# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย

## 5.1 สรุป

### 5.1.1 การเคลือบถุงมือด้านเดียวด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633

อัตราส่วนของ NeoCryl A-45 ต่อ NeoCryl A-633 ที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบ คือ 3:1 เนื่องจากพอลิเมอร์เคลือบมีความตึงผิวสูง เคลือบติดกับยางธรรมชาติได้ดี ไม่เกิดการแยกชั้นและหลุดลอกขณะดึง และให้ถุงมือเคลือบมีเปอร์เซ็นต์การยืดขาดสูงที่สุด และถุงมือเคลือบมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำคล้ายถุงมือแป้ง

การเพิ่มปริมาณไดเมทิลไซลอกเซนในสารเคลือบทำให้ความตึงผิวของสารเคลือบลดลง การติดผิวยางเกิดได้ยากขึ้น แต่การใช้ในปริมาณไม่เกิน 20% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ช่วยให้การกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์เคลือบบนผิวยางเกิดได้ดี ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ในถุงมือเคลือบลดต่ำลง และมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 36.61 μg/g เมื่อใช้ไดเมทิลไซลอกเซน 20% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ และการใช้ไดเมทิลไซลอกเซนทำให้ความแข็งของชั้นพอลิเมอร์เคลือบลดลง ถุงมือเคลือบยืดได้มากขึ้น ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 500% ลดลง และความต้านทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดขาดเพิ่มขึ้น และปริมาณของไดเมทิลไซลอกเซนที่ศึกษา คือ 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ให้สมบัติเชิงฟิสิกส์ของถุงมือผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3577 และ D 3578 ปริมาณไดเมทิลไซลอกเซนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10-20% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์

ความตึงผิวของพอลิเมอร์เคลือบและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเคลือบลดลงมากในช่วงความเข้มข้นพอลิเมอร์เคลือบ 2-6% โดยน้ำหนัก และลดลงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นพอลิเมอร์เคลือบเกิน 6% โดยน้ำหนัก และโมดูลัสที่ระยะยืด 500% และความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นสารเคลือบ และลดลงเมื่อความเข้มข้นสารเคลือบเกิน 10% และ 8% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดขาดมีค่าสูงสุดในช่วงความเข้มข้น 6-8% โดยน้ำหนัก และลดลงเมื่อความเข้มข้นพอลิเมอร์เคลือบเกิน 10% โดยน้ำหนัก

การบ่มเร่งทำให้ถุงมือยางและชั้นพอลิเมอร์เคลือบเสื่อมสภาพ ถุงมือเคลือบหลังการบ่มเร่งมีโมดูลัสที่ระยะยืด 500% และความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

พอลิเมอร์เคลือบที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้สามารถใช้เคลือบถุงมือที่ผลิตจากคอมปาวด์ของโรงงานได้ดี ให้ถุงมือมีความลื่นมากกว่าถุงมือที่เตรียมในการทดลองเล็กน้อย และสมบัติเชิงฟิสิกส์ก่อนและหลังการบ่มเร่ง ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3577 และ D3578

การล้างถุงมือเคลือบสองครั้งทั้งก่อนและหลังการเคลือบ สามารถลดปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้มากกว่าการล้างเพียงครั้งเดียว แต่ทำให้ประสิทธิภาพการแผ่กระจายของพอลิเมอร์เคลือบบนผิวยางลดลง

การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์เคลือบพบว่า สูตรที่ให้สมบัติด้านการเคลือบและถุงมือหลังเคลือบดีที่สุด มีค่า pH เท่ากับ 9.7 มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.117 μm. มีค่า Tg ของพอลิเมอร์กลุ่มอะคริเลท ที่ 0.88 °C, 27.24 °C และ 54.25 °C และของพอลิสไตรีน ที่ 90.10 °C และมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของพอลิเมอร์หลัก คือ พอลิเมอร์กลุ่มอะคริเลท, พอลิสไตรีน และไดเมทิลไซลอกเซน

### 5.1.2 การเคลือบถุงมือสองด้านด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 และ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51

#### 5.1.2.1 อัตราส่วนของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51

อัตราส่วนที่เหมาะสม NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 คือ 3:1 เนื่องจากให้สารเคลือบมีความตึงผิวสูงและความหนืดต่ำ สามารถเคลือบติดผิวแบบพิมพ์ได้ดีที่สุด ถุงมือเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำประมาณ 0.37 และสมบัติเชิงฟิสิกส์ของถุงมือเคลือบมีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วน 2:1 และ 1:1

#### 5.1.2.2 ปัจจัยต่างๆ ในการเคลือบ

สารรักษาความเสถียรที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 และ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 คือ Terric 16A29, Terric N30 และ AD33 โดยปริมาณที่เหมาะสม คือ 2% และ 3% โดยน้ำหนัก สำหรับการเคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 และ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ตามลำดับ

AD33 ให้ความตึงผิวของสารเคลือบต่ำที่สุด และปริมาณสารช่วยจับตัวไม่ค่อยมีผลต่อความตึงผิวของสารเคลือบที่ใช้ AD33 ในขณะที่ Terric 16A29 และ Terric N30 ให้ความตึงผิวของระบบใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารช่วยจับตัว

ความหนาของถุงมือเคลือบเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยางคอมปาวด์และปริมาณสารช่วยจับตัวน้ำยาง ความเข้มข้นน้ำยางคอมปาวด์ 30% ให้ถุงมือมีความหนาสม่ำเสมอมากที่สุด รองลงมา คือ 40% และ 50% ตามลำดับ และอัตราส่วนของสารช่วยจับตัวที่เหมาะสม คือ $Ca(NO_3)_2$ ต่อ $CaCl_2$ เท่ากับ 10:10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยสารเคลือบที่ใช้ Terric 16A29 ให้ถุงมือเคลือบหนาที่สุด รองลงมา คือ Terric N30 และ AD33 ตามลำดับ

5.1.2.3 **ความเข้มข้นสารเคลือบ**

สารเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มีความหนืดสูง ความเข้มข้นของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ความตึงผิวของสารเคลือบลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ความตึงผิวของสารเคลือบ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ลดลงอย่างมาก ในช่วงความเข้มข้น 2-3% และลดลงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นสารเคลือบเกิน 3% โดยน้ำหนัก

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดลดลงตามความเข้มข้นสารเคลือบ โดยถุงมือเคลือบที่ใช้ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่า NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 เล็กน้อย คือ 0.37 และ 0.31 ตามลำดับ

การเคลือบสองด้านทำให้ชั้นพอลิเมอร์เคลือบหนาขึ้น สมบัติเชิงพิสิกส์ของถุงมือเคลือบขึ้นอยู่กับชั้นพอลิเมอร์เคลือบมากขึ้น สมบัติเชิงฟิสิกส์ของถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3577 และ D3578

- โมดูลัสที่ระยะยืด 500% ของถุงมือเคลือบสองด้านมีค่าสูงกว่าถุงมือเคลือบด้านเดียว และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารเคลือบ และมีค่าสูงสุดเมื่อสารเคลือบมีความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนัก และโมดูลัสที่ระยะยืด 500% ของถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มีค่าสูงกว่าถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 และหลังการบ่มเร่งโมดูลัสที่ระยะยืด 500% ของถุงมือทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น

- ความต้านทานต่อแรงดึงของถุงมือเคลือบสองด้านมีค่าต่ำกว่าถุงมือเคลือบด้านเดียว โดยถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 และถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำสุดที่ความเข้มข้นสารเคลือบ 2% โดยน้ำหนัก แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเมื่อความเข้มข้นสารเคลือบเท่ากับ 4% โดยน้ำหนัก ในขณะที่ถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ความต้านทานต่อแรงดึงลดลงตาม

ความเข้มข้นสารเคลือบ และหลังการบ่มเร่งถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดมีความต้านทานต่อแรงดึงใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับถุงมือที่เคลือบด้านเดียว

- เปอร์เซ็นต์การยืดขาดของถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 มีค่าสูงกว่าถุงมือของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 เล็กน้อย และเปอร์เซ็นต์การยืดขาดหลังการบ่มเร่งของถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดมีค่าลดลง

ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ในถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มีค่าสูงกว่าในถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 และปริมาณโปรตีนในถุงมือทั้งสองชนิดมีค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นสารเคลือบ 3% โดยน้ำหนัก โดยให้ปริมาณโปรตีน 48.74 μg/g และ 30.84 μg/g ตามลำดับ

5.1.2.4 **ชนิดของสารรักษาความเสถียร**

Terric 16A29 ให้ความหนืดของสารเคลือบทั้งสองชนิดสูงที่สุด รองลงมา คือ Terric N30 และ AD33 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ที่ใช้ Terric 16A29 มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุด รองลงมา คือ Terric N30 และ AD33 โดยสารรักษาความเสถียรทั้งสามชนิดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอยู่ในช่วง 0.32-0.42 ในขณะที่ถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ที่ใช้ AD33 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุด รองลงมา คือ Terric 16A29 และ Terric N30 ตามลำดับ และให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเคลือบอยู่ในช่วง 0.35-0.41

สมบัติเชิงฟิสิกส์ของถุงมือเคลือบที่ใช้ Terric 16A29, Terric N30 และ AD33 ในถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ให้ค่าใกล้เคียงกัน ส่วนถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ให้ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 500% ใกล้เคียงกัน แต่ความต้านทานต่อแรงดึงของถุงมือที่ใช้ Terric 16A29 กับ Terric N30 มีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าที่ใช้ AD33

ถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ที่ใช้ Terric 16A29 ให้ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ต่ำกว่าที่ใช้ Terric N30 และ AD33 เล็กน้อย ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ที่ได้อยู่ในช่วง 30-40 μg/g ซึ่งต่ำกว่าถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ที่ใช้สารรักษาความเสถียรทั้งสามชนิด ซึ่งให้ปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 48-55 μg/g

5.1.2.5 **อุณหภูมิของสารเคลือบ**

การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 40-60 °C มีผลต่อการกระจายตัวของสารเคลือบบนผิวยาง ถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.29 เมื่อเคลือบที่อุณหภูมิ 60 °C ส่วนถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำสุดเท่ากับ 0.37 เมื่อเคลือบที่อุณหภูมิ 40 °C

การเพิ่มอุณหภูมิสารเคลือบให้ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 500% ความต้านทานต่อแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดขาดของถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีค่าสูงสุดเมื่อเคลือบถุงมือที่อุณหภูมิ 50 °C และถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดที่เคลือบในช่วงอุณหภูมิ 40-60 °C ให้สมบัติเชิงฟิสิกส์ของถุงมือเคลือบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3577 และ D3578

5.1.2.5 **การบ่มสารเคลือบ**

การบ่มสารเคลือบที่ 50°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนการเคลือบ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ลดลงโดย AD33 ให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเคลือบลดลงมากที่สุด ส่วนการบ่มสารเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดที่บ่มสารเคลือบก่อนการเคลือบมีค่าไม่เกิน 0.4

การบ่มสารเคลือบไม่มีผลต่อความเสถียรของสารเคลือบ แต่ทำให้ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 500% ของถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การยืดขาดลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึงของถุงมือเคลือบไม่เปลี่ยนแปลง และถุงมือที่บ่มสารเคลือบก่อนการเคลือบทั้งสองชนิดให้สมบัติเชิงฟิสิกส์สูงสุด เมื่อใช้ Terric 16A29 เป็นสารรักษาความเสถียร

การบ่มสารเคลือบมีผลต่อการกระจายตัวของสารเคลือบ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มากกว่าสารเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ทำให้ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ในถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณโปรตีนในถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 ไม่เปลี่ยนแปลง

#### 5.1.2.6 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบ

การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบทั้งสองชนิด ไม่มีผลต่อความเสถียรของสารเคลือบแต่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสารช่วยจับตัวต่ำลง การใช้ในปริมาณมากทำให้ผิวถุงมือไม่สม่ำเสมอ และถอดถุงมือออกจากแบบพิมพ์ได้ยาก แต่การใช้ในปริมาณไม่เกิน 50% ของสารเคลือบ ในการเคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 และ 30% ของสารเคลือบ ในสารเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 ช่วยให้ถุงมือมีผิวแห้งและถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย โดยอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจะฝังอยู่ในชั้นพอลิเมอร์เคลือบ ทำให้หลุดออกจากผิวยางได้ยากขึ้น

ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบทำให้ความตึงผิวของ สารเคลือบและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดลดลง โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 และ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.28 และ 0.33 ตามลำดับ

การเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบทำให้ถุงมือเคลือบทั้งสองชนิด มีโมดูลัสที่ระยะยืด 500% เพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การยืดขาดลดลง โดยไม่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงของถุงมือที่เคลือบด้วย NeoCryl A-45 กับ NeoCryl A-633 แต่ทำให้ถุงมือเคลือบของ NeoCryl A-45 กับ NeoCryl XK-51 มีความต้านทานต่อแรงดึงก่อนการบ่มเร่งลดลงเล็กน้อย ส่วนหลังการบ่มเร่งความต้านทานต่อแรงดึงไม่แตกต่างกัน

การเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ในถุงมือเคลือบทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1 ศึกษาการเคลือบถุงมือหลังจากการอบแห้งและล้าง (leaching) โดยใช้สารช่วยเปียก (wetting agent) ชนิดต่างๆ ผสมในสารเคลือบ เพื่อช่วยให้การติดผิวของสารเคลือบบนผิวยางเกิดได้ดีขึ้น

5.2.2 ศึกษาการเคลือบผิวด้านในและด้านนอกของถุงมือ โดยใช้พอลิเมอร์เคลือบต่างชนิดกัน หรือชนิดเดียวกันแต่สัดส่วนของพอลิเมอร์เคลือบแตกต่างกัน