

บทความ: การประเมินประสิทธิภาพของวัสดุทำหน้ากาก สำหรับกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Evaluation of face mask materials for trapping particulate matter less than 2.5 micron)

มนีรัตน์ องค์กรธรณี^{1,*} และ พงศธร ชมดี²

¹ ภาควิชาการบริหารและจัดการเมือง วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

* Email: maneerat.ong@nmu.ac.th

² ภาควิชาเทคโนโลยี วิทยาลัยพัฒนาชุมชนเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

Email: pongsathorn.cho@nmu.ac.th

การอ้างอิง: มณีรัตน์ องค์กรธรณี และ พงศธร ชมดี. (2563). การประเมินประสิทธิภาพของวัสดุทำหน้ากากสำหรับกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Evaluation of face mask materials for trapping particulate matter less than 2.5 micron). วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 3).

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดประสิทธิภาพของวัสดุที่ทำหน้ากากในการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบรรยากาศ โดยจำลองการสวมหน้ากากกับใบหน้าของหุ่นฝึกทางการแพทย์ให้แบบสนิท ใช้เครื่องดูดเสมหะดูดอากาศด้วยอัตรา 15 ลิตรต่อนาทีผ่านหน้ากากที่ทดสอบ ได้แก่ หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ หน้ากาก N95 และหน้ากากผ้าฝ้ายสองชั้นเสริมไส้กรองต่างๆ ผลการทดสอบพบว่าหน้ากาก N95 ที่จำหน่ายในประเทศไทยมีประสิทธิภาพการกรอง 78 เปอร์เซ็นต์ ตามมาด้วยหน้ากากอนามัยทางการแพทย์มีประสิทธิภาพ 65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับหน้ากากผ้าที่ใช้หน้ากากอนามัยดังกล่าวเป็นไส้กรองหรือใช้แผ่นกรองฝุ่นระดับ MERV 11 จำนวน 3 แผ่นซ้อนกัน ในขณะที่การใช้หน้ากากผ้าฝ้ายเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพเพียง 6 เปอร์เซ็นต์ และการใช้กระดาษทิชชูเป็นไส้กรองไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ ทั้งนี้ ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละอองของหน้ากากเมื่อสวมใส่จริงอาจมีค่าต่ำกว่าที่วัดได้ซึ่งขึ้นกับความแนบสนิทกับใบหน้าของผู้ใส่ สำหรับการฆ่าเชื้อโรคบนหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ด้วยการพ่นเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ไม่ได้ทำให้โครงสร้างทางกายภาพและเคมีของเส้นใยโพลีโพรพิลีนของหน้ากากแปลงเปลี่ยนไปจากเดิม จึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับยืดอายุการใช้งานหน้ากากอนามัยในช่วงขาดแคลน เช่น การระบาดของโรคโควิด-19

คำสำคัญ: หน้ากาก; หน้ากากอนามัยทางการแพทย์; ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน; ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละออง

1. บทนำ

เนื่องด้วยประเทศไทยเผชิญปัญหาวิกฤตฝุ่นจิ๋วหรือฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ช่วงมกราคมถึงมีนาคมเป็นประจำทุกปี [1] ประชาชนผู้ได้รับผลกระทบจึงต้องหาอุปกรณ์ป้องกันตนเองด้วยการสวมใส่หน้ากากป้องกันฝุ่น โดยหน่วยงานราชการแนะนำให้ใช้หน้ากากประเภท N95 ซึ่งสามารถกรองอนุภาคแขวนลอยในอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแอโรไดนามิก (Aerodynamic diameter) 0.3 ไมครอนได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ [2-3] อย่างไรก็ตามหน้ากากประเภทนี้มีราคาค่อนข้างสูงและสวมใส่ไม่สบาย จึงทำให้ประชาชนส่วนหนึ่งเลือกใช้หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ (Surgical face mask) แทน ประกอบกับวิกฤติการระบาดของโรคโควิด-19 (COVID-19) ตั้งแต่มีนาคม 2563 เป็นต้นมาทำให้หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ขาดแคลนอย่างหนัก [4] ประชาชนบางส่วนจึงเลือกใช้หน้ากากผ้าที่ทำขึ้นเองหรือหน้ากาก N95 ที่ซื้อจากต่างประเทศ รวมทั้งการหาวิธีการนำหน้ากากอนามัยมาใช้ซ้ำโดยเฉพาในช่วงโรคโควิดระบาด [5]

หน้ากากประเภทที่ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทางระบบทางเดินหายใจหรือที่เรียกว่า Respirator ซึ่งปิดคลุมมิดชิด สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามลักษณะการปิดคลุมใบหน้า ได้แก่ (1) Quarter mask คือหน้ากากปิดจมูกและปากแต่ไม่คลุมถึงใต้คาง (2) Half mask คือหน้ากากปิดจมูกและปากคลุมถึงใต้คาง และ (3) Full facepiece คือหน้ากากปิดคลุมตั้งแต่โคนผมจนถึงใต้คาง สำหรับหน้ากากป้องกันฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ประชาชนทั่วไปใช้ เช่น N95 เป็นแบบ Quarter mask [2] สำหรับมาตรฐานประสิทธิภาพของหน้ากากกรองฝุ่นละอองตามระเบียบข้อบังคับรัฐบาลกลางประเทศสหรัฐอเมริกา (US Code of Federal Regulations, CFR) แบ่งเป็น 9 ชั้นคุณภาพ คือ N95, N99, N100, R95, R99, R100, P95, P99 และ P100 สัญลักษณ์ N ระบุถึงหน้ากากกรองอนุภาคที่ไม่ใช้น้ำมัน ในขณะที่ R และ P สามารถกรองอนุภาคที่เป็นน้ำมันได้ ส่วนตัวเลขหลังตัวอักษรระบุถึงประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ไม่ต่ำกว่า 95, 99 และ 99.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ [3]

หน้ากากประเภทหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ชนิดใช้ครั้งเดียวผลิตจากโพลีโพรพิลีนหรือพีพีแบบไม่ถักเส้นใย (Polypropylene nonwoven) มีสามชั้น ใช้ป้องกันสารคัดหลั่งในขณะทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ ทางกระทรวงสาธารณสุขระบุว่าสามารถใช้ป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคจากละอองน้ำลาย (Droplet) ขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนได้ 99 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่สามารถป้องกันฝุ่น PM_{2.5} ได้เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอน [6] ส่วนหน้ากากผ้าเริ่มเป็นที่นิยมใช้ของประชาชนช่วงการระบาดของโรคโควิด-19 เพราะการขาดแคลนหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ โดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยแนะนำผ้าที่เหมาะสมใช้ทำหน้ากาก 2 ชั้นป้องกันละอองน้ำลาย ได้แก่ ผ้าฝ้ายมัสลิน ผ้านาโน ผ้าฝ้ายดิบ ผ้ายัด และผ้าสาหลู [7] อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยในประเทศไทยที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละอองของหน้ากากชนิดต่างๆ ที่ประชาชนนิยมใช้

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของวัสดุที่นำมาผลิตหน้ากากในการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบรรยากาศ โดยทดสอบหน้ากากที่ขายในท้องตลาดและหน้ากากผ้าที่ประดิษฐ์


ขึ้นรวมทั้งหมด 13 รูปแบบ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่ได้ทดสอบประเด็นความแนบสนิทของหน้ากากเข้ากับใบหน้าผู้สวมใส่แต่อย่างใด (Fit test) ดังนั้นค่าประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละอองที่วัดได้ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการวัดความสามารถของวัสดุที่ใช้ทำหน้ากากในการกรองฝุ่นละอองเท่านั้น ผลที่ได้จากการทดลองนี้ยังสามารถใช้ระบุถึงประสิทธิภาพของวัสดุหน้ากากแต่ละแบบในการป้องกันเชื้อไวรัสโคโรนาที่อยู่ในละอองน้ำลายซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอน







2. อุปกรณ์และวิธีการ




2.1 ชนิดของหน้ากากที่ทดสอบ

หน้ากากที่ทดสอบการกรองฝุ่นละอองประกอบด้วย หน้ากากอนามัยทางการแพทย์แบบใช้ครั้งเดียว หน้ากาก N95 หน้ากากผ้าฝ้ายดิบที่ทำขึ้นเองและมีการดัดแปลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกรองโดยการใช้กรองแบบต่างๆ ได้แก่ หน้ากากอนามัย กระดาษทิชชู และแผ่นกรองฝุ่นระดับ MERV 11 ระหว่างหน้ากากผ้าสองชั้น (หมายเหตุ MERV คือ Minimum Efficiency Reporting Value เป็นมาตรวัดประสิทธิภาพของระบบฟอกอากาศที่ใช้เส้นใยกรองดักจับฝุ่นละออง กำหนดขึ้นโดย American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ซึ่งมีสเกลตั้งแต่ 1 ถึง 16) สำหรับแผ่นกรอง MERV 11 มีประสิทธิภาพสูงในการดักจับฝุ่นละอองช่วง 1.0-3.0 ไมครอน งานวิจัยนี้ยังได้ทดสอบหน้ากากอนามัยทางการแพทย์เมื่อฉีดพ่นด้วยแอลกอฮอล์ในรูปของสารละลายเอทานอล (C_2H_5OH) ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์จนเปียกชุ่มเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจสะสมบนหน้ากากซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการใช้หน้ากากอนามัยซ้ำมากกว่า 1 ครั้ง นอกจากนี้ได้ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของหน้ากากอนามัยที่ฉีดพ่นแอลกอฮอล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และโครงสร้างทางเคมีพื้นผิวด้วยการวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) ในช่วงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วง 400-4000 cm^{-1} เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะเส้นใยที่อาจปรากฏ รายละเอียดของหน้ากากที่ทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หน้ากากที่ทดสอบ

ลำดับ	ชนิดหน้ากาก	รูปประกอบ
1	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์แบบใช้ครั้งเดียว (Surgical face mask)	

2	<p>หน้ากากคาร์บอนแบบใช้ครั้งเดียว (Carbon face mask)</p>	
3	<p>หน้ากาก N95 ยี่ห้อ NAS จำหน่ายในฮ่องกง</p>	
4	<p>หน้ากาก N95 รุ่น 1870 3M™ บริษัท 3เอ็ม จำกัด จำหน่ายในไทย</p>	
5	<p>หน้ากากผ้า 2 ชั้นแบบทำขึ้นเอง (ผ้าฝ้ายดิบขาว เย็บพับจีบ สายมัดศีรษะด้านหลัง)</p>	
6	<p>หน้ากากผ้า 2 ชั้นแบบทำขึ้นเอง เสริมแผ่นกรองฝุ่น MERV 11 (แผ่นกรองอากาศ 3M Filtrete™ บริษัท 3เอ็ม จำกัด) ระหว่างผ้า 2 ชั้น</p>	
7	<p>หน้ากากผ้า 2 ชั้นแบบทำขึ้นเอง เสริมแผ่นกรองฝุ่น MERV 11 (จำหน่ายโดยบริษัทไทยเอ็นจีเนียริงสเป เชียลลิซ จำกัด) ระหว่างผ้า 2 ชั้น</p>	

8	หน้ากากผ้า 2 ชั้นแบบทำขึ้นเอง เสริมแผ่นกรองฝุ่น 3 ชั้น ประกอบด้วย แผ่นกรอง 3M Filtrete™ + แผ่นกรอง MERV11 + แผ่นกรอง 3M Filtrete™ (เรียงตามลำดับ) ระหว่างผ้า 2 ชั้น	
9	หน้ากากผ้า 2 ชั้นแบบทำขึ้นเอง เสริมด้วยหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ระหว่างผ้า 2 ชั้น	
10	หน้ากากผ้า 2 ชั้นแบบทำขึ้นเอง เสริมด้วยกระดาษทิชชู 2 แผ่น ระหว่างผ้า 2 ชั้น	
11	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ฟันเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งไว้ 5 นาที ก่อนนำไปทดสอบ	หน้ากากชนิดเดียวกับลำดับที่ 1
12	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ฟันเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งไว้ 60 นาที ก่อนนำไปทดสอบ	หน้ากากชนิดเดียวกับลำดับที่ 1
13	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ฟันเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	หน้ากากชนิดเดียวกับลำดับที่ 1

หมายเหตุ: ลำดับที่ 5-10 เป็นหน้ากากผ้าชนิดเดียวกัน

2.2 ระบบและขั้นตอนการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงระบบการทดลองประกอบด้วยหุ่นฝึกปฏิบัติการทางการแพทย์ ครอบหน้ากากที่ต้องการทดสอบประสิทธิภาพการกรองฝุ่นเข้าที่บริเวณจมูกและปากของหุ่นฝึกตามลักษณะการสวมใส่ของคน จากนั้นใช้เทปกาวกระดาษปิดขอบหน้ากากที่สัมผัสกับใบหน้าของหุ่นให้แนบสนิทเพื่อป้องกันอากาศรั่วไหล และปิดช่องเปิดที่เชื่อมต่อช่องจมูกและปากของหุ่นทุกช่องด้วยเทปกาวกระดาษ ยกเว้นท่อจากช่องคอหุ่นท่อหนึ่งถูกเชื่อมต่อกับสายยางเข้าเครื่องดูดเสมหะ (Suction unit) ยี่ห้อ Kataspir เพื่อจำลองการหายใจของผู้สวมใส่โดยตั้งอัตราการดูดอากาศด้วยความดันคงที่ 6 เซนติเมตรของปรอท หรือเทียบเท่าอัตราการหายใจ 15 ลิตรต่อ

นาที ใช้เครื่องวัดฝุ่น PM_{2.5} ยี่ห้อ SNDWAY รุ่น SW-825 เซ็นเซอร์วัดฝุ่น PLANTOWER Laser จำนวน 2 เครื่อง โดยวางในขวดดูดเสมหะเพื่อวัดความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศที่ดูดผ่านหน้ากาก และอีกเครื่องวางด้านนอกเพื่อวัดฝุ่นในบรรยากาศขณะทำการทดสอบ ทำการทดสอบหน้ากากที่ละชนิดด้วยระยะเวลาการทดสอบ 5-10 นาทีเพื่อให้ได้ระดับฝุ่นในขวดดูดเสมหะคงที่ การทดลองทำในห้องปฏิบัติการแบบพื้นที่เปิดในอาคารที่มีระดับฝุ่น PM_{2.5} ค่อนข้างคงที่ ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศที่ 27-28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 1 ระบบการทดลองประกอบด้วยหุ่นฝึกปฏิบัติการทางการแพทย์ครอบงมด้วยหน้ากากที่ต้องการทดสอบและเครื่องดูดเสมหะจำลองการหายใจ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละออง

ตารางที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} ของวัสดุทำหน้ากากที่ทดสอบทั้ง 13 รูปแบบ โดยความเข้มข้นของ PM_{2.5} ก่อนและหลังผ่านการกรองแสดงเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาที่ทดสอบ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของวัสดุหน้ากากในการกรองฝุ่น PM_{2.5}

ลำดับ	ชนิดหน้ากาก	ความเข้มข้น PM _{2.5} (มคก./ลบ.ม.)		ประสิทธิภาพการกรอง (เปอร์เซ็นต์)
		ก่อน	หลัง	
1	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์แบบใช้ครั้งเดียว	57	20	65
2	หน้ากากคาร์บอนแบบใช้ครั้งเดียว	47	30	47
3	หน้ากาก N95 ยี่ห้อ NAS	57	33	42
4	หน้ากาก N95 รุ่น 1870 3M™ บริษัท 3เอ็ม จำกัด	41	9	78

5	หน้ากากผ้า 2 ชั้นแบบทำขึ้นเอง	53	50	6
6	หน้ากากผ้า 2 ชั้น เสริมแผ่นกรองฝุ่น MERV 11 (แผ่นกรองอากาศ 3M Filtrete™)	56	40	29
7	หน้ากากผ้า 2 ชั้น เสริมแผ่นกรองฝุ่น MERV11	53	38	28
8	หน้ากากผ้า 2 ชั้น เสริมแผ่นกรองฝุ่น 3 ชั้น	46	20	57
9	หน้ากากผ้า 2 ชั้น เสริมด้วยหน้ากากอนามัยทางการแพทย์	30	12	60
10	หน้ากากผ้า 2 ชั้น เสริมด้วยกระดาษทิชชู 2 แผ่น	40	38	5
11	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ฟันเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งไว้ 5 นาที	38	14	63
12	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ฟันเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งไว้ 60 นาที	41	14	66
13	หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ฟันเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	42	15	64

ผลการวัดประสิทธิภาพการกรองฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยหน้ากากแต่ละชนิดที่สวมครอบแบบสนิทกับใบหน้าหุ่นฝึกปฏิบัติพบว่า หน้ากาก N95 ของบริษัท 3เอ็ม จำกัด มีประสิทธิภาพการกรองฝุ่น $PM_{2.5}$ สูงสุดเท่ากับ 78 เปอร์เซ็นต์ (ลำดับที่ 4) ในขณะที่หน้ากาก N95 อื่นๆ ห้อยซึ่งจำหน่ายในต่างประเทศกลับมีประสิทธิภาพเพียง 42 เปอร์เซ็นต์ (ลำดับที่ 3) หมายเหตุงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานการกำหนดชั้นคุณภาพหน้ากากประเภท Respirator ตามข้อกำหนดของ 42 CFR Part 84 [3] จึงไม่สามารถใช้ค่าประสิทธิภาพที่วัดได้ไปเทียบเท่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ย 0.3 ไมครอนที่ถูกกำหนดไว้ 95 เปอร์เซ็นต์สำหรับหน้ากากระดับชั้น N95 อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่า หน้ากาก N95 สองยี่ห้อที่ทดสอบด้วยวิธีเดียวกันมีประสิทธิภาพการกรองฝุ่น $PM_{2.5}$ แตกต่างกันอย่างมากระหว่างทั้งที่หน้ากากทั้งสองยี่ห้อถูกระบุผลว่าเป็นประเภท N95 สำหรับหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ที่ครอบสนิทกับใบหน้ามีประสิทธิภาพการกรองฝุ่น $PM_{2.5}$ ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ การฉีดพ่นแอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อบนหน้ากากแล้วทิ้งให้แห้ง (ลำดับที่ 11-13) ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองฝุ่นแต่อย่างใด เส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ใช้ผลิตหน้ากากอนามัยทางการแพทย์มีคุณสมบัติต้านทานสารละลายแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ [8] ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยภาพกำลังขยายสูงและการวิเคราะห์พื้นผิวทางเคมีของเส้นใยที่ทำหน้ากากในหัวข้อ 3.2 ส่วนหน้ากากอนามัยแบบคาร์บอนให้

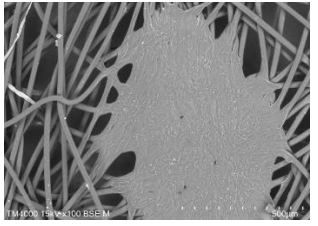
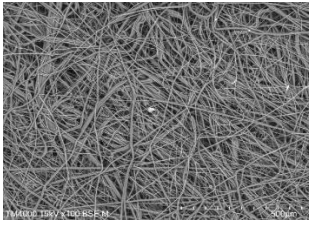
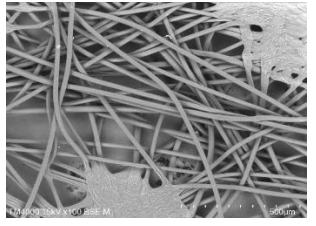
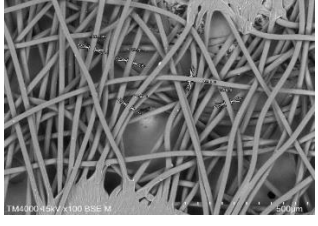
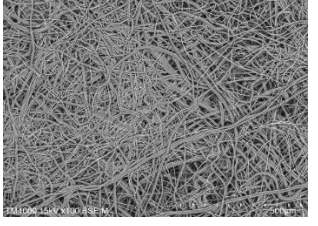
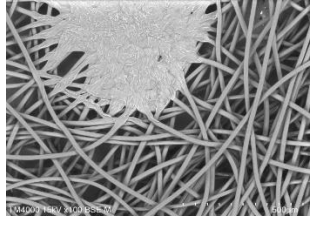
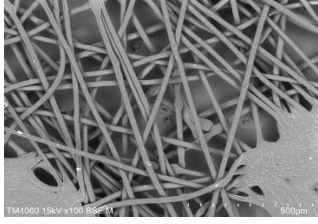
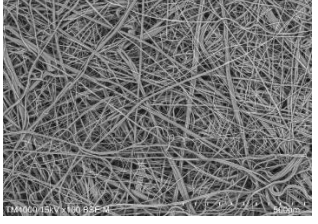
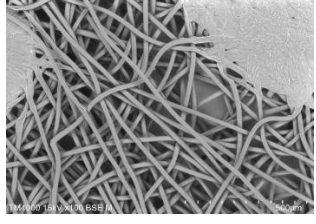
ประสิทธิภาพการกรองต่ำกว่าหน้ากากอนามัยทางการแพทย์แต่มีข้อดีด้านการดูดซับกลิ่นและความชื้น

สำหรับหน้ากากผ้าที่ทำจากผ้าฝ้ายดิบสองชั้นนั้นมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเพียง 6 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากช่องเปิดระหว่างเส้นใยมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของฝุ่น [9] แต่เมื่อเสริมด้วยแผ่นกรองที่นิยมใช้ในเครื่องฟอกอากาศระดับ MERV 11 จำนวน 1 ชั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกรองเป็น 28-29 เปอร์เซ็นต์ (ลำดับที่ 6 และ 7) แต่ยังคงต่ำกว่าหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ และเมื่อเสริมแผ่นกรอง MERV 11 ซ้อนกัน 3 ชั้นช่วยให้ประสิทธิภาพการกรองเพิ่มขึ้นเทียบเท่าหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ที่ประมาณ 57 เปอร์เซ็นต์ (ลำดับที่ 8) ส่วนการใช้หน้ากากอนามัยทางการแพทย์เป็นไส้กรองระหว่างหน้ากากผ้าสองชั้น (ลำดับที่ 9) ให้ประสิทธิภาพการกรองเท่ากับหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ในขณะที่การใช้กระดาษทิชชูเป็นไส้กรอง (ลำดับที่ 10) ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกรองฝุ่นขนาดเล็กได้แต่อย่างใด

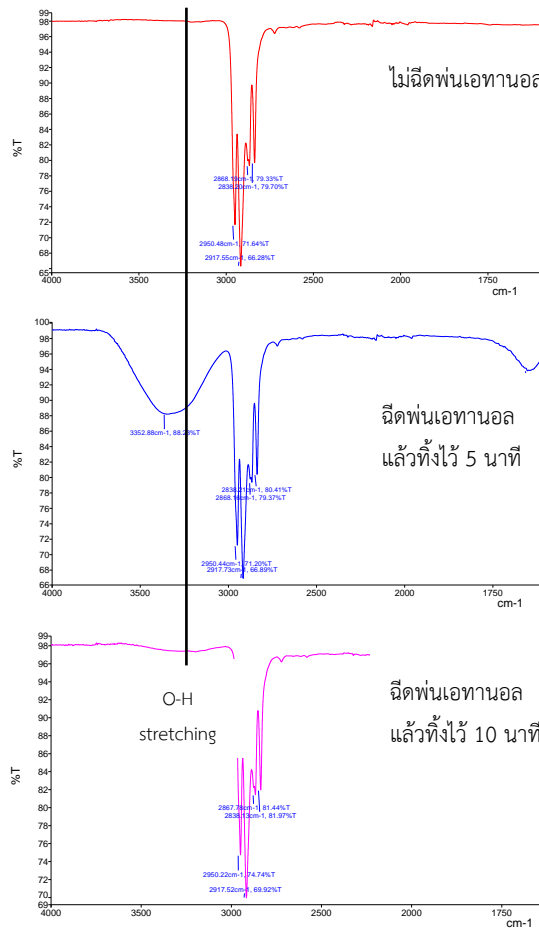
3.2 โครงสร้างทางกายภาพและเคมีของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์

ตารางที่ 3 แสดงภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ชั้นนอก ชั้นกลาง และชั้นในที่สัมผัสใบหน้าผู้ใช้ รูปแบบที่ 1 คือหน้ากากอนามัยใหม่ที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารละลายเอทานอล รูปแบบที่ 2 คือหน้ากากอนามัยฉีดพ่นสารละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์แล้วปล่อยให้แห้ง 5 นาที และรูปแบบที่ 3 คือหน้ากากอนามัยฉีดพ่นสารละลายเอทานอลแล้วปล่อยให้แห้ง 60 นาที

ตารางที่ 3 ลักษณะเส้นใยของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ที่กำลังขยาย 100 เท่า

สภาพ	ชั้นนอก	ชั้นกลาง	ชั้นใน
ไม่ได้ฉีดพ่นเอทานอล			
ฉีดพ่นเอทานอลแล้วทิ้งไว้ 5 นาที			
ฉีดพ่นเอทานอลแล้วทิ้งไว้ 60 นาที			

จากภาพถ่าย SEM เห็นได้ว่าหน้าากอนามัยทางการแพทย์ผลิตจากเส้นใยที่พาดสานกันไปมาในทุกทิศทางซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตผ้าที่เรียกว่า Nonwoven fabric เป็นการขึ้นรูปจากเส้นใยโพลีโพรพิลีนเป็นแผ่นโดยตรง แล้วมีการเชื่อมยึดเส้นใยในแผ่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแผ่น [10] การฉีดยาแอลกอฮอล์ในรูปของสารละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ไม่ได้ทำให้โครงสร้างของเส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมแต่อย่างใดทั้งแผ่นชั้นนอก ชั้นกลาง และชั้นใน ในขณะที่ผลการตรวจสอบพื้นผิวทางเคมีของหน้าากอนามัยด้วยเครื่อง FTIR แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 3 (ในที่นี้แสดงในช่วง 1500-4000 cm^{-1})



รูปที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหน้าากอนามัยทางการแพทย์ที่พ่นและไม่พ่นสารละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์พบการดูดกลืนรังสีที่ 2870 และ 2950 cm^{-1} ซึ่งให้เห็นถึงการสั่นแบบ Stretching ของหมู่ฟังก์ชันเมทิล $-\text{CH}_3$ ซึ่งเป็นองค์ประกอบโครงสร้างทางเคมีของโพลีเมอร์ประเภทโพลีโพรพิลีน คือ Poly(1-methylethylene) [11] เมื่อฉีดยาหน้าากอนามัยด้วยเอทานอลแล้วทิ้งไว้ 5 นาทีพบการดูดกลืนรังสีชัดเจนที่ 3391 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นแบบ Stretching ของพันธะ O-H ในโครงสร้างของเอทานอล [12] และเมื่อทิ้งไว้ 10 นาทีกลับไม่พบการดูดกลืนรังสีในช่วงดังกล่าว ซึ่งเป็นไปได้ว่าสารละลายเอทานอลบนหน้าากากระเหย

หมดไป ในขณะที่สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีของโพลีโพรพิลีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ถึงแม้ผ่านการสัมผัสกับเอทานอลก็ตาม จึงเป็นข้อยืนยันอีกประการหนึ่งว่าการใช้สารละลายเอทานอลฉีดพ่นไม่สามารถสร้างความเสียหายให้กับเส้นใยโพลีโพรพิลีนทั้งทางกายภาพและทางเคมี อย่างไรก็ตามก็ควรมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคบนหน้ากากอนามัยด้วยการฉีดพ่นสารละลายแอลกอฮอล์ต่อไป

สรุปผล

งานวิจัยนี้ทดสอบวัสดุที่ทำหน้ากากชนิดต่างๆ เพื่อวัดประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยใช้หุ่นฝึกปฏิบัติการทางการแพทย์จำลองสภาพการใส่หน้ากากที่แนบสนิทกับใบหน้าไม่มีการรั่วไหลของอากาศ ประสิทธิภาพของหน้ากาก N95 บริษัท 3เอ็ม จำกัด กรองฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้สูงสุด 78 เปอร์เซ็นต์ หน้ากากอนามัยทางการแพทย์แบบสามชั้นกรองฝุ่นได้ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้ทำหน้าที่เป็นไส้กรองของหน้ากากผ้าฝ้ายดิบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากผ้าเทียบเท่ากับหน้ากากอนามัย จึงอาจเป็นวิธีหนึ่งในการยืดอายุการใช้งานหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ในขณะที่การฉีดพ่นด้วยแอลกอฮอล์ในรูปสารละลายเอทานอลเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจสะสมบนหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ไม่ได้ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างของเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ทำหน้ากาก จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเช่นกันในการยืดอายุการใช้งานในช่วงที่มีการขาดแคลนหน้ากากอนามัย เช่น ช่วงการระบาดของโรคโควิด-19 เป็นต้น ส่วนการใช้แผ่นกรองฝุ่นระดับ MERV 11 เป็นไส้กรองของหน้ากากผ้าควรใช้จำนวน 3 แผ่นซ้อนกันจึงจะให้ประสิทธิภาพการกรองเทียบเท่ากับหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ในขณะที่วัสดุทำหน้ากากจากผ้าฝ้ายดิบหรือการใช้กระดาษทิชชูเป็นไส้กรองของหน้ากากผ้าไม่มีความสามารถในการกรองฝุ่น $PM_{2.5}$ การทดสอบทั้งหมดในงานวิจัยนี้ควบคุมสภาพการสวมหน้ากากที่ทดสอบเข้ากับใบหน้าหุ่นฝึกให้แนบสนิท ดังนั้นหน้ากากอนามัยและหน้ากากผ้าที่เมื่อบุคคลสวมใส่จริงจะไม่แนบสนิทกับใบหน้าเท่ากับการใส่หน้ากาก N95 จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นของหน้ากากทั้งสองต่ำกว่าค่าที่วัดได้ในงานวิจัยนี้เพราะการรั่วไหลของอากาศบริเวณหน้ากากที่ไม่แนบสนิทกับใบหน้า อย่างไรก็ตามก็ตีคุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำหน้ากากมีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน ซึ่งเห็นได้จากหน้ากากที่ติดฉลาก N95 บางยี่ห้อกลับมีประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคพึงระวังในการซื้อสินค้าที่อาจไม่มีคุณภาพตามที่แจ้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณธีระพันธ์ จำเริญพัฒน์ และ คุณทับทิม ชชาติสุวรรณ ศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยมหาสารคามสำหรับการวิเคราะห์ภาพถ่าย SEM และการวิเคราะห์ FTIR

เอกสารอ้างอิง

- [1] วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์. (2561). อันตรายของฝุ่น PM2.5 แหล่งที่มาและแนวทางการควบคุม. *วิศวกรรมสาร*, 71(1), 9-17.
- [2] อัจฉรา ทองภู, จารุวรรณ ศรีอาภา, อุมภาพร สดับธรรมารักษ์, สมิง เก่าเจริญ, และธวัชชัย ชินวิเศษวงศ์. หน้ากากป้องกันอันตรายจากสารพิษ. *จุลสารพิษวิทยา*, 11(1), 6-10.
- [3] CDC. (2020). *42 CFR Part 84 Respiratory Protective Devices*. Retrieved 22 April 2020 from <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/pt84abs2.html>. Centers for Disease Control and Prevention, USA.
- [4] บีบีซี ไทย. (2563). *ไวรัสโคโรนา : ตราหมาหน้ากากอนามัย ขาดตลาด-แจกฟรี-รีไซเคิล*. สืบค้น 1 เมษายน 2563, จาก <https://www.bbc.com/thai/thailand-51717574>.
- [5] บีบีซี ไทย. (2563). *ไวรัสโคโรนา : 5 คำถามเรื่องหน้ากากอนามัย บีบีซีมีคำตอบ*. สืบค้น 1 เมษายน 2563, จาก <https://www.bbc.com/thai/thailand-51311296>
- [6] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2563). *Fact sheet การเลือกและการใช้หน้ากาก N95 ที่ถูกต้อง : ความรู้สำหรับประชาชน*. สืบค้น 1 เมษายน 2563, จาก http://nih.dmhc.moph.go.th/data/data/fact_sheet/2_62.pdf.
- [7] กระทรวงสาธารณสุข. (2563). *คลังความรู้สุขภาพ: ทำหน้ากากอนามัยแบบใช้เอง*. สืบค้น 1 เมษายน 2563, จาก http://healthydee.moph.go.th/view_article.php?id=687.
- [8] Cober, M.P., & Johnson, C.E. (2007). Stability of 70% Alcohol Solutions in Polypropylene Syringes for Use in Ethanol-Lock Therapy. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 64(230), 2480–2482. doi.org/10.2146/ajhp070233.
- [9] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2563). *Texture ของหน้ากากอนามัยและหน้ากากผ้า*. สืบค้น 1 เมษายน 2563, จาก <https://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=5907>.
- [10] จุริรัตน์ ประสาร. (2552). นอนวูฟเวน: ผ้าไม่ถักไม่ทอ. *วารสารเทคโนโลยีวัสดุ*, 57(ตุลาคม-ธันวาคม 2552), 21-27.
- [11] Fang, J., Zhang, L., Sutton, D., Wang, X., & Lin, T. (2012). Needleless Melt-Electrospinning of Polypropylene Nanofibres. *Journal of Nanomaterials*, doi.org/10.1155/2012/382639.
- [12] NIST Chemistry WebBook. (2018). *Ethanol*. Retrieved 22 April 2020 from <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C64175&Type=IR-SPEC&Index=2>.