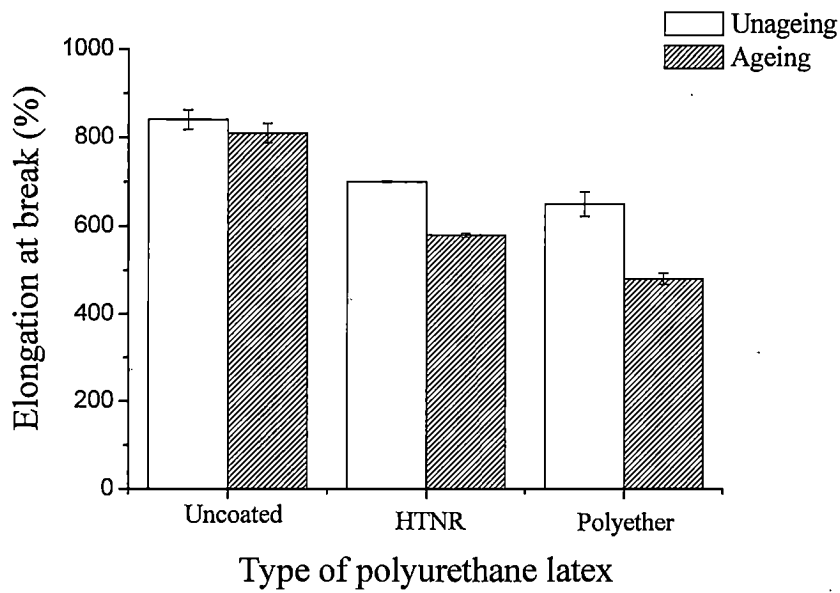
ระดับ 1 % มีการควบคุมปริมาณ DMPA เท่ากับ 0.5 โมลต่อโมลของพอลิออล โดยใช้ HTNR ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 2000 g mol^{-1} และพอลิเอเทอร์ พอลิออล ทางการค้า เป็นสารตั้งต้น หลังจากนั้นนำน้ำยางพอลิยูรีเทนทั้งสองเคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ เพื่อทดสอบเปรียบเทียบสมบัติ 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อน ดังแสดงในรูปที่ 20 – 23



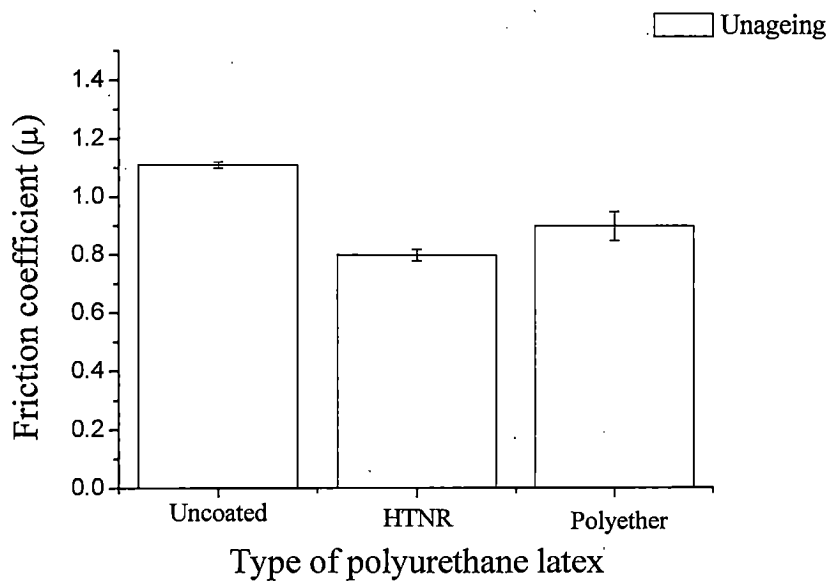
รูปที่ 20 ชนิดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อ 300% โมดูลัส



รูปที่ 21 ชนิดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อความต้านทานต่อแรงดึง



รูปที่ 22 ชนิดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อระยะยืดจนขาด



รูปที่ 23 ชนิดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของน้ำยางพอลิยูรีเทนระหว่างพอลิเอเทอร์ พอลิโออลที่เป็นพอลิโออลทางการค้า และ HTNR แล้วนำมาเคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโดยควบคุมปริมาณของแข็งที่ 1% พบว่าสมบัติเชิงกล เช่น 300% โมดูลัส และ ความต้านทานต่อแรงดึง ของ HTNR และพอลิเอเทอร์ อยู่ในระดับ

เดียวกัน และไม่มีผลให้สมบัติด้านนี้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่ได้เคลือบ (รูปที่ 20 และ 21) ในขณะที่ระยะยืดขาดของแผ่นฟิล์มยางที่เคลือบด้วย HTNR และพอลิอีเทอร์ ทางการค้า ให้ค่าประมาณ 700% ซึ่งมีค่าลดลงเล็กน้อย และพบว่าที่ระยะก่อนถึงระยะยืดขาดไม่พบการแยกชั้นของชั้นน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เคลือบอยู่ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนจากพอลิอีเทอร์ ทางการค้า และ HTNR มีค่าต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบ ดังรูปที่ 23 และค่าดังกล่าวจะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อมีปริมาณของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ 5% ดังแสดงไว้ในรูปที่ 19 จากผลการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ทำให้ถุงมือมีผิวลื่นสามารถถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องใช้แปรงช่วยถอด

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติหลังบ่มแรงด้วยอากาศร้อนที่ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนจากพอลิอีเทอร์ พอลิออล และ HTNR แสดงดังรูปที่ 20 และ 21 พบว่าสมบัติหลังการบ่มแรง มีค่าที่ไม่มีความแตกต่างกัน

ดังนั้นการใช้น้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากยางธรรมชาติ สามารถใช้ทดแทนน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากพอลิอีเทอร์ ซึ่งเป็นพอลิออลทางการค้า เพื่อใช้ในการเคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มการใช้งาน และเพิ่มมูลค่า หรือประโยชน์จากยางธรรมชาติ

7. สรุปผล

น้ำยางพอลิยูรีเทนชนิดใหม่จากพอลิออล (HTNR) จากยางธรรมชาติ ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ ด้วยเทคนิคแบบพรีพอลิเมอร์ โดยใช้กรดไคเมททิลออลโพรพิโอนิกเป็นสารช่วยในการกระจายตัว พบว่าอิทธิพลของปริมาณ DMPA และน้ำหนักโมเลกุลของ HTNR มีผลต่อ ความหนืด และระยะเวลาในการเก็บรักษา ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ความเป็นกรด – ด่าง และความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ ปริมาณของของแข็งในน้ำยางพอลิยูรีเทนในการเคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ โดยเฉพาะปริมาณของแข็งในช่วง 1 ถึง 5% ที่เตรียมจาก HTNR 1500 และ 2000 g mol⁻¹ ทำให้แผ่นฟิล์มที่เคลือบมีค่า 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และสมบัติภายหลังการบ่มแรงด้วยอากาศร้อน มีแนวโน้มเดียวกันกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และระยะยืดขาดของแผ่นฟิล์มมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากพอลิอีเทอร์ พอลิออลทางการค้า และ HTNR ที่ปริมาณของแข็ง 1% พบว่า 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดขาด สมบัติภายหลังการบ่มแรงด้วยอากาศร้อน และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน มีแนวโน้มเหมือนกัน อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนจาก HTNR ลดลงเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น

ดังนั้นการเลือกใช้พอลิเอทิลีนที่ดัดแปลงโครงสร้างมาจากยางธรรมชาติ เพื่อใช้ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เพื่อขยายขอบเขตการใช้งานยางธรรมชาติให้มากขึ้น ในนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์จากงานจุ่มต่อไป

8. ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาต้นทุนการผลิต ชนิดผลิตภัณฑ์ และความเป็นไปได้ของการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ
2. ศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มของน้ำยางพอลิยูรีเทน

9. คำขอบคุณ

- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญารับทุนเลขที่ 5250026 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

10. เอกสารอ้างอิง

นิธินาถ พงษ์ศิริ, 2544. ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำยางพอลิยูรีเทนเพื่อใช้ในงานจุ่ม, วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Dieterich, D., 1981. Aqueous emulsions, dispersions and solutions of polyurethanes; synthesis and properties. Prog. Org. Coat., 9(3): 281-340.

Gillier-Ritoit, S., Reyx, D., Campistron, I., Laguerre, A. and Singh, R.P., 2003. Telechelic cis-1,4-oligoisoprenes through the selective oxidolysis of epoxidized monomer units and polyisoprenic monomer units in cis-1,4-polyisoprenes. J. Appl. Polym. Sci., 87(1): 42-46.

Hourston, D. J.; Williams, G.; Satguru, R.; Padget, J. D.; Pears, D., 1997. Structure-property study of polyurethane anionomers based on various polyols and diisocyanates. J. Appl. Polym. Sci., 66(10): 2035-2044.

Kébir, N., Campistron, I., Laguerre, A., Pilard, J.-F., Bunel, C., Couvercelle, J.-P. and Gondard, C., 2005. Use of hydroxytelechelic cis-1,4-polyisoprene (HTPI) in the synthesis of polyurethanes (PUs). Part 1. Influence of molecular weight and chemical modification of HTPI on the mechanical and thermal properties of PUs. Polymer, 46(18): 6869-6877.

Lu, M.G., Lee, J.Y., Shim, M.J. and Kim, S.W., 2002. Synthesis and properties of anionic aqueous polyurethane dispersions. J. Appl. Polym. Sci., 86(14): 3461-3465.

Nanda, Ajaya K., Wicks, Douglas A., Madbouly, Samy A. and Otaigbe, Joshua U., 2005. Effect of ionic content, solid content, degree of neutralization and chain extension on aqueous polyurethane dispersions prepared by prepolymer method. . J. Appl. Polym. Sci., 98(6): 2514-2520.

Phinyocheep, P.; Phetphaisit, C. W.; Derouet, D.; Campistron, I.; Brosse, J. C., 2005. Chemical degradation of epoxidized natural rubber using periodic acid: Preparation of epoxidized liquid natural rubber. J. Appl. Polym. Sci., 95(1): 6-15.

Pilard, J-F, Campistron I., Laguerre A., Khaokong C., Saetung A., Jellai R. and Sadaka F., 2008. Polyisoprene as a useful substrate dedicated to new polymer developments ; from natural rubber to bioactive polymers. The International Rubber Conference, Convention Centre Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia, 20-23 October.

Rahman, M. M.; Kim, H. D., 2006. Synthesis and characterization of waterborne polyurethane adhesives containing different amount of ionic groups (I). J. Appl. Polym. Sci., 102(6): 5684-5691.

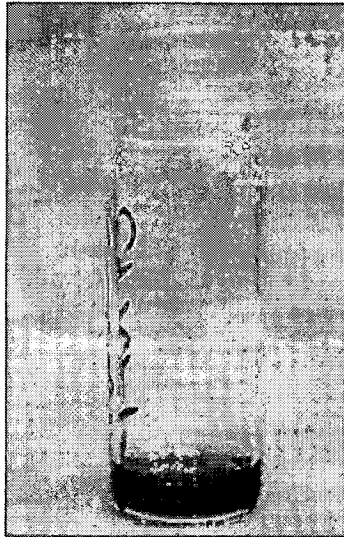
Saetung, A., Rungvichaniwat, A., Campistron, I., Klinpituksa, P., Laguerre, A., Phinyocheep P. and Pilard, J-P. 2010. Controlled degradation of natural rubber and modification of the obtained telechelic oligoisoprenes: Preliminary study of their potentiality as polyurethane foam precursors, J. Appl. Polym. Sci., 117(3): 1279-1289.

The Thai Natural Rubber Association, 2008. Production of natural rubber in 2008 (online). <http://www.thainr.com/en/index.php?detail=stat-world#> (23 February 2008).

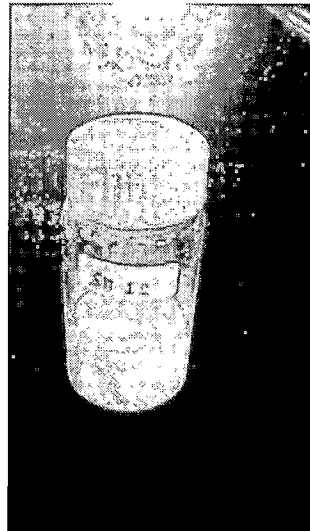
Yeh, Y.T., 1998. Powder-free gloves having a coating containing cross-linked polyurethane and silicone and method of making the same. US 6347408.

ภาคผนวก

A ตัวอย่างพอลิออลจากยางธรรมชาติ และน้ำยางพอลิยูรีเทนจากพอลิออลยางธรรมชาติ



รูปที่ A1 HTNR



รูปที่ A2 PU latex based on HTNR
polyol (1500) DMPA (0.5)



รูปที่ A3 PU latex based on HTNR
polyol (2000) DMPA (0.5)

B. ลักษณะ และคุณสมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากพอลิอีเทอร์ พอลิออล ทางการค้า

Properties	Values	S.D
pH	7.6	0.12
Viscosity (cPs)	29.8	0.44
Surface tension (dyne cm ⁻¹)	36.5	0
Particle size (μm)	0.390	0.11

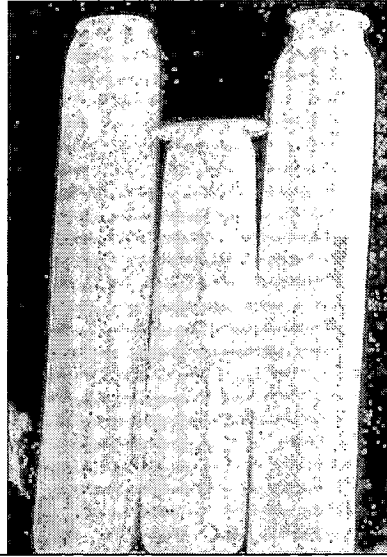


รูปที่ B1 PU latex based on
polyether polyol DMPA (0.5)

C. แผ่นฟิล์มที่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้



รูปที่ C1 NR film coated PU latex
based on HTNR polyol



รูปที่ C2 NR film coated PU latex
based on polyether polyol

D. สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

“การเตรียม และสมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทนจากยางธรรมชาติเพื่อใช้ในงานเคลือบผิวผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ” สัญญาเลขที่ RDG5250026

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
<u>ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)</u> 1. ตรวจสอบการพิมพ์ พบว่ามีการพิมพ์ผิดหลายจุด เช่น หน้า 1 ย่อหน้าที่ 1, หน้า 8 ข้อ 2.3.2, หน้า 9 ข้อ 2.3.3.1 ข้อที่ 1 และ 2, หน้า 24 ย่อหน้าที่ 4, หน้า 31 ข้อ 4.5, หน้า 24 ข้อ 4.2.2 และ หน้า 34 ย่อหน้าที่ 1 เป็นต้น	1. แก้ไข ตามความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ
<u>ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)</u> 1. หน้า 31 ย่อหน้าที่ 1 และ 2 ผลจากกราฟ 3.12-3.15 พบว่า ค่า 300% Modulus และ Tensile strength ลดลงมาก จากที่ระดับ TSC 5% ไปที่ TSC 10% แต่ค่า Elongation และ friction (ถ้าไม่มีค่าหลังบ่มแรง) ลดลงมาก จากที่ระดับ TSC 1% ไปที่ 5% ดังนั้นผู้วิจัย ควรหาจาก optimum ของสมบัติทั้งหมด (ทั้งนี้โดย concept ต้องการ physical properties ที่สูง แต่ friction ที่ต่ำ) 2. ควรสรุปทุกสภาวะ (ปัจจัย) ที่เหมาะสมและดีที่สุดไว้ในส่วนสรุปข้อ 4.1 หน้า 35-36 ด้วย 3. ควรมีคำอธิบายทางวิชาการกรณีของรูปที่ 3.16 แนวโน้มของ 300% Modulus เมื่อเคลือบด้วย 1% HTNR สูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 3.12 ที่ 1% ค่าลดลง	1. เห็นด้วยกับข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และได้เพิ่มคำวิจารณ์ระดับที่ควรใช้ ที่ให้สมบัติทางกายภาพไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และให้ความเสียดทานต่ำซึ่งอยู่ในช่วงค่า TSC 1-5% ส่วนสมบัติความเสียดทานหลังบ่มแรงไม่ได้มีการทดสอบครับ 2. เห็นด้วยกับผู้ทรงคุณวุฒิ และได้เพิ่มเติมข้อสรุป 3. เนื่องจากน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ใช้เคลือบทั้งสองการทดลองนั้น ใช้ HTNR น้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน คือที่ 1500 และ 2000 g mol⁻¹ ตามลำดับ ทำให้มีผลต่อ ขนาดอนุภาค และความหนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ได้ อาจจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วย
<u>ข้อเสนอแนะ</u> 1. ข้อ 4.1.6 บรรทัดสุดท้าย คำว่า “อยู่ในระดับเดียวกัน” ควรเปลี่ยนเป็น “มีแนวโน้มเหมือนกัน” 2. การศึกษาต่อไป ควรศึกษาเรื่องต้นทุนการผลิต ชนิดผลิตภัณฑ์ที่จะนำผลการทดลองไปใช้ และความเป็นไปได้ของการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ	1. เห็นด้วยและแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ 2. เห็นด้วยกับข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และได้เขียนเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะที่จะทำต่อไปในอนาคต

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
<u>ข้อเสนอแนะ(ต่อ)</u> 3. ในการสรุปผลการทดลองและบทคัดย่อ ถ้าเป็นไปได้ควรมีตัวเลขที่วัดได้ เป็นดัชนีวัดความสำเร็จ/ความพอใจที่เท่าไร แล้วอนาคต จะปรับปรุงหรือต่อยอดให้มีค่าเท่าไรเป็น benchmark ต่อไป เพื่อผู้ที่จะต่อยอดสามารถอ้างอิงว่า ปรับปรุงปัจจัยอะไร ต้องมีค่าวัดในห้องทดสอบเท่าไร จึงจะเป็นเป้าหมายที่ต้องการ หรือที่ผู้บริโภคต้องการ ถ้ามีมาตรฐานกำหนดจะช่วยให้งานนั้นสมบูรณ์ขึ้น	3. เห็นด้วยกับผู้ทรงคุณวุฒิ โดยทำการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากพอลิออกซายาธรรมชาติ กับพอลิออกซายาการค้า ซึ่งน่าจะพอเป็นเกณฑ์กำหนดความสำเร็จได้ในระดับหนึ่ง และในอนาคตอาจจะใช้ค่าที่ได้จากการทดลอง นำไปปรับปรุงสูตร หรือสารเคมีที่ใช้ รวมทั้งกระบวนการเตรียม และกระบวนการเคลือบต่อไป