

# การเคลือบผิวผลิตภัณฑ์จากน้ำยางด้วยโพลีเมอร์

พร้อมศักดิ์ สงวนรัมย์จก

## บทนำ

การใช้แป้งข้าวโพด แคลเซียมคาร์บอเนต หรือทัลคัม เป็นสารกันติดสำหรับผลิตภัณฑ์จากน้ำยางได้มีการดำเนินการมานานแล้วในอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง และเป็นที่ยอมรับใช้เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตและเครื่องจักรได้ง่าย การควบคุมปริมาณแป้งสามารถทำได้ทั้งในเครื่องจุ่ม และการปั่นเอาแป้งออกในเครื่องปั่นหมุนแยกแป้ง (tumble machine) ซึ่งผลิตภัณฑ์จากน้ำยางต่างๆ เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ถุงนิ้ว ลูกโป่ง ต่างก็สามารถใช้กระบวนการผลิตเดียวกันนี้ในการผลิตได้ แต่จากปัญหาการแพ้โปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติทำให้มีการตื่นตัวเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางมากขึ้น มาตั้งแต่ช่วง พ.ศ. 2533 โดยมีรายงานว่า โปรตีนสามารถแพร่กระจายฟุ้งไปในอากาศโดยผ่านแป้งที่ใช้เป็นสารกันติดในถุงมือยาง ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ที่มีความไวต่อการแพ้โปรตีน ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางแบบไม่มีแป้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในช่วงแรกๆ ของการพัฒนาถุงมือไร้แป้ง คือ การทำปฏิกิริยาคลอรินเนชันที่ผิวของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังต้องมีการใช้แป้งในกระบวนการผลิตเพื่อช่วยป้องกันการติดกันของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการ หลังจากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์มาผ่านการปรับผิวด้วยปฏิกิริยาคลอรินเนชันภายในห้องที่แยกส่วนจากเครื่องจักรผลิต ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดแป้งที่ตกค้างบนผลิตภัณฑ์ และปรับผิวให้มีความลื่น สะดวกต่อการสวมใส่หรือใช้งาน อย่างไรก็ตามการปรับผิวของผลิตภัณฑ์ยางโดยทำปฏิกิริยาคลอรินเนชันนั้นมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ [1]

1. ระดับการเกิดปฏิกิริยาคลอรินเนชันในแต่ละครั้งจะควบคุมได้ยาก ทำให้เกิดความแตกต่างในแต่ละครั้งที่ผลิต นั่นคือทำให้คุณภาพไม่สม่ำเสมอ
2. การเพิ่มขึ้นขั้นตอนการผลิตหลังจากถุงมือถูกถอดออกจากเครื่องจักร (off line process) จะต้องทำปฏิกิริยาคลอรินเนชัน 2 ครั้ง คือ ด้านในและด้านนอก ซึ่งจะต้องใช้แรงงานคนในการกลับด้านของถุงมือ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง

อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการทำปฏิกิริยาคลอรินเนชันบนเครื่องจักรผลิตระหว่างการจุ่ม (on line process) ซึ่งในความเป็นจริงทำได้ยากกว่า เนื่องจากปัญหาในการออกแบบและเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา และยังพบปัญหาการกัดกร่อนของคลอรีนบนอุปกรณ์ของเครื่องจักรอย่างรุนแรง แม้ว่าจะมีการป้องกันและมีระบบถ่ายเทก๊าซที่ระเหยขึ้นมาก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาคิดดีพอ อย่างไรก็ตามด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ได้มีการออกแบบระบบบำบัดอากาศเสีย เช่น ระบบ wet scrubber ขึ้นมา เพื่อช่วยกำจัดก๊าซพิษ ลดปัญหาการกัดกร่อนและมลภาวะของไอระเหยที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทำให้การทำคลอรีนเนชันบนเครื่องจักรสามารถควบคุมได้ดีขึ้น แต่ต้องลงทุนเครื่องจักรที่มีราคาแพง

3. การทำปฏิกิริยาคลอรินเนชันจะทำให้ฟิล์มยางมีความแข็งแรงลดลงและเสื่อมสภาพได้ง่ายขึ้น ซึ่งการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นจะทำให้การสวมใส่ถุงมือทำได้ยากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมือเปียกชื้น และทำให้งูมติดกันในกล่องบรรจุ เช่น ถุงมือตรวจโรค ถุงนิ้ว ที่บรรจุในกล่องหรือถุงพลาสติก
4. ถุงมือที่ผ่านการทำปฏิกิริยาคลอรินเนชันจะมีสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของตลาด โดยเฉพาะถุงมือผ่าตัดที่ต้องการถุงมือสีขาวมากกว่าสีอื่นๆ

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาสารเคลือบผิวถุงมือและผลิตภัณฑ์ยางขึ้น โดยในช่วงแรก ได้แก่ ไบโอบีเจล (biogel) หรือ ไฮโดรเจล (hydrogel) ต่อมาได้พัฒนาเป็นโพลีเมอร์หลายชนิด ซึ่งเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางที่ไม่มีแป้ง ผิวลื่น ไม่ติดกัน และสวมใส่ได้ง่าย



## สมบัติของสารเคลือบผิวโพลีเมอร์

โพลีเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์จากน้ำยางควรมีสมบัติดังนี้ [2,3]

1. จะต้องติดกับเนื้อยางได้อย่างคงทน
2. จะต้องทนต่อสารเคมี และคงทนต่อขั้นตอนการผลิตในเครื่องจักร เช่น การล้าง การอบแห้ง
3. จะต้องไม่เสื่อมสภาพหลังจากการฆ่าเชื้อ
4. จะต้องมีความสัมพันธ์ที่แรงเสียดทานต่ำ ซึ่งหมายถึง การถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย สวมใส่ได้ง่าย โดยโพลีเมอร์ไม่ติดกันเอง และไม่ทำให้ถุงมือเหนียวติดกัน

5. จะต้องทำหน้าที่ปกป้องผิวหนังของผู้สวมใส่จากอาการแพ้โปรตีนและสารเคมีจากน้ำยางได้ ผู้ผลิตสามารถจะผสมสารเติมแต่งต่างๆ เช่น ยาต้านจุลชีพ ว่างานจรเข้ วิตามินอี รวมเข้าไปกับสารเคลือบผิว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการแพ้และเพิ่มความชุ่มชื้นของผิว ซึ่งลักษณะพิเศษที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้เกิดความแตกต่างและการแข่งขันที่มากขึ้นในธุรกิจผลิตภัณฑ์ถุงมือยางในปัจจุบัน



## ชนิดของสารเคลือบผิวโพลีเมอร์

ในปัจจุบันมีการพัฒนาสารเคลือบผิวสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำยางอย่างต่อเนื่อง โพลีเมอร์ที่สามารถนำมาใช้ได้มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกัน โพลีเมอร์ที่นิยมใช้ในการเคลือบผิวมีดังนี้

### 1. ไฮโดรเจล (hydrogel)



สารเคลือบผิวไฮโดรเจลได้รับการพัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 และใช้ในการเคลือบผิวถุงมือผ่าตัด ในช่วงปี พ.ศ. 2523-2533 โดยไฮโดรเจลจะไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถบวมและดูดน้ำได้มากถึงร้อยละ 20 ของน้ำหนัก [4,5] การเคลือบผิวด้วยไฮโดรเจลสามารถนำไปใช้กับวัสดุทางการแพทย์ต่างๆ เช่น ถุงมือยาง สายสวนปัสสาวะ (catheter) คอนแทคเลนส์ เพื่อช่วยเพิ่มการหล่อลื่นที่ผิว โดยการเกิดเป็นฟิล์มบางของน้ำที่พื้นผิว [6] แต่เนื่องจากค่าความยืดหยุ่นของยางมีความแตกต่างกับไฮโดรเจลที่ใช้เคลือบผิวมาก จึงทำให้สารเคลือบผิวไฮโดรเจลมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกขณะขึ้นรูป ขณะถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์ หรือขณะสวมใส่ และหากการยึดติดของสารเคลือบผิวกับยางไม่ดี สารเคลือบผิวจะหลุดล่อนเป็นแผ่น ทำให้เกิดเป็นฝุ่นผงเล็กๆ ที่เป็นอันตรายได้ ดังนั้นในการพัฒนาสารเคลือบผิวไฮโดรเจล การปรับปรุงการยึดติดที่ผิวยางจึงมีความสำคัญ ซึ่งมักทำโดยการปรับผิวยางด้วยสารละลายกรดก่อนเคลือบด้วยไฮโดรเจล ทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมกระบวนการผลิต นอกจากนี้การเคลือบผิวด้วยไฮโดรเจลมักจะพบปัญหาด้านสมบัติทางกายภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการเจาะที่ต่ำ

### 2. โพลียูรีเทน (polyurethane)

โพลียูรีเทนเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ต้องสัมผัสกับเนื้อเยื่อหรือเลือด เพราะมีความเข้ากันได้กับร่างกายที่ดีมาก มีสมบัติที่กว้าง กล่าวคือ ตั้งแต่แบบที่มีความแข็งมาก เช่น ทำกาวติดอุปกรณ์ dialysis ไปจนถึงแบบที่มีความอ่อนนุ่ม เช่น ท่อยาง สายสวนปัสสาวะ โดยทั่วไปโพลียูรีเทนที่ใช้ในการเคลือบผิวถุงมือยางมักเตรียมให้อยู่ในรูปสารกระจายตัวในน้ำ (water-based dispersion) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการจุ่มในเครื่องจักรผลิต (on line process) การใช้โพลียูรีเทนนั้นสามารถใช้แยกหรือใช้ร่วมกับสารช่วยในการจับตัว (coagulant) ก็ได้ ในกรณีที่ใช้แยกกัน จะต้องจุ่มแม่พิมพ์ลงในสารเคลือบผิวโพลียูรีเทนก่อน แล้วทำให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปจุ่มในสารช่วยในการจับตัว แต่ในกรณีที่ใช้ร่วมกัน จะต้องมีการเติมสารรักษาความเสถียรประเภทไม่มีประจุลงไป เช่น แอลคิลฟีนอลเอทิลีนออกไซด์ (alkyl phenol ethylene oxide) เพื่อป้องกันการเสียดสีของโพลียูรีเทนเมื่อผสมรวมกับสารช่วยในการจับตัว และจำเป็นต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ลงไปเล็กน้อย เช่น โพลีโพรพิลีนไกลคอลเอทอกซิเลต (polypropylene glycol ethoxylate) เพื่อช่วยให้การเปียกผิวแม่พิมพ์ดีขึ้น โดยในบางสูตรอาจมีการเติมซิลิโคนลงไปด้วยเพื่อช่วยให้การถอดถุงมือทำได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างสูตรของสารช่วยในการจับตัวที่มีสารเคลือบผิวโพลียูรีเทนผสมอยู่แสดงดังตารางที่ 1 ทั้งนี้เราสามารถเพิ่มสมบัติการยึดติดกับโมเลกุลยางได้โดยการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลหรือคาร์บอกซิลบนโครงสร้างของโพลียูรีเทนเพื่อช่วยเพิ่มการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล



ตารางที่ 1 สูตรสำหรับเตรียมสารเคลือบผิวโพลียูรีเทนผสมกับสารช่วยในการจับตัว

สารเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
สารช่วยในการจับตัว เช่น แคลเซียมไนเตรต	10-15
โพลียูรีเทนดิสเพอร์ชัน	3-5
สารรักษาความเสถียร	0.10-0.25
สารลดแรงตึงผิว	0.01-0.25
ซิลิโคนอิมัลชัน	0.01-0.10
น้ำ	80-85

สำหรับการจุ่มสารเคลือบผิวโพลียูรีเทนลงบนชิ้นงานด้วยมืออย่างอีกด้านหนึ่ง ภายหลังจากจุ่มน้ำยาแล้วนั้น จะต้องใช้ความเข้มข้นของโพลียูรีเทนมากกว่าการจุ่มเคลือบผิวในครั้งแรก คือ ประมาณร้อยละ 10-15 เนื่องจากเมื่อถอดถุงมือออกจากเครื่องจักร จะกลับถุงมือให้ด้านที่เคลือบนี้ไปอยู่เป็นด้านใน ซึ่งเป็นด้านที่สวมใส่ ดังนั้นจึงต้องการความลื่นมากกว่าด้านนอก แต่ไม่จำเป็นต้องมีการผสมสารช่วยในการจับตัวและสารรักษาความเสถียรลงในโพลียูรีเทน

ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน คือ โพลียูรีเทนจะมีลักษณะเฉพาะที่ชอบน้ำ นั่นคือมีแนวโน้มที่จะดูดซึมน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้โพลียูรีเทนจึงแสดงสมบัติการติดกันเมื่อสัมผัสกับน้ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดหากต้องใส่ถุงมือเมื่อมือเปียกชื้นหรือมีเหงื่อออก

### 3. อะคริลิก (acrylic) และอะคริลิกกราฟต์โคโพลิเมอร์ (acrylic grafted copolymer)

สารเคลือบผิวอะคริลิกส่วนใหญ่เป็นโพลิเมอร์ในกลุ่มอะคริเลตที่มีความยืดหยุ่น แม้ว่าจะสามารถปรับควบคุมความยืดหยุ่นได้จากปฏิกิริยาโคโพลิเมอร์ไรเซชัน แต่ก็พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงและการยึดตัว ณ จุดขาดยังมีค่าที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติมาก และจากสมบัติที่แตกต่างกันมากนี้ทำให้สารเคลือบผิวอะคริลิกที่เคลือบบนถุงมือมักจะแตกและหลุดออกจากพื้นผิว โดยเฉพาะเมื่อถอดถุงมือขณะที่แม่พิมพ์ยังร้อนอยู่ [8]

ในการพัฒนาสารเคลือบผิวประเภทนี้ จึงมีส่วนผสมของสารเคลือบผิวหลายชนิดมาผสมกัน เพื่อช่วยเสริมให้สารเคลือบผิวมีสมบัติที่ดีขึ้น คือ มีความยืดหยุ่นได้ดี ยึดติดแน่นกับผิวของยางธรรมชาติ และไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง เช่น การใช้น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำกราฟต์เมทิลเมทาคริเลต (DPNR-g-MMA) เพื่อช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างชั้นของถุงมืออย่างกับชั้นของสารเคลือบผิวอะคริลิก การใช้น้ำยางไนไตรล์เป็นตัวเพิ่มความยืดหยุ่นและช่วยเชื่อมสารเคลือบผิวทั้งหมด โดยมีหมู่บิวทาไดอินเป็นจุดที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล การใช้ซิลิโคนเป็นสารเพิ่มความลื่นและช่วยในการถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์ และการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นสารรักษาความเสถียรของสารเคลือบผิวทั้งหมดในระบบ ตัวอย่างสูตรและปริมาณสารชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นสารเคลือบผิวอะคริลิกแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสูตรและปริมาณสารชนิดต่างๆ ในสารเคลือบผิวอะคริลิก

สารเคมี	ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณ (กรัม)
DPNR-g-MMA (40% กราฟต์)	50	256
อะคริลิกลาเท็กซ์	48	134
น้ำยางไนไตรล์	52	123
ซิลิโคนอิมัลชัน	36	534
สารลดแรงตึงผิว	10	64
น้ำ	-	5,300

#### 4. ซิลิโคน (silicone)

สารเคลือบผิวซิลิโคนสามารถใช้ในการเพิ่มความลื่นของผิวอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้ โดยอาจใช้เดี่ยวๆ หรือใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ชนิดอื่น ซิลิโคนสามารถเตรียมได้ทั้งในระบบที่เป็นน้ำหรือที่เป็นตัวทำละลาย ความลื่นที่ผิวจะเกิดจากการที่ซิลิโคนเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวของถุงมือ การเคลือบผิวด้วยซิลิโคนจึงสามารถล้างออกได้ และซิลิโคนอาจหลุดไปกับสิ่งที่สัมผัส รวมถึงติดอยู่ที่มือของผู้สวมใส่ถุงมือทำให้รู้สึกลื่นเหมือนมีน้ำมันติดอยู่ ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งของการใช้ซิลิโคนเป็นสารเคลือบผิว คือ ความลื่นจะลดลงเมื่อมือที่สวมใส่มีความเปียกชื้น



#### 5. ยางไนไตรล์ (nitrile)

ยางไนไตรล์เป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ (1) อะคริโลไนไตรล์ (acrylonitrile) ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรง ความทนต่อสารเคมีและตัวทำละลายโดยเฉพาะน้ำมัน (2) บิวทาไดเอิน (butadiene) เป็นส่วนที่ให้ความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และ (3) กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อการถูกดึงยืด การฉีกขาด ถุงมือที่ผลิตจากยางไนไตรล์มักนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความทนต่อสารเคมี การฉีกขาด การเจาะ แต่ปัจจุบันมีการใช้เป็นถุงมือแพทย์มากขึ้น การนำยางไนไตรล์มาเป็นสารเคลือบผิวมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับโพลีเมอร์อื่น คือ มีค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดหยุ่นดี สามารถติดกับยางธรรมชาติได้ดี และมีความทนต่อสารเคมีได้ดีมาก

#### 6. โพลีเมอร์ผสม (blends)

จากเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าในปัจจุบันทำให้สามารถนำโพลีเมอร์ 2 ชนิดมาผสมกันเพื่อใช้เป็นสารเคลือบผิว และได้สมบัติตามต้องการที่ดีขึ้น เช่น การนำโพลียูรีเทน 70 ส่วน ผสมกับโพลีอะคริเลต 30 ส่วน แล้วนำไปเจือจางให้เหลือปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก แล้วจึงไปเคลือบผิวถุงมือด้วยกระบวนการจุ่ม หรือการผสมซิลิโคนอีพอกซี 11.1 ส่วน ลงในโพลียูรีเทน 100 ส่วน โดยมีสารเชื่อมโยงโมเลกุล 2.2 ส่วน และสารลดแรงตึงผิว 1.0 ส่วน ใช้เป็นสารเคลือบชั้นในของถุงมือ ทำให้การติดกันของโพลีเมอร์กับยางดีขึ้น

#### 7. บล็อกโคโพลิเมอร์ของสไตรีน (block copolymer of styrene)

การเคลือบถุงมือด้วยบล็อกโคโพลิเมอร์ของสไตรีน จะทำให้ได้ถุงมือที่มีความลื่น มีความทนต่อการบ่มแรงสูง โดยพบว่าฟิล์มของโพลีเมอร์ที่เตรียมจากสารละลายจะให้ความแข็งแรงของฟิล์มดีกว่าฟิล์มที่เตรียมจากอีพอกซี สมบัติความแข็งแรงสามารถควบคุมได้จากปริมาณการใช้สไตรีนและน้ำหนักโมเลกุลของโคโพลิเมอร์ที่แตกต่างกัน ค่า 300% โมดูลัสของโคโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและปริมาณสไตรีนที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 3 ตัวอย่างสารที่นิยมใช้ในการเคลือบถุงมือมักเป็นพวกไทรปบล็อกโคโพลิเมอร์ เช่น styrene-butadiene-styrene (SBS) styrene-isoprene-styrene (SIS) และ styrene-isobutylene-styrene (SIBS)

ตารางที่ 3 พลาของน้ำหนักโมเลกุลและปริมาณสไตรีนต่อความแข็งแรงของโคโพลิเมอร์ชนิด SIS

น้ำหนักโมเลกุลของโพลี (สไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน) $\bar{M}_n \times 10^3$ (g/mol)	ปริมาณสไตรีน (ร้อยละ)	300%โมดูลัส (MPa)
13.7-100-13.7	20	1.8
8.4-63.4-8.4	20	1.1
7.0-60.0-7.0	19	1.3
5.0-80.0-5.0	11	0

สรุปเปรียบเทียบลักษณะและสมบัติของสารเคลือบผิวแต่ละชนิด [9] ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ลักษณะและสมบัติของสารเคลือบผิวแต่ละชนิด

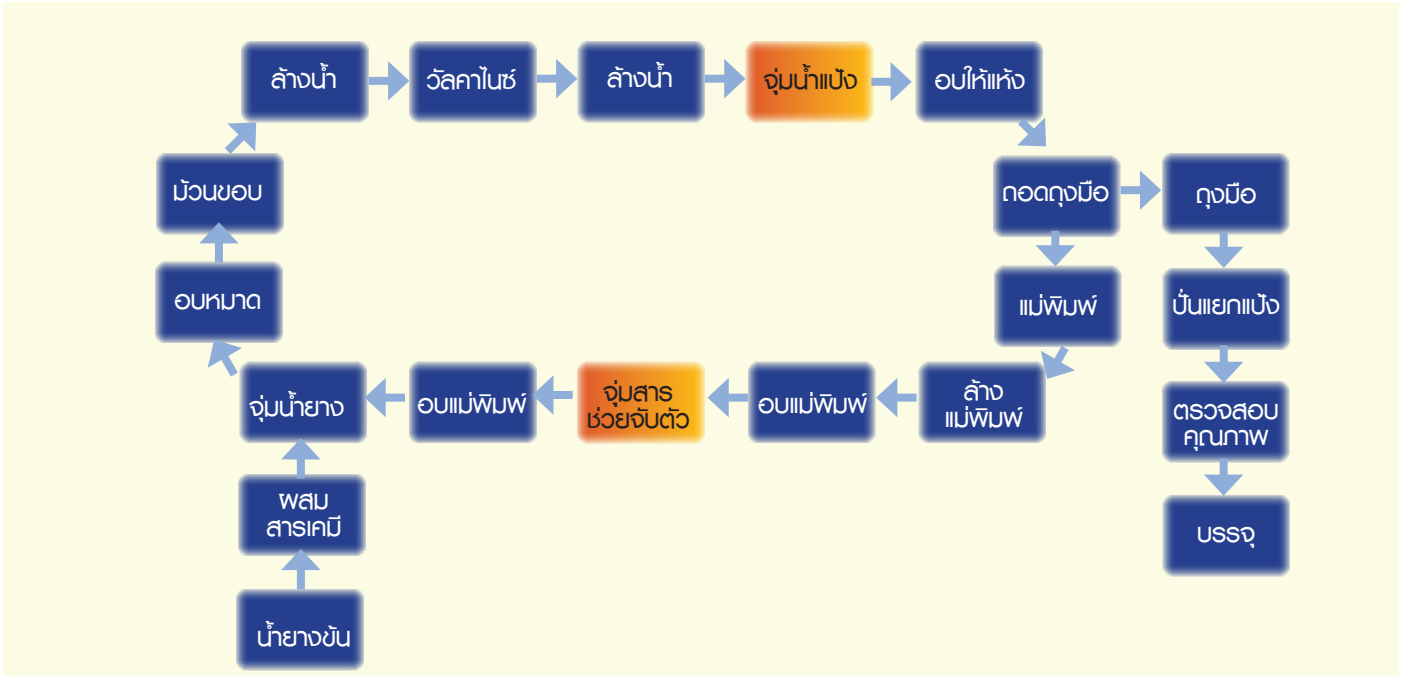
สมบัติ	ไฮโดรเจล	โพลียูรีเทน	อะคริลิก	ซิลิโคน	ยางไนไตรล์
ความทนต่อแรงดึง	ต่ำ	ปานกลาง-สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง
การยึดติดกับยางธรรมชาติ	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง
การดึงยืด	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
การหล่อลื่น	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง
ความต้านทานต่อการเจาะ	ต่ำ	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง
ความต้านทานต่อการขีดถู	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง
ความทนต่อน้ำมัน	ปานกลาง	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
การดูด (บวม) น้ำ (ค่าต่ำ แสดงว่า ดี)	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ความคงทนหลังจากถูกดึงยืด	ต่ำ	ปานกลาง-สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง

การเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตถุงมือชนิดมีแป้งและถุงมือเคลือบผิวด้วยโพลีเมอร์

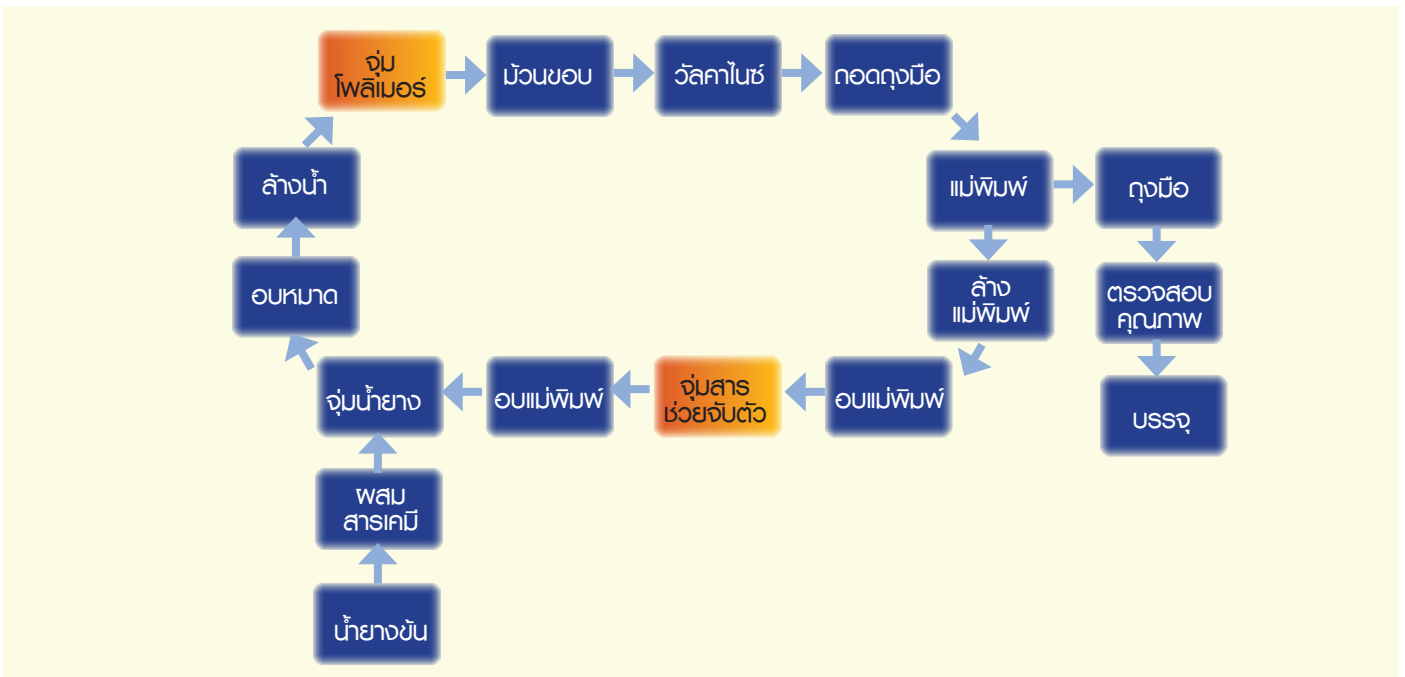
ในการผลิตถุงมือชนิดมีแป้ง (powder) จะผสมสารกันติด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ลงในสารช่วยในการจับตัว (coagulant) โดยเมื่อนำแม่พิมพ์จุ่มลงในสารช่วยในการจับตัว แคลเซียมคาร์บอเนตจะติดขึ้นมากับแม่พิมพ์ด้วย แล้วจึงนำแม่พิมพ์ไปจุ่มลงในน้ำยาง เมื่อผ่านขั้นตอนการวัลคาไนซ์และล้างน้ำแล้ว จะต้องป้องกันการติดกันของถุงมืออีกด้านหนึ่ง ด้วยการนำไปจุ่มในสารกันติดตัวที่ 2 ได้แก่ น้ำแป้ง ซึ่งนิยมใช้แป้งข้าวโพด แล้วนำไปอบให้แห้ง และถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งเมื่อถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์แล้ว สารกันติดที่เป็น แคลเซียมคาร์บอเนตจะอยู่ที่ด้านนอกของถุงมือ ส่วนแป้งข้าวโพดจะอยู่ที่ด้านในของถุงมือ นอกจากนี้ในการผลิตถุงมือชนิดมีแป้งจำเป็นต้องมีการปั่นแยกแป้งส่วนที่เกินออก ก่อนนำถุงมือไปตรวจสอบและบรรจุในลำดับต่อไป ขั้นตอนกระบวนการผลิตที่กล่าวมานี้ แสดงได้ดังรูปที่ 1

ส่วนในการผลิตถุงมือเคลือบผิวด้วยโพลีเมอร์ สามารถออกแบบการจุ่มบนเครื่องจักรให้สามารถเคลือบผิวทั้ง 2 ด้านหรือเคลือบผิวเพียงด้านเดียวก็ได้ โดยในกรณีที่เคลือบผิวทั้ง 2 ด้านบนเครื่องจักร จะผสมสารเคลือบผิวโพลีเมอร์และ/หรือซิงก์สเตียเรตลงในสารช่วยในการจับตัว ซึ่งด้านที่เคลือบนี้ เมื่อถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์จะกลับออกมาเป็นด้านที่อยู่ด้านนอกของถุงมือ) ส่วนการเคลือบผิวด้านในของถุงมือ จะมีขั้นตอนที่แตกต่างจากถุงมือชนิดมีแป้งเล็กน้อย คือ เมื่อถุงมือผ่านการอบหมาดจะนำไปล้างน้ำ แล้วจึงจุ่มสารเคลือบผิวโพลีเมอร์ เพราะหากพื้นผิวของยางแห้งจนเกินไป จะทำให้การติดของโพลีเมอร์ที่ผิวยางไม่ดีเท่าที่ควร หลังจากนั้นจึงนำไปม้วนขอบและวัลคาไนซ์ในลำดับต่อไปโดยไม่ต้องมีการล้างน้ำอีกครั้ง กระบวนการผลิตถุงมือเคลือบผิวด้วยโพลีเมอร์ทั้ง 2 ด้าน แสดงได้ดังรูปที่ 2 การเคลือบถุงมือทั้ง 2 ด้านบนเครื่องจักรมีข้อดี คือ ช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดการเกิดรอยรั่วรูเข็ม (pin hole) สามารถรักษาสมบัติความทนต่อแรงดึงให้มีความสูง ถุงมือไม่เปลี่ยนสี และมีระยะเวลาการเก็บได้นานขึ้น

สำหรับการเคลือบผิวถุงมือด้านเดียวบนเครื่องจักร นิยมเคลือบโพลีเมอร์ในขั้นตอนหลังจากจุ่มน้ำยางแล้ว ซึ่งเมื่อถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์ จะกลับถุงมือให้ผิวที่เคลือบด้วยโพลีเมอร์เข้าไปอยู่ด้านใน จากนั้นจึงจะนำถุงมือไปเคลือบผิวด้านนอกอีกด้านหนึ่ง (off line process) โดยมีขั้นตอนในการทำ คือ หากผิวถุงมือทางด้านนอกยังมีแป้งอยู่ ต้องนำไปผ่านขั้นตอนการล้างแป้งออก แล้วจึงนำไปเคลือบผิวด้วยโพลีเมอร์ ซึ่งแม้ว่าจะมีขั้นตอนเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังน้อยกว่ากรณีที่ต้องทำคลอรีนชั้นถุงมือทั้งสองด้าน ซึ่งจะต้องล้างถุงมือ แล้วนำไปทำปฏิกิริยาคลอรีนชั้น แล้วกลับถุงมือเพื่อล้างและทำปฏิกิริยาในอีกด้านหนึ่ง แล้วกลับถุงมือมาให้เหมือนกับตอนที่ถอดออกจากเครื่อง นั่นคือต้องล้างและกลับถุงมืออย่างละ 2 รอบ



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตถุงมือชนิดมีเบ้ง



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตถุงมือเคลือบผิวด้วยโพลีเมอร์

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาสำหรับกระบวนการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ยางด้วยโพลิเมอร์

สิ่งที่สำคัญในการใช้สารเคลือบผิวโพลิเมอร์บนพื้นผิวยาง คือ ความสม่ำเสมอของการเคลือบผิว ซึ่งสารเคลือบผิวโพลิเมอร์มักเป็นสารผสมระหว่างโพลิเมอร์กับน้ำที่มีพลังงานพื้นผิว (surface energy) สูงกว่าฟิล์มยางแห้ง ทำให้การติดของสารเคลือบผิวกับยางไม่ดี ดังนั้นการเคลือบผิวจะเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อพื้นผิวยางยังเป็นเจลเปียก (wet gel) อยู่

คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบผิวก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน เนื่องจากน้ำที่มีปริมาณธาตุเหล็กหรือแคลเซียมสูงจะทำให้โพลิเมอร์ไม่เสถียร และทำให้สารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นจึงควรใช้น้ำอ่อน (soft water) หรือน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water) ในการเตรียมสารเคลือบผิว ทั้งนี้การใช้น้ำที่ปราศจากไอออนจะเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสะอาดสูง แต่จะมีราคาแพงกว่าน้ำอ่อน

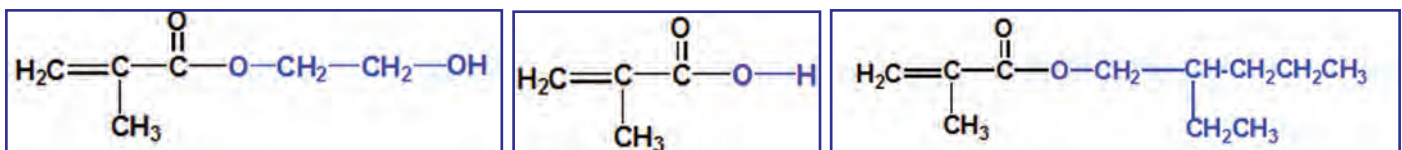
ในการเคลือบผิวด้วยโพลิเมอร์บางชนิด เช่น อะคริลิก จะเกิดปัญหาการหลุดล่อนเมื่อถอดถุงมือขณะที่แม่พิมพ์ยังร้อนอยู่ ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหา คือ ต้องทำให้แม่พิมพ์เย็นลง เพื่อให้โพลิเมอร์มีเวลาในแข็งตัวก่อนถอดออกจากแม่พิมพ์

ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับสารเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ยางด้วยโพลิเมอร์

**การใช้ไฮโดรเจลในการเคลือบผิวต่อความลื่นของถุงมือ**

ไฮโดรเจลที่ใช้ในการเคลือบผิวถุงมือ ส่วนใหญ่เป็นโคโพลิเมอร์ของ 2-Hydroxyethylmethacrylate (HEMA) กับ Methacrylic acid (MAA) หรือโคโพลิเมอร์ของ 2-Hydroxyethylmethacrylate (HEMA) กับ 2-Ethylhexylacrylate (EHA) หรือเทอร์โพลิเมอร์ของ HEMA, MAA และ EHA เนื่องจาก HEMA มีการหล่อลื่นที่ผิวและดูดความชื้นได้ดี ในขณะที่ MAA และ EHA จะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง HEMA กับผิวถุงมือยาง ซึ่งทำให้ความสามารถในการโค้งงอของชั้นโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่มีต่อความลื่นของถุงมือ พบว่าที่สัดส่วนของ HEMA/EHA เท่ากับ 4:1 จะสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมือให้เหลือ 0.20 และกรณีที่ใช้เป็นเทอร์โพลิเมอร์ในสัดส่วน HEMA/MAA/EHA เท่ากับ 5:1:1.2 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของถุงมืออยู่ที่ 0.218 ซึ่งยังคงเป็นค่าที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับถุงมือชนิดมีแป้งซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.323



3(ก)

3(ข)

3(ค)

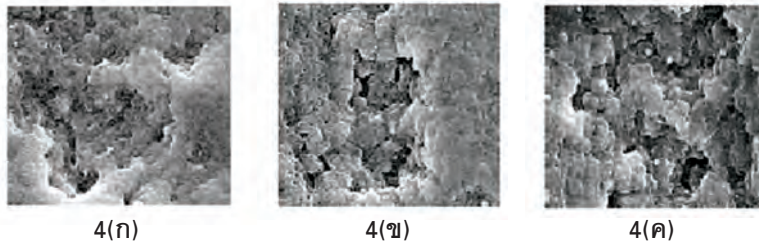
รูปที่ 3 โครงสร้างเคมีของโมโนเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมไฮโดรเจล (ก) 2-Hydroxyethylmethacrylate (HEMA) (ข) Methacrylic acid (MAA) และ (ค) 2-Ethylhexylacrylate (EHA)

## ผลของการเคลือบผิวด้วยโพลีเมอร์ต่อปริมาณโปรตีน

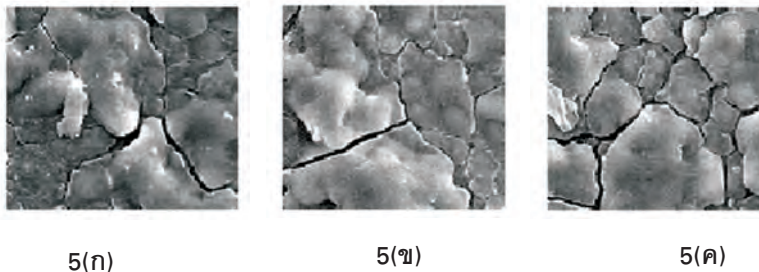
ในการเคลือบผิวถุงมือด้วยโพลีเมอร์ นอกจากจะช่วยในเรื่องความสะดวกในการสวมใส่แล้ว ผลพลอยได้อีกประการหนึ่งก็คือ ปริมาณโปรตีนที่ลดลง โดยมีรายงานของ Lai และ Moris [10] เกี่ยวกับปริมาณโปรตีนในถุงมือที่ทำด้วยโพลีเมอร์ว่า จากการเก็บตัวอย่างถุงมือจาก 17 โรงงาน พบว่ามีปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ตั้งแต่ 19-63 ไมโครกรัมต่อกรัม สำหรับวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน EN455-3 และ 6-97 ไมโครกรัมต่อตารางเดซิเมตร สำหรับวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D5712-99 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าถุงมือชนิดมีแป้ง นอกจากนี้จากการวิเคราะห์โปรตีนที่ทำให้เกิดการแพ้ (antigenic protein) ตามมาตรฐานวิธีวิเคราะห์ ASTM D6499-00 ก็พบว่ามีความต่ำมาก คือ มีค่าเฉลี่ยที่ 3.8 ไมโครกรัมต่อตารางเดซิเมตร ซึ่งต่ำกว่าขีดจำกัดของวิธีวิเคราะห์ที่ 10 ไมโครกรัมต่อตารางเดซิเมตร

## การใช้ยางไนไตรล์ในการเคลือบผิวถุงมือ

ปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตถุงมือได้พัฒนาการนำยางไนไตรล์ไปใช้ในการเคลือบผิวถุงมือ เป็นถุงมือแบบ 3 ชั้น โดยชั้นนอก (ชั้นที่สัมผัสกับผู้ป่วย) คือ ชั้นของยางธรรมชาติ ชั้นกลางเป็นชั้นของโพลีเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางไนไตรล์ เพื่อช่วยเพิ่มการยึดติดกันของพื้นผิวยาง และชั้นใน (ชั้นที่สัมผัสกับมือผู้สวมใส่) เป็นชั้นเคลือบผิวด้วยยางไนไตรล์ ซึ่งมีรายงานว่าค่าความทนต่อแรงดึงของถุงมือมีค่าสูงระหว่าง 27-28 MPa และมีการยืดตัว ณ จุดขาดที่ร้อยละ 900 โดยเมื่อนำชิ้นงานไปดึงยึดที่ร้อยละ 300 แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าไม่ปรากฏรอยแตกของชั้นโพลีเมอร์ที่ใช้เคลือบผิวดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 5 ที่เป็นการเคลือบผิวด้วยไฮโดรเจลจะพบรอยแตกเมื่อฟิล์มถูกดึงยึดออกไป



รูปที่ 4 ถุงมือเคลือบผิวด้วยยางไนไตรล์ (ก) ไม่ถูกดึงยึด (ข) ดึงยึดที่ร้อยละ 100 (ค) ดึงยึดที่ร้อยละ 300



รูปที่ 5 ถุงมือเคลือบผิวด้วยไฮโดรเจล (ก) ไม่ถูกดึงยึด (ข) ดึงยึดที่ร้อยละ 100 (ค) ดึงยึดที่ร้อยละ 300



เอกสารอ้างอิง

1. Howe, B., “Developments in Polymer Coatings for Dipped Goods”, [www.polytechsynergies.com/image/Update\\_on\\_Polymer\\_Coatings\\_for\\_Latex\\_Dipped\\_Goods.doc](http://www.polytechsynergies.com/image/Update_on_Polymer_Coatings_for_Latex_Dipped_Goods.doc).
2. Cardinal Health, “Research and technology supporting your decisions-Polymer coatings for powder-free medical gloves”, [http://www.cardinalhealth.com/us/en/providers/products/gloves/pdfs/choices\\_polymercoatings.pdf](http://www.cardinalhealth.com/us/en/providers/products/gloves/pdfs/choices_polymercoatings.pdf)
3. Williams, B., “The Science of Donning Coatings”, *Rubber Asia*, Sep-Oct, 138-140 (2002)
4. Wichterle, O. and Lim, D., “Hydrophilic gels for polymer use” in *Nature*, St. Martin’ s Press, New York, 1960.
5. Ratner, B. and Hoffman, A., “Synthetic hydrogels for biomedical applications”, In Andrade, J. (editor), *Hydrogels for Medical and Related Applications* (pp. 1-36)., American Chemical Society, Washington, D.C. (1976).
6. Ikada, Y. and Uyama, Y., “Lubricating Polymer Surfaces”, Technomic Publishing Company: Lancaster, PA, 1993.
7. Chen, F. B., “Overview of Powder-Free Technology and Materials”, International Latex Conference – Akron, Ohio, 2004.
8. Strassburg, R., “Acrylic-based elastomer” In Bhowmick, A. and Stephens, H. (editors), *Handbook of Elastomers: New Development and Technology*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1988.
9. Pauly, S., “Permeability and diffusion data” In Brandrup, J. and Immergut, E.H. (editors), *Polymer Handbook*, John Wiley & Sons., New York, 1989.
10. Lai, P.F. and Moris, N., “Development of powder-free glove in Malaysia to address the latex protein allergy challenge” [http://www.mrepc.com/publication/seminar/selecting\\_the\\_right\\_glove\\_uk/Lai\\_Paper.pdf](http://www.mrepc.com/publication/seminar/selecting_the_right_glove_uk/Lai_Paper.pdf)



พร้อมศักดิ์ สงวนรัมย์รงค์

การศึกษา : บริณณนาโก (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล

สถานที่ทำงานปัจจุบัน : ผู้ช่วยวิจัย หน่วยวิจัยโพลีเมอร์

ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ