



KKU Res.j. 2014; 19(4) : 560-570

<http://resjournal.kku.ac.th>

## การเตรียมและสมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทน: การประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบถุงมือยางธรรมชาติ

### Preparation and properties of waterborne polyurethane: application for coating on natural rubber gloves

อนุวัต แซ่ตั้ง<sup>1\*</sup>, อติศัย รุ่งวิชานีวิวัฒน์<sup>1</sup> และนิตินาท พงษ์ศิริ<sup>1</sup>Anuwat Saetung<sup>1</sup>, Adisai Rungvichaniwat<sup>1</sup> and Nitinart Pongsiri<sup>1</sup><sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์\*Correspondent author: [sanuwat@pn.bunga.pn.psu.ac.th](mailto:sanuwat@pn.bunga.pn.psu.ac.th)

#### บทคัดย่อ

น้ำยางพอลิยูรีเทนสามารถเตรียมขึ้นจากกระบวนการผลิตแบบผสมพรีพอลิเมอร์ ที่อุณหภูมิห้อง โดยการทำปฏิกิริยาร่วมกันของโทลูอีนไดไอโซไซยานต ไดไอโซไซยานต พอลิเอเทอร์พอลิออล กรดไดเมททิลออลโพรพิโอนิก ได้เป็นพอลิยูรีเทน ไอโอโนเมอร์ที่มีหมู่ปลายเป็นไอโซไซยานต จากนั้นปรับสภาพหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่ในกรดไดเมททิลออลโพรพิโอนิก ด้วยไตรเอทิลลามีน ซึ่งเกลือที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์แล้วทำให้พอลิยูรีเทน ไอโอโนเมอร์กระจายตัวในน้ำภายใต้การกวนอย่างรุนแรง ต่อจากนั้นเติมน้ำหนักโมเลกุลน้ำยางพอลิยูรีเทน ไอโอโนเมอร์ด้วยไดเอททานอลามีน จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของกรดไดเมททิลออลโพรพิโอนิก มีผลทำให้ความหนืดและความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางพอลิยูรีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและความตึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทนลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้แผ่นฟิล์มที่ได้จากน้ำยางพอลิยูรีเทน มีความต้านทานต่อแรงดึงและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น แต่ระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มลดลง นอกจากนี้สมบัติของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนเข้มข้น 5% มีสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด และให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่ได้เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน

#### Abstract

Waterborne polyurethane (WPU) was prepared by prepolymer mixing process at room temperature from the reaction of toluene diisocyanate, polyether polyol and 2,2 bis (hydroxymethyl) propionic acid (DMPA). Upon the neutralization of carboxyl group in DMPA with triethylamine, the NCO-terminated polyurethane ionomer was self-emulsified during adding water with vigorous stirring. The resulting ionomer was then chain extended by diethanolamine in aqueous phase. The study showed that increasing the dosage of DMPA, viscosity and pH value of WPU were increased. On the contrary, the average particle size and surface tension of WPU were decreased. The study was also found that tensile strength and friction coefficient of WPU film was increased but elongation at break of WPU film was decreased. Moreover, WPU 5% coated natural latex film showed inferior tensile strength and elongation at break than uncoated natural latex film. However the PU coated natural latex film showed significantly decreasing of friction coefficient value than uncoated natural latex film.

คำสำคัญ: น้ำยางพอลิยูรีเทน ยางธรรมชาติ ถุงมือ

Keywords: Polyurethane dispersion, natural rubber, glove

## 1. บทนำ

น้ำยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา *Hevea Brasiliensis* ประกอบไปด้วยโครงสร้างหลักเป็น *cis*-1,4-polyisoprene นิยมใช้ประโยชน์ในรูปแบบของแผ่นฟิล์มเช่น ลูกโป่ง กุ้งยางอนามัย และโดยเฉพาะถุงมือที่ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตถุงมือยางธรรมชาติเป็นอันดับสองของโลก รองจากประเทศมาเลเซีย โดยสถาบันวิจัยยางได้รายงานถึงยอดจำหน่ายถุงมือยางธรรมชาติของประเทศไทยในปี 2552 มีมูลค่าประมาณ 28,600 ล้านบาท (1)

อย่างไรก็ตามแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซิงจะให้สมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม และมีความยืดหยุ่นสูงแต่สมบัติเหนียวติด (Tack) และมีความเสียดทานสูงทำให้การสวมใส่ถุงมือไม่สะดวกและเป็นเรื่องยุ่งยากเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้งานถุงมือที่เตรียมจากน้ำยางสังเคราะห์เช่น น้ำยางไนไตรล์ ทำให้เป็นข้อจำกัดของถุงมือที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโดยเฉพาะสำหรับถุงมือประเภทถุงมือตรวจและถุงมือผ่าตัด ทำให้นิยมใช้ผงแป้ง (Powder talc) หรือแป้งข้าวโพดเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างฟิล์มของถุงมือกับผิวของผู้ใช้ อย่างไรก็ตามมีรายงานพบว่าแป้งดังกล่าวมีผลเสียหลายประการเช่น เป็นสาเหตุของการอักเสบของแผลผ่าตัด (2) ดังนั้นจึงมีความพยายามเตรียมถุงมือไร้แป้งขึ้น โดยผ่านกระบวนการฮาโลเจนชัน ซึ่งตัดแปรรวมโมเลกุลของยางธรรมชาติด้วยก๊าซฮาโลเจน แต่อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวจะทำให้ถุงมือแข็งเปราะ ไม่ยืดหยุ่น และมีสีคล้ำลง ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งาน การเตรียมถุงมือไร้แป้งโดยใช้พอลิเมอร์เคลือบบนถุงมือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากแก้ปัญหาการเหนียวติดกัน และลดความเสียดทานของถุงมือได้เช่นกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีอะคริเลตเป็นองค์ประกอบ เช่น ยางธรรมชาติ โพรตีนต่ำกับฟด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต (DPNR-g-PMMA) (3) ไฮโดรเจลที่เตรียมจาก 80% ไฮดรอกซิลเอทิลเมทาคริเลตและ 20% บิวทิล อะคริเลต (80%HEMA/20%BA) (4) Polyethyleneimine-functionalized poly(methyl methacrylate) (5) อะคริลิกอิมันชัน (6) พอลิเมอร์ประเภทอื่น เช่น บล็อกโคพอลิเมอร์ของสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน (7)

นอกจากนี้พอลิยูรีเทนนิยมนำมาเป็นสารเคลือบผิว

ใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถเตรียมในรูปน้ำยางได้ ให้สมบัติการยึดติดกับผิวของถุงมือที่ดี สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ สมบัติเชิงกลดี มีความยืดหยุ่น และไม่มีผลข้างเคียงกับเนื้อเยื่อ อย่างไรก็ตามกระบวนการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนสำหรับเคลือบถุงมือเป็นความรู้ที่ค่อนข้างปกปิดในวงอุตสาหกรรม และมีการเผยแพร่ในรูปสิทธิบัตร (8, 9)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน ศึกษาสมบัติของน้ำยาง แล้วนำน้ำยางพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้ไปเคลือบลงบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ได้จากการจุ่ม ซึ่งอาจเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการเหนียวติดกันของถุงมือโดยไม่ใช้แป้ง และเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถจะพัฒนาหรือปรับปรุงสมบัติของถุงมือยางธรรมชาติให้ได้ถุงมือยางที่มีคุณภาพดีขึ้น

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน

เตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิคการผสมแบบพรีพอลิเมอร์ (10) ที่อุณหภูมิห้อง โดยจะทำการแปรปริมาณกรดไดเมทิลอลดีโพรพอโนนิก (Dimethylol propionic acid, DMPA) ที่ระดับ 0.35, 0.40, 0.45 และ 0.50 โมลต่อโมลของพอลิอล มีการควบคุมให้มีอัตราส่วนโดยโมลของพอลิอลต่อไดเอทานอลามีน (Diethanolamine, DEOA) เท่ากับ 0.75 : 1.25 มีปริมาณของแข็งในน้ำยาง (Total solid content, TSC) เท่ากับ 40% และ TDI Index เท่ากับ 100 โดยใช้พอลิเอเทอร์พอลิอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 2,000 (Polyether polyol, OH value = 55.52) ดังตารางที่ 1 เริ่มโดยการนำ DMPA มาละลายในเมทิลไพโรลิโดน (1-methyl-2-pyrrolidone) แล้วเติมลงไปจนถึงปฏิกิริยาที่มีพอลิเอเทอร์พอลิอล และสารตัวเร่งไดบิวทิลดีนไดลอเรต (Dibutyltin dilaurate, DBTL) 0.07% ของพอลิอลที่ใช้ กวนด้วยความเร็วรอบ 180 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ณ อุณหภูมิห้อง ลดความเร็วลงเหลือ 60 รอบ/นาที แล้วเติมโทลูอีนไดไอโซไซยานเนต (Toluene diisocyanate, TDI) ลงในถังปฏิกิริยากวนต่อไปอีกประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงปรับความเร็วรอบเพิ่มเป็น 500 รอบ/นาที แล้วเติม 25 % V/V

ไตรเอทิลเอมีน (Triethylamine, TEA) ในเมซิลไพโรลิโดนเป็นเวลา 3 นาที แล้วเติมน้ำอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจึงเติม DEOA และปรับความเร็วรอบลดลงเหลือ 160 รอบ/นาที เพิ่มน้ำเพื่อปรับปริมาณของแข็งให้เท่ากับ 40% แล้วปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปอีก 15 นาที หลังจากนั้นนำน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ได้ไปวิเคราะห์หาความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง ความตึงผิว ตามมาตรฐาน ASTM D 1417-80 และขนาดอนุภาคเฉลี่ย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค Coulter LS 230 (สามารถวัดขนาดอนุภาคในช่วง 0.04 – 2,000 ไมครอน)

## 2.2 การเตรียมน้ำยางคอมปอด์อย่างธรรมชาติ

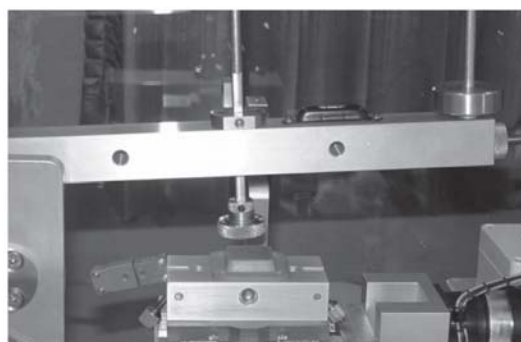
นำน้ำยางธรรมชาติมาผสมกับสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 2 กวนด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที ใช้ระยะเวลาบ่มน้ำยาง 2 วัน และนำน้ำยางคอมปอด์ที่ได้มาใช้ต่อไป

## 2.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มจากน้ำยางพอลิยูรีเทน

นำน้ำยางพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มาทลงบนเบ้ากระจกขนาด 1010×0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 48 ชั่วโมง แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 120 °C จนแห้ง แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นั้นนำแผ่นฟิล์มที่ได้มานำมาทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ตามมาตรฐาน ASTM D 412-99 และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งได้จากเครื่องทดสอบความเสียดทาน ซึ่งสามารถทดสอบได้ 2 แบบ คือแบบลูกยางครึ่งทรงกลม (รูปที่ 1(ก)) และแบบขางร่องรับสี่เหลี่ยมจัตุรัส (รูปที่ 1(ข))



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (ก) แบบครึ่งวงกลม และ (ข) แบบทรงสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทน

| Chemicals/Weight(g) | DMPA content (mol : mol of polyol) |        |        |        |
|---------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|
|                     | 0.35                               | 0.40   | 0.45   | 0.50   |
| Polyol              | 131.89                             | 130.90 | 129.93 | 128.97 |
| DMPA                | 4.08                               | 4.63   | 5.17   | 5.70   |
| TDI                 | 36.41                              | 36.90  | 37.39  | 37.87  |
| TEA                 | 3.23                               | 3.67   | 4.09   | 4.51   |
| Pyrolidone          | 13.77                              | 15.65  | 17.44  | 19.23  |
| Water               | 253.0                              | 250.68 | 248.47 | 246.27 |
| DEOA                | 7.62                               | 7.56   | 7.51   | 7.45   |

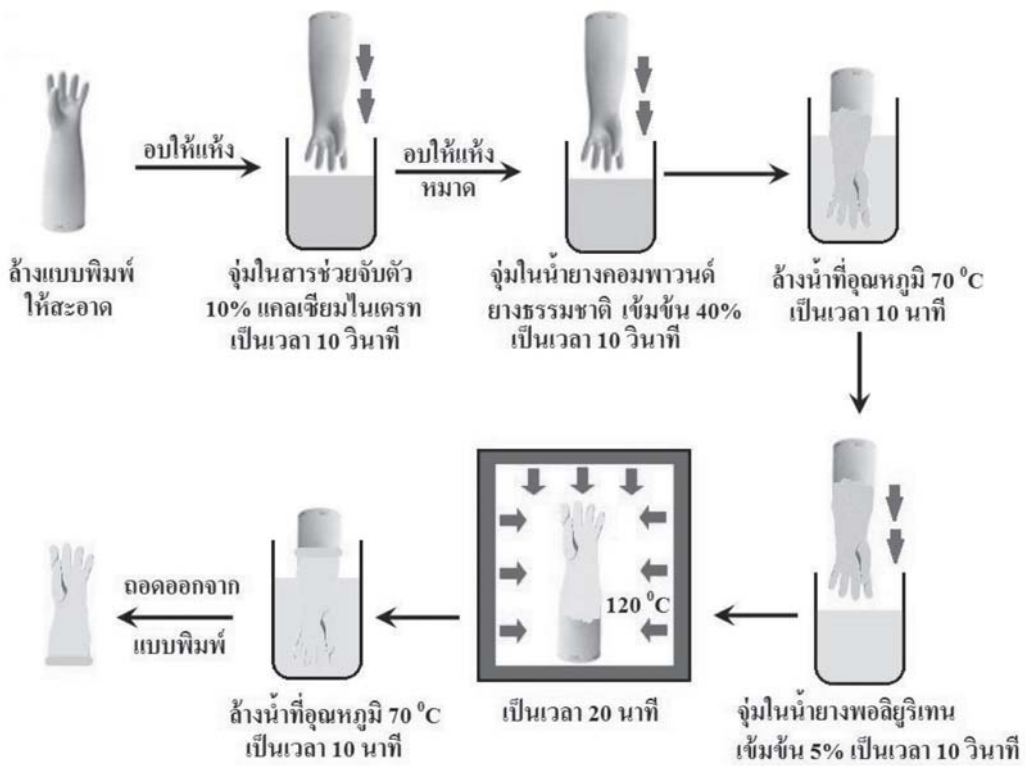
ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปาด์ยางธรรมชาติ

| Chemicals             | Wet weight (กรัม) |
|-----------------------|-------------------|
| 60% HA latex          | 167.0             |
| 50% Zinc oxide        | 3.0               |
| 50% Sulphur           | 3.5               |
| 50% ZDEC              | 2.0               |
| 50% TMTD              | 0.5               |
| 50% Wingstay L        | 1.5               |
| 20% Potassium laurate | 3.0               |
| 10% KOH               | 2.0               |
| Water                 | 83.0              |

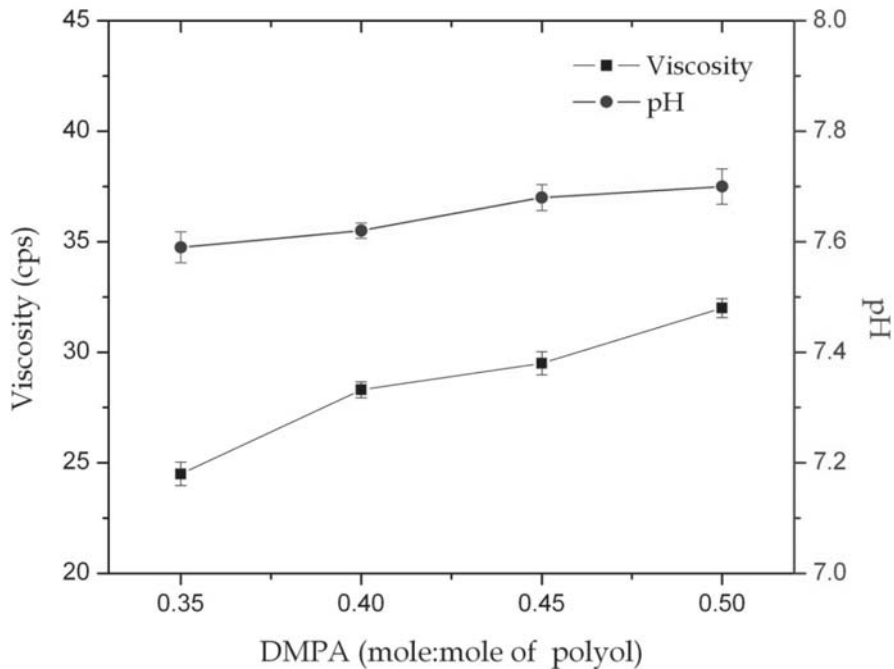
หมายเหตุ ปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดเท่ากับ 40%

2.4 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทน

นำน้ำยางพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้มาลดปริมาณของแข็งให้เหลือ 5% โดยวิธีการเติมน้ำกลั่น โดยมีขั้นตอนในการเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนดังแสดงในรูปที่ 2 แล้วนำแผ่นฟิล์มไปทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด สมบัติหลังการบ่มเร่ง ตามมาตรฐาน ASTM D 573-99 และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยทดสอบแบบลูกยางครึ่งทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 2 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน



รูปที่ 3 ปริมาณของ DMPA ต่อความหนืดและความกรดต่างของน้ำยางพอลิยูรีเทน

### 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

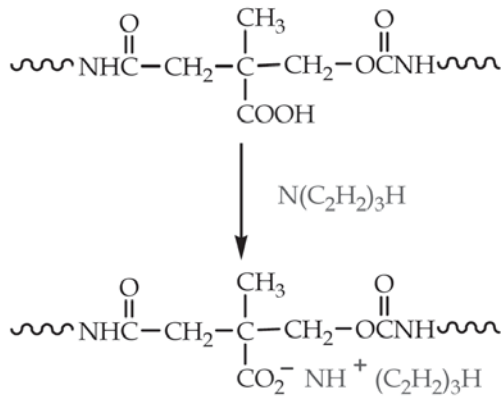
#### 3.1 สมบัติของน้ำยางพอลิยูรีเทน

เมื่อใช้ปริมาณ DMPA เพิ่มขึ้น ความหนืด และความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางพอลิยูรีเทนจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nanda และคณะ (2005) (11) และ Rahman และคณะ (2006) (12) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการเพิ่มปริมาณ DMPA มากขึ้นจะทำให้มีหมู่คาร์บอกซิลิกในโครงสร้างของพอลิยูรีเทนที่ได้เพิ่มขึ้น ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนได้มีการกำหนดให้ได้มีการใช้ TEA เพื่อใช้ปรับหมู่คาร์บอกซิลิกที่อยู่ใน DMPA ให้เกิดเป็นเกลือคาร์บอกซิลแบบ 100% ซึ่งจะที่หน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ดังรูปที่ 4

พอลิยูรีเทนพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอออนิกมากขึ้น หลักจากปฏิกิริยาระหว่างของหมู่คาร์บอกซิลิก กับ TEA ทำให้พอลิยูรีเทนมีความเป็นขั้วมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเล็กลง และยังมีผลให้ชั้นของไอออนิก ล้อมรอบอนุภาคนั้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาตรไฮโดรไดนามิก (hydrodynamic volume) มากขึ้น เป็นผลให้ความหนืดของน้ำยางพอลิยูรีเทนเพิ่มสูงขึ้น (11, 12) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4

นอกจากนี้ Lee และคณะ (1997) (13) Lee และ Kim (2009) (14) และ Garca-Pacios และคณะ (2011) (15) ยังศึกษาพบว่า การเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ และอัตราส่วนระหว่างพอลิออกไซด์ ไอโซไซยานเนต จะส่งผลให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และสารละลาย TEA มีฤทธิ์เป็นด่างอีกทั้งยังมีการใช้ปริมาณที่มากเกินไปอีก 5% เพื่อให้มันใจว่าหมู่คาร์บอกซิล (-COO-) ถูกปรับให้อยู่ในรูปของอิมัลซิไฟเออร์ทั้งหมด จึงส่งผลให้น้ำยางพอลิยูรีเทนมีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4 การเพิ่มปริมาณ DMPA จะส่งผลให้แรงดึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทน และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางพอลิยูรีเทน มีแนวโน้มลดลงดังรูปที่ 5 ทั้งนี้เพราะว่า DMPA เมื่อถูกปรับสภาพให้เป็นกลางแล้วจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ แล้วจึงจะลดความดึงผิวของน้ำอีกด้วย ส่งผลให้แรงดึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทนลดลง ซึ่งนอกจากทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้พรีพอลิเมอร์กระจายตัวในน้ำได้มากขึ้น และน้ำยางพอลิยูรีเทนที่ได้มีความเสถียรเพิ่มขึ้น การที่เม็ดอนุภาคจะเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่เกิดได้ลดลง ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางลดลง นอกจากนี้ Kim และคณะ (1994) (16) และ Yang และคณะ (1997)

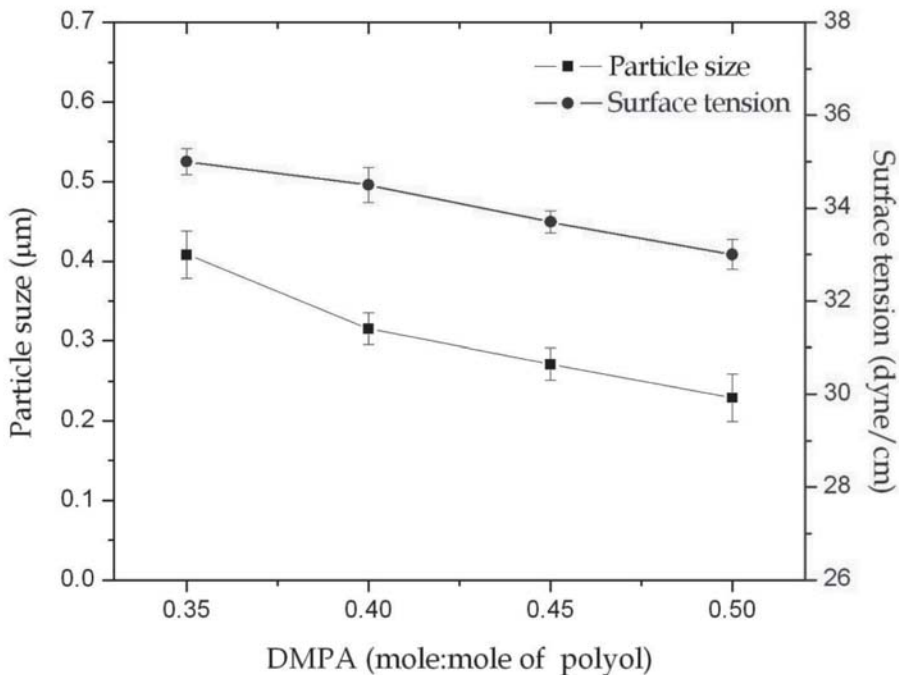
(17) ยังพบว่าอัตราส่วนผสมของพอลิโออลระหว่างพอลิโพรไพลีนไกลคอล (Polypropylene glycol, PPG) และพอลิเตตระเมททีลีน อีเทอร์ ไกลคอล (Polytetramethylene ether glycol, PTMG) ส่งผลต่อขนาดอนุภาคของน้ำยางพอลิยูรีเทนด้วยเช่นกัน โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ PPG และน้ำหนักโมเลกุลของ PTMG จะให้ขนาดอนุภาคของน้ำยางพอลิยูรีเทนลดลง



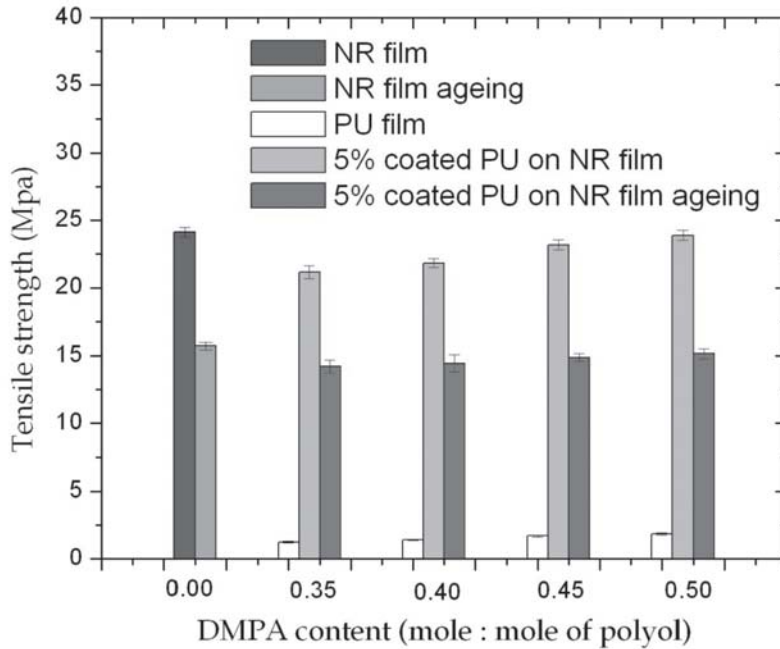
รูปที่ 4 ปฏิกิริยาสะเทินหมู่กรดคาร์บอกซิลิกด้วยเอมีนตติยภูมิ

3.2 สมบัติของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเมื่อเคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน (2)

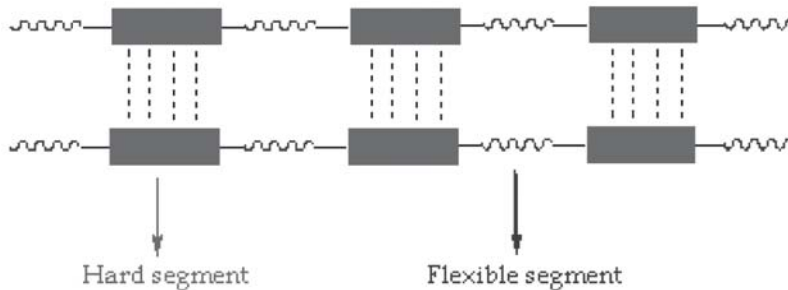
ผลของปริมาณ DMPA ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณของแข็ง 5% จะพบว่าเมื่อใช้ปริมาณ DMPA เพิ่มขึ้นความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มน้ำยางพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 ทั้งนี้จะเป็นเพราะว่า DMPA นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้พอลิยูรีเทนพรีพอลิเมอร์กระจายตัวในน้ำแล้วยังเป็นตัวขยายสายโซ่ได้อีกด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มการเชื่อมโยงของหมู่ยูรีเทน (Urethane linkage) ที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยานตและสายขยายสายโซ่โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มมาก (18, 19) ดังรูปที่ 7 (20, 21)



รูปที่ 5 ปริมาณของ DMPA ต่อขนาดอนุภาคและแรงดึงผิวของน้ำยางพอลิยูรีเทน



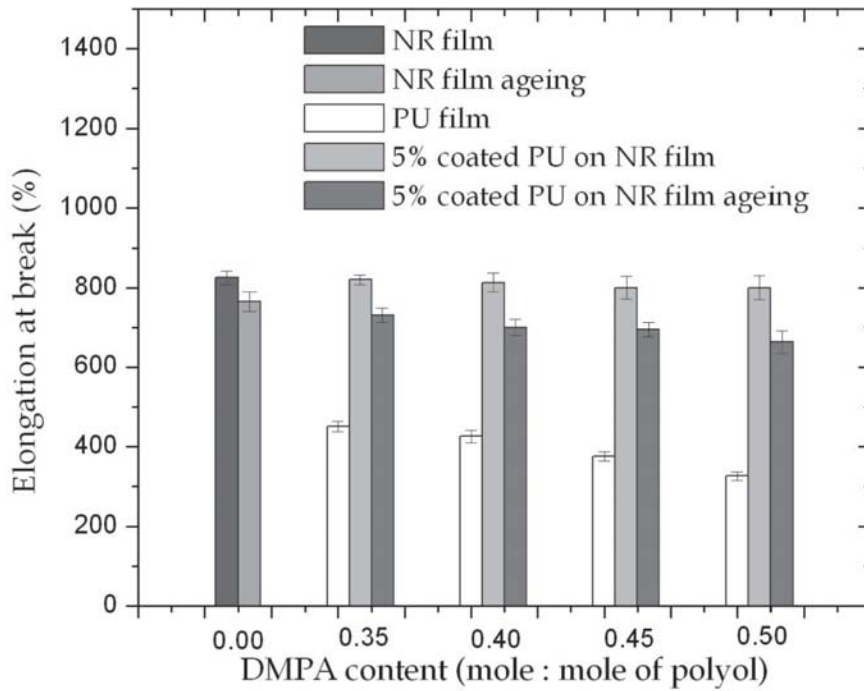
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงต่อปริมาณ DMPA



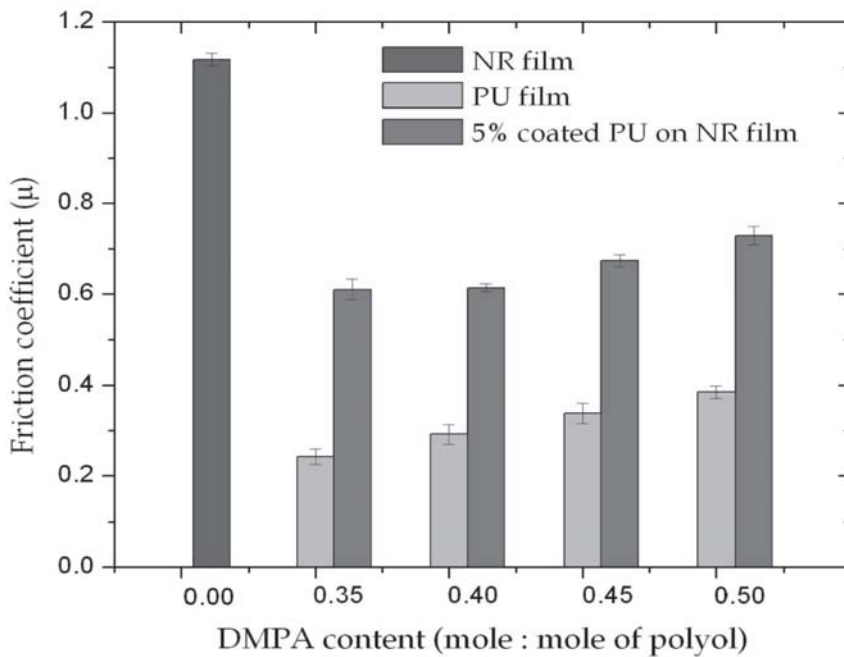
รูปที่ 7 โครงสร้างของส่วนแข็งและส่วนยืดหยุ่นของพอลิยูรีเทน

พอลิเมอร์ที่ได้มีปริมาณของส่วนที่แข็งเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้แรงดึงระหว่างสายโซ่ของพอลิยูรีเทนเพิ่มสูงขึ้น ให้แผ่นฟิล์มมีความต้านทานสูงขึ้น แต่ระยะยืดจนขาดจะลดลงดังรูปที่ 8 ทั้งนี้เชื่อว่าการมีปริมาณส่วนที่แข็งเพิ่มขึ้น ทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นน้อยลง นอกจากนี้ทำให้แผ่นฟิล์มน้ำยางพอลิยูรีเทนมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 9 อาจเนื่องจากมีผลของความเสียดทานภายใน (internal friction) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบกับไม่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนจะพบว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่เคลือบจะมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มีความต้านทานต่อแรงดึง

ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติมากโดยประมาณ 94% และระยะยืดจนขาดก็ตกลงประมาณ 52% ส่งผลให้เมื่อนำไปเคลือบบนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติทำให้สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงตกลงประมาณ 6.7% และระยะยืดจนขาดตกลงเล็กน้อยประมาณ 2% แต่แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงได้มากถึงประมาณ 41% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าสมบัติทางโครงสร้างของพอลิยูรีเทนมีระดับความแข็ง (Rigidity) และมีความเป็นระเบียบภายในสายโซ่โมเลกุลมากกว่ายางธรรมชาติจึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มที่เคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทน

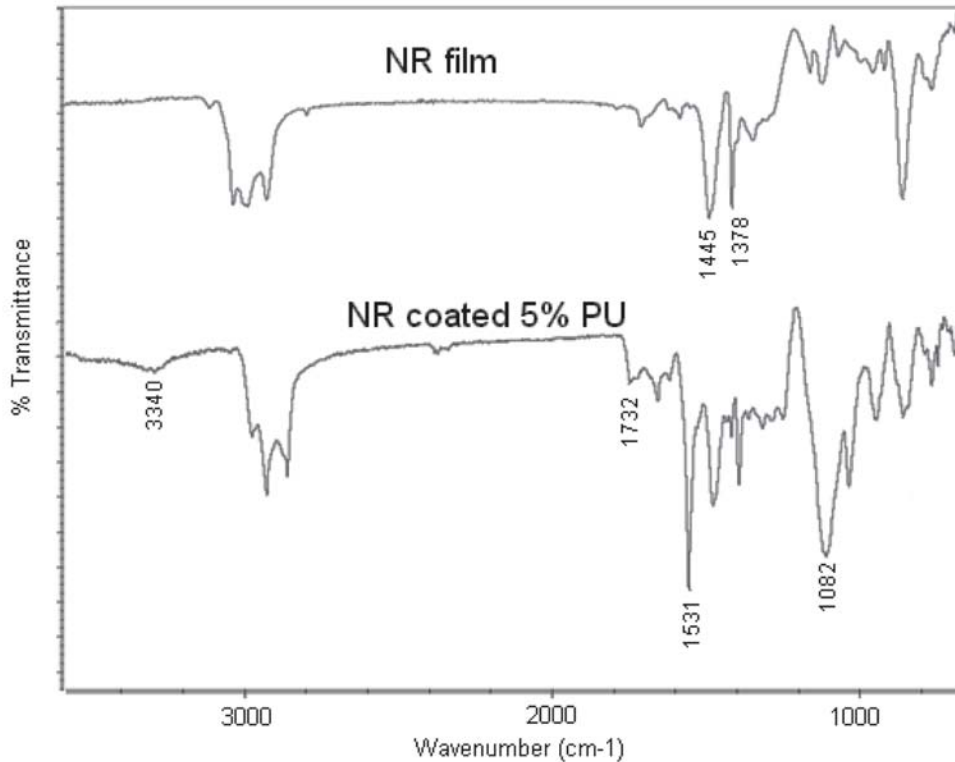


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อระยะยืดจนขาดต่อปริมาณ DMPA



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อปริมาณ DMPA





รูปที่ 10 FT-IR สเปกตรัมของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนก่อนและหลังบ่มเร่งด้วยอากาศ จะพบว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนหลังบ่มเร่งจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงตกลงประมาณ 35% และระยะยืดจนขาดลดต่ำลงประมาณ 14% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดการเสื่อมด้วยอากาศร้อนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติและแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทน จึงส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มตกลง และยังส่งผลให้ผิวของแผ่นฟิล์มหลังบ่มเร่งเหนียววกาก่อนบ่มเร่งมาก ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มหลังบ่มเร่ง เมื่อทำการเคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติด้วยน้ำยางพอลิยูรีเทนแล้ว ได้มีการยืนยันผลทางวิทยาศาสตร์ว่ามีแผ่นฟิล์มยางพอลิยูรีเทนเกาะอยู่บนผิวยางธรรมชาติ โดยการนำแผ่นฟิล์มที่ได้ทำการเคลือบนี้ไปหา IR-Spectrum โดยใช้เทคนิคแบบ Attenuated Total Reflectance (ATR) ดังรูปที่ 10

แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณของแข็ง 5% จะปรากฏสัญญาณใหม่ที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันยูรีเทนได้แก่ ที่ความยาวคลื่นในช่วง  $1531 \text{ cm}^{-1}$  และ  $3340 \text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่อไมด์ (N-H) และความยาวคลื่นในช่วง  $1732 \text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (C=O) และที่ความยาวคลื่น  $1082 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงถึงหมู่อีเทอร์ในพอลิอีเทอร์พอลิออล (C-O-C) ซึ่งช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้จะไม่พบในแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ เป็นการยืนยันให้เห็นว่าน้ำยางพอลิยูรีเทนเกิดการเคลือบบนผิวของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

#### 4. สรุป

เมื่อปริมาณของกรดโคเมทิลอลโพรพิออนิกที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น จะให้น้ำยางพอลิยูรีเทนมีความหนืดและความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น แต่ขนาดอนุภาคของน้ำยางพอลิยูรีเทนและความตึงผิวมีแนวโน้ม

ลดลง และจะให้แผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนมีความต้านทานต่อแรงดึงและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มลดลง และเมื่อนำน้ำยางพอลิยูรีเทนมาเคลือบแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ส่งผลให้แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทน มีสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดจนขาดตกลงแต่จะลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มลงอย่างมาก สมบัติภายหลังการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติทั้งแบบที่เคลือบและไม่เคลือบน้ำยางพอลิยูรีเทนจะมีค่าต่ำกว่าแผ่นฟิล์มก่อนบ่มเร่งในทุกกรณี

## 5. เอกสารอ้างอิง

- (1) Rubber Information Centre. Rubber Statics of Thailand; Table 8 : Exports of rubber products in Thailand. Rubber Research Institute of Thailand. Department of Agriculture, 2009. [updated 2009; cited, 5 Dec 2012]; Available from: [http://www.rubbercenter.org/informationcenter/static/stat\\_thai.html#8](http://www.rubbercenter.org/informationcenter/static/stat_thai.html#8) Thai.
- (2) Tomazic VJ, Champaine EL, Lamanna A, Withrow TJ, Adkinson Jr NF, Hamilton RG. Cornstarch powder on latex products is an allergen carrier. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 1994;93(4):751-8.
- (3) Kovuttikulrangsie S, Sahakaro K, Intarakong C, Klinpituksa P. PMMA blended and DPNR-g-PMMA coated DPNR and NR-LA for dipping applications. *Journal of Applied Polymer Science*. 2004;93(2):833-44.
- (4) Ratnam CT, Yoshii F, Makuuchi K, Zaman K. Hydrogel coating of RVNRL film by electron-beam irradiation. *Journal of Applied Polymer Science*. 1999;72(11):1421-8.
- (5) Duangphet S, Jenjob S, Sunintaboon P, Rattanasom N, Thanawan S. Physico-mechanical properties of natural rubber sheets coated by polyethyleneimine-functionalized poly (methyl methacrylate) nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*. 2012;124(1):49-57.
- (6) Artchompoo J. Preparation of Powder-Free Gloves by Acrylic Emulsion Coating [Master degree]: Prince of Songkla University; 2002.
- (7) Suwansunk K. Preparation of Powder Free Gloves by Block Copolymer Coating: Prince of Songkla University; 2002.
- (8) Plamthottam S, inventor; A process for making a glove having a polyurethane coating patent WO 96/23643. 1996 8 August 1996.
- (9) Yeh Y-ST, inventor; Power free gloves having a coating containing corss-linked polyurethane and silicone and method of making the same patent US 6347408 B1. 2002 Feb. 19, 2002.
- (10) Dieterich D. Aqueous emulsions, dispersions and solutions of polyurethanes; synthesis and properties. *Progress in Organic Coatings*. 1981;9(3):281-340.
- (11) Nanda AK, Wicks DA, Madbouly SA, Otaigbe JU. Effect of ionic content, solid content, degree of neutralization, and chain extension on aqueous polyurethane dispersions prepared by prepolymer method. *Journal of Applied Polymer Science*. 2005;98(6):2514-20.
- (12) Rahman MM, Kim H-D. Synthesis and characterization of waterborne polyurethane adhesives containing different amount of ionic groups (I). *Journal of Applied Polymer Science*. 2006;102(6):5684-91.
- (13) Lee SY, Lee JS, Kim BK. Preparation and Properties of Water-borne Polyurethanes. *Polymer International*. 1997;42(1):67-76.
- (14) Lee SK, Kim BK. High solid and high stability waterborne polyurethanes via ionic groups in soft segments and chain termini. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2009;336(1):208-14.
- (15) Garça-Pacios V, Costa V, Colera M, Martín-Martínez JM. Waterborne polyurethane dispersions obtained with polycarbonate of hexanediol intended for use

- as coatings. *Progress in Organic Coatings*. 2011;71(2):136-46.
- (16) Kim BK, Lee JC, Lee KH. Polyurethane Anionomer Dispersion from Ether-Type Polyols and Isophorone Diisocyanate. *Journal of Macromolecular Science, Part A*. 1994;31(9):1241-57.
- (17) Yang C-H, Li Y-J, Wen T-C. Mixture Design Approach to PEG<sup>o</sup>PPG<sup>o</sup>PTMG Ternary Polyol-Based Waterborne Polyurethanes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1997;36(5):1614-21.
- (18) Kim BK, Lee JC. Waterborne polyurethanes and their properties. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 1996;34(6):1095-104.
- (19) Pérez-Limiñana MA, Arán-Aís F, Torró-Palau AM, Characterization of waterborne polyurethane adhesives containing different amounts of ionic groups. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2005;25(6):507-17.
- (20) Tip G, Watson VJ. *Polymeric Surfaces for Sports and Recreation*. London: Applied Science Publishers Ltd.; 1982. 10-4 p.
- (21) Wirpsza Z. *Polyurethanes: Chemistry, Technology and Applications*. New York,; Ellis Horwood; 1993.