

การประเมินประสิทธิภาพการกรองของวัสดุผ้าทั่วไป กับอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน

Evaluation of the Filtration Efficiency of Common Fabric Materials Against 0.3 μm Size Particle

พานิช อินต๊ะ*

หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตำบลป่าป้อง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

Panich Intra*

Research Unit of Applied Electric Field in Engineering, College of Integrated Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Lanna, Pajong, Doisaket, Chiang Mai 50220

บทคัดย่อ

ปัญหาการขาดแคลนหน้ากากอนามัยแบบใช้แล้วทิ้งในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย บางคนอาจต้องการใช้วัสดุผ้าทั่วไปในการป้องกันระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนหรือความสามารถในการจ่าย วัตถุประสงค์ของงานนี้ คือ เพื่อศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพการกรองของวัสดุผ้าทั่วไปกับอนุภาคขนาด 0.3 μm งานนี้ดำเนินการโดยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM F2299-03 เพื่อหาประสิทธิภาพการกรองและการทะลุผ่านของวัสดุผ้าด้วยการใช้ออนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ การศึกษานี้ได้ทดสอบวัสดุผ้า 5 ประเภทหลัก ได้แก่ ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าคอตตอน ผ้าฝ้ายทอมือ ฟ้านาโน และผ้าโพลีเอสเตอร์กับอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3 μm ที่ความเร็วด้านหน้าประมาณ 10.6 cm/s และเปรียบเทียบกับระดับการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 ผลการศึกษาพบว่าวัสดุผ้าที่ทดสอบในการศึกษานี้มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาค 0.3 μm อยู่ในช่วง 9-36 % ระดับการทะลุผ่านอนุภาคขนาด 0.3 μm ของวัสดุผ้าเหล่านี้สูงกว่าการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 มาก ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุผ้าทั่วไปอาจให้การป้องกันอนุภาคซบไมครอนและฝุ่น PM2.5 ได้เพียงเล็กน้อย

คำสำคัญ : วัสดุผ้า; ละอองลอย; การผ่านทะลุอนุภาค; การป้องกันระบบทางเดินหายใจ; ประสิทธิภาพการกรอง

Abstract

A shortage of disposable surgical masks can be expected during the COVID-9 pandemic in Thailand. Some individuals may want to use common fabric materials for respiratory protection

*ผู้รับผิดชอบบทความ : panich.intra@rmutl.ac.th

because of shortage or affordability reasons. This work aims to experimentally study the filtration efficiency of common fabric materials against 0.3 μm size particles. This work was carried out by the ASTM F2299-03 standard test method for determining the filtration efficiency and penetration of fabric materials by particulates using polystyrene latex spheres. In this study, five major categories of fabric materials, including microfiber cloth, cotton fabric, handwoven fabric, nano cloth, and polyester fabric, were tested with a particle diameter of about 0.3 μm at a face velocity of about 10.6 cm/s and compared with the penetration levels for N95 mask filter media. The results showed that these fabric materials tested in the study had a filtration efficiency of 0.3 μm particle in the range between 9 and 36 %. The penetration levels of these fabric materials against 0.3 μm size particles were much higher than the penetrations for the control N95 mask filter media. Results obtained in the study show that common fabric materials may provide marginal protection against submicron-size particles, including PM2.5.

Keywords: fabric material; aerosol; particle penetration; respiratory protection; filtration efficiency

1. บทนำ

การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ไปทั่วทุกภูมิภาคของโลกด้วยยอดผู้ติดเชื้อถึง 42,916,332 ราย และเสียชีวิต 1,154,301 ราย สำหรับประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อ 3,731 ราย และเสียชีวิต 59 ราย ข้อมูล ณ วันที่ 26 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 [1] อีกทั้งในช่วงมีการการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ได้เกิดปัญหาหมอกควันมีค่าฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานทั้งในกรุงเทพมหานครและหลายจังหวัดในภาคเหนือ ทำให้มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI (air quality index) ของประเทศไทยสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของโลกต่อเนื่องการหลายวัน [2] โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่น PM2.5 โรงงานอุตสาหกรรม โรงงานไฟฟ้า เขม่าควันจากไอเสียของเครื่องยนต์ และการเผาป่าหรือเผาชีวมวลในที่โล่ง Fushimi และคณะ [3] ได้แสดงให้เห็นว่าบนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีการแพร่กระจายของอนุภาคขนาดเล็กระดับซับไมครอน (submicron particle) หรืออนุภาคระดับนาโน (nanoparticle) โดยมีการกระจายของจำนวนอนุภาค (particle count

distribution) สูงสุดที่ 100-200 nm (0.1-0.2 μm) ซึ่งอนุภาคไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเขม่าคาร์บอนดำ (black carbonaceous soot) ที่มีอนุภาคระดับซับไมครอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-500 nm (0.03-0.5 μm) ซึ่งสอดคล้องกับ Intra และ Siriachawawath [4] ได้ตรวจวัดการกระจายขนาดอนุภาคในอากาศที่เชียงใหม่ในช่วงที่มีปัญหาหมอกควันไฟป่า พบว่าอนุภาคในอากาศในช่วงที่ตรวจวัดมีการกระจายขนาดอยู่ในช่วง 11.5-365.2 nm (0.0115-0.365 μm) ซึ่งอนุภาคในช่วงขนาดดังกล่าวนี้เป็นส่วนประกอบหลักของอนุภาคขนาดเล็กหรือฝุ่น PM2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับฝุ่น PM2.5 ในอากาศมีส่วนทำให้ไวรัสโควิด-19 แพร่หรือระบาดได้ดีขึ้น โดย Srivastava [5] พบว่าฝุ่น PM2.5 ที่มีไวรัสโควิด-19 ที่เกิดจากการจามและไอ ซึ่งเป็นตัวกลางสำคัญในการแพร่กระจายของไวรัสเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจ ทำให้ไวรัสโควิด-19 แพร่หรือระบาดได้ดีขึ้น รายงานการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในประเทศจีนที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะมีจำนวนผู้ติดเชื้อไวรัส

โควิด-19 รายวันเพิ่มขึ้น 2.24 % นอกจากนี้ Leiva และคณะ [6] ยังได้รายงานถึงผลกระทบของโรคหลอดเลือดสมองจากฝุ่น PM2.5 ว่าความเข้มข้นของ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาฉุกเฉินเนื่องจากสาเหตุของหลอดเลือดสมองเพิ่มขึ้นถึง 1.29 %

การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 และปัญหาฝุ่น PM2.5 ดังกล่าวได้ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยเฉพาะหน้ากากอนามัยประเภทใช้ครั้งเดียว (disposable surgical mask) และหน้ากาก N95 (N95 mask) ทำให้ความต้องการหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปกติ 2-3 เท่า ส่งผลให้ราคาหน้ากากอนามัยสูงขึ้นหลายเท่า ทำให้เกิดขาดแคลนหน้ากากอนามัยสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ และผู้ป่วยในโรงพยาบาลทั่วประเทศ เนื่องจากโรงงานผู้ผลิตหน้ากากอนามัยไม่สามารถส่งหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ให้กับโรงพยาบาลตามปกติ ขณะที่ความต้องการหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ของประชาชนเพื่อใช้ในการป้องกันทั้งไวรัสโควิด-19 และฝุ่น PM2.5 ก็สูงขึ้นจนเกิดสถานการณ์ตึงเครียดหนักไปทั่วประเทศ ปัญหาการขาดแคลนหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ดังกล่าวจึงมีความต้องการใช้วัสดุผ้าทั่วไปในการป้องกันระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากหน้ากากผ้าอาจเป็นทางเลือกเดียวสำหรับบางคนในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 และปัญหาฝุ่น PM2.5 มีงานวิจัยที่แนะนำเกี่ยวกับวัสดุป้องกันระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ รวมถึงวัสดุผ้าทั่วไป ได้แก่ เลื่อยัด ผ้าเช็ดหน้า ผ้าพันคอ เป็นต้น [7-12] กรณีที่ไม่มีหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 บางคนอาจใช้วัสดุผ้าทั่วไปชั่วคราวเพื่อป้องกันระบบทางเดินหายใจขณะเข้าสู่สภาพแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนไวรัสและฝุ่น PM2.5 เช่น เมื่อดูแลสมาชิกในครอบครัวที่ติดเชื้อที่บ้านหรือโรง

พยาบาล การออกไปทำงานข้างนอกบ้านที่ต้องเผชิญทั้งฝุ่น PM2.5 และเสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโควิด-19 ในที่ชุมชนหรือที่ทำงาน วัสดุที่ใช้ในครัวเรือนเหล่านี้ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อการป้องกันระบบทางเดินหายใจและการใช้งานอาจให้ความรู้สึกที่ผิดในการป้องกัน เนื่องจากยังไม่มีเข้าใจที่ถึงประสิทธิภาพของอนุภาคขนาดใหญ่และอนุภาคขนาดเล็ก รวมถึงไวรัส ซึ่งบ่งชี้ว่าจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากผ้าและวัสดุผ้าทั่วไปกับอนุภาคขนาดต่าง ๆ รวมถึงอนุภาคขนาดของไวรัสหลายชนิดและฝุ่น PM2.5 ความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพการกรองของวัสดุผ้าทั่วไปสำหรับอนุภาคขนาดเล็กมีค่อนข้างจำกัด ในต่างประเทศมีการศึกษาประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากผ้าและวัสดุผ้าทั่วไปกับอนุภาคขนาดเล็ก [12] และประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของผ้าทั่วไปที่ใช้ในหน้ากากผ้าทางเดินหายใจ [5] มีการศึกษาประสิทธิภาพของผ้าสำหรับทำหน้ากากอนามัยแบบผ้าด้วยตัวเอง [6] สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาดเล็กและฝุ่น PM2.5 ของวัสดุผ้าทั่วไปหรือในท้องถิ่นชัดเจนในช่วงก่อนหรือช่วงที่โควิด-19 ระบาดและช่วงฝุ่น PM2.5 สูง จึงทำให้เกิดการขาดความรู้และความเข้าใจในการนำวัสดุผ้าทั่วไปหรือในท้องถิ่นมาใช้ทำหน้ากากอนามัยแบบผ้า ทำให้เกิดความกังวลไม่สามารถป้องกันการติดเชื้อและฝุ่น PM2.5

โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของแผ่นกรองเส้นใยไฟเบอร์ (fibrous filter) แบบนอนวูฟเวน (nonwoven) จะมีกลไกการกรองอนุภาคอยู่ 3 กลไกหลัก (ดังแสดงในรูปที่ 1) คือ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (inertial impaction) การสกัดกั้น (interception) และการแพร่กระจาย (diffusion) โดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยและการสกัดกั้นเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ในการ

กรองอนุภาคขนาดใหญ่กว่า $0.5 \mu\text{m}$ การสกัดกั้นและการแพร่กระจายเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ในการกรองอนุภาคขนาดใหญ่ในช่วง $0.1-0.5 \mu\text{m}$ และการแพร่กระจายเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ในการกรองอนุภาคขนาดเล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$ [18] ซึ่งแผ่นกรองเส้นใยบางชนิดที่สร้างจากเส้นใยที่มีประจุไฟฟ้าสถิต (electrostatic charge) จะมีกลไกเสริมการแพร่กระจายในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า $0.3 \mu\text{m}$ แผ่นกรองทุกชนิดจะมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นต่ำในช่วงอนุภาคขนาด $0.1-0.5 \mu\text{m}$ เนื่องจากเป็นช่วงขนาดอนุภาคที่กลไกการแพร่กระจายการกระทบด้วยแรงเฉื่อยและการสกัดกั้นดักกรองได้ต่ำ โดยขนาดอนุภาคที่ผ่านทะลุแผ่นกรองได้ดีที่สุด (most penetrating particle size) คือ อนุภาคขนาด $0.3 \mu\text{m}$ การวิจัยนี้จึงสนใจใช้อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.3 \mu\text{m}$ ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้า เนื่องจากเป็นขนาดอนุภาคที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองตามมาตรฐานของหน้ากากกรองอากาศหรือฝุ่น และอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.3 \mu\text{m}$ ยังเป็นส่วนประกอบหลักของอนุภาคขนาดเล็กหรือฝุ่น PM2.5 ที่เป็นตัวกลางสำคัญในการแพร่กระจายไวรัสโคโรนา-19 เข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจดังที่กล่าวมาแล้ว และหากพิจารณาในรูปที่ 1 แล้วจะเห็นว่าหากแผ่นกรองหรือวัสดุกรองสามารถกรองอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.3 \mu\text{m}$ ก็จะกรองอนุภาคในช่วงขนาดอื่นได้ดีเช่นกัน

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ เพื่อศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้าทั่วไปตามมาตรฐาน ASTM F2299-03 โดยทดสอบวัสดุผ้า 5 ประเภทหลักในประเทศไทย ได้แก่ ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้าย ผ้าฝ้ายทอมือ ผ่านนาโน และผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งเปรียบเทียบกับระดับการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 การทดสอบกับอนุภาคขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางประมาณ $0.3 \mu\text{m}$ ที่ความเร็วด้านหน้าประมาณ 10.6 cm/s ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตหน้ากากอนามัยแบบผ้า หรือผู้ที่สนใจที่กำลังเลือกหาวัสดุผ้าหลายแบบเพื่อใช้ประกอบทำหน้ากากอนามัยแบบผ้าที่ใช้ในการป้องกันระบบทางเดินหายใจจากการระบาดของโควิด-19 และฝุ่น PM2.5

2. ทฤษฎีการกรองอนุภาค

ทฤษฎีการกรอง (filtration theory) เป็นการอธิบายการกรองอนุภาคของตัวกรองเส้นใยไฟเบอร์ที่พิจารณาการดักจับอนุภาคด้วยเส้นใยเดี่ยว (single fiber) ประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว (single-fiber efficiency) นิยามเป็นอัตราส่วนของจำนวนอนุภาคที่กระทบเส้นใยต่อจำนวนอนุภาคที่จะกระทบหากเส้นกระแส (streamline) ไม่เบี่ยงเบนไปรอบเส้นใย ถ้ารัศมีของเส้นใย R_f กำจัดทุกอนุภาคที่อยู่ภายในชั้นความหนา Y ดังรูปที่ 2

ประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว η จะนิยามเป็น [13]

$$\eta = \frac{Y}{R_f} \quad (1)$$

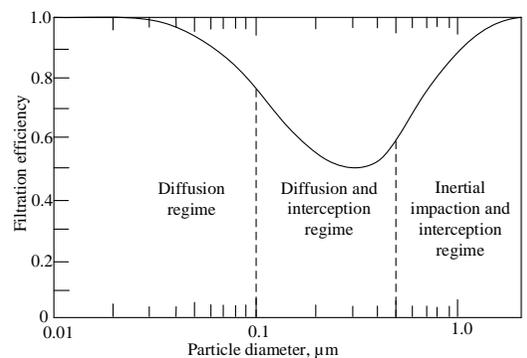


Figure 1 Schematic of filter efficiency vs. particle size illustrating the different filtration regimes [13]

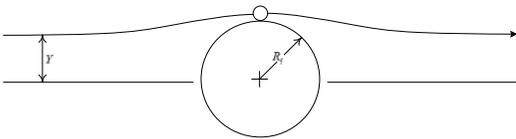


Figure 2 Definition of single-fiber efficiency [13]

ประสิทธิภาพโดยรวมหรือประสิทธิภาพรวม E ของตัวกรองที่ประกอบด้วยหลายเส้นใยในแผ่นสามารถอธิบายตามความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว คือ [13]

$$E = 1 - \exp \left[\frac{-4\eta\alpha L}{\pi d_f (1 - \alpha)} \right] \quad (2)$$

เมื่อ α คือ ความแข็งหรือความหนาแน่นของตัวกรอง [1 - ความพรุน (porosity)] L คือ ความลึกหรือความหนาของตัวกรอง และ d_f คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นใย

โดยปกติเส้นการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเบี่ยงเบนจากเส้นกระแสเนื่องจากหลายกลไกผลที่ตามมา คือ อนุภาคจะชนกับพื้นผิวของเส้นใยและจะเกาะติดหรือสะสมอยู่บนเส้นใย โดยกลไกสำคัญที่ทำให้อนุภาคเกาะติดหรือสะสมตัวอยู่บนเส้นใย คือ การแพร่ การกระแทกเนื่องจากแรงเฉื่อย การสกัดกั้นและการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (gravitational settling) ดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนั้นประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว η สามารถสมมติด้วยการประมาณที่ประกอบด้วยผลรวมเลขคณิตของประสิทธิภาพแต่ละตัวจากกลไกการแพร่ η_{diff} กลไกการกระแทกเนื่องจากแรงเฉื่อย η_{imp} กลไกการสกัดกั้น η_{inter} และกลไกการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง η_{grav} โดยการกระแทกด้วยแรงเฉื่อย การสกัดกั้น และกลไกการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ในการดักกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า $0.5 \mu\text{m}$ การสกัดกั้นและการแพร่กระจายเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ในการกรองอนุภาคขนาดในช่วง $0.1-0.5 \mu\text{m}$ ส่วนการแพร่กระจายเป็นกลไกที่

ทำหน้าที่ในการดักกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$

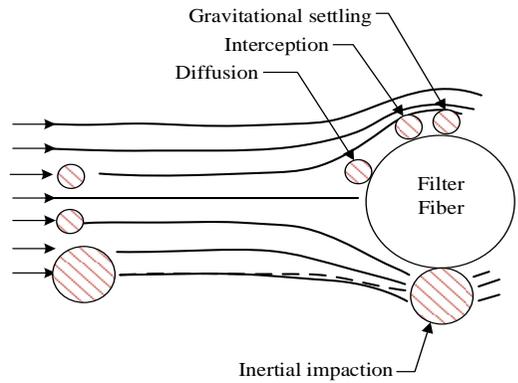


Figure 3 Particle transport mechanisms of single fiber.

สำหรับในการทดลองจะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของตัวกรองจาก

$$\eta_{exp} = \frac{c_{inlet} - c_{outlet}}{c_{inlet}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ c_{inlet} คือ ความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคก่อนผ่านของตัวกรอง และ c_{outlet} คือ ความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคหลังผ่านของตัวกรอง

และค่าการทะลุผ่านอนุภาค (particle penetration) ของตัวกรองจะคำนวณได้จาก

$$P_{exp} = 100 - \eta_{exp} \quad (4)$$

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษานี้ทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.3 \mu\text{m}$ ของวัสดุผ้า 5 ประเภทหลัก ได้แก่ ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าคอตตอน ผ้าฝ้ายทอมือ ฟ้านาโน และผ้าโพลีเอสเตอร์เปรียบเทียบกับระดับการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 โดยทดสอบตามวิธีการทดสอบมาตรฐานของมาตรฐาน ASTM F2299-03 ซึ่งเป็นวิธีทดสอบมาตรฐาน

ฐานสำหรับการหาประสิทธิภาพการกรองและการทะลุผ่านของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ด้วยการใช้ออนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่กำหนดโดยสมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials) [14] โดยการศึกษาที่สนใจทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้า 1 ชั้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างของวัสดุผ้า การผ่านทะลุอนุภาค (particle penetration) ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (particle filtration efficiency) และความต่างความดัน (differential pressure) ของวัสดุผ้าแต่ละชนิด ซึ่งจะเป็ประโยชน์สำหรับการเลือกวัสดุผ้าแต่ละชนิดมาประกอบผสมผสานหรือการซ้อนทับผ้าหลายชนิดที่มีโครงสร้างต่างกันในการทำเป็นหน้ากากอนามัยแบบผ้าที่ให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคดีขึ้นกว่าการใช้ผ้าชนิดเดียวซ้อนทับกัน รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายของวัสดุผ้าที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ (a) ผ้าไมโครไฟเบอร์ (b) ผ้าฝ้ายทอมือ (c) ผ้าคอตตอน (d) ผ้าโพลีเอสเตอร์ และ (e) ฝ้านาโน โดยตัดวัสดุผ้าที่ใช้ในการทดสอบเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.76 cm ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางกายภาพของวัสดุผ้าที่ใช้ในการทดสอบนี้ คือ อัตราส่วนผสมเส้นใย (fiber mixture ratio) โครงสร้างผ้า (fabric structure) และความหนา (thickness) การศึกษานี้ได้

ทดสอบค่าการซึมผ่านของอากาศ (air permeability) ของวัสดุผ้าทั้ง 5 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศ (air permeability tester) ของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

รูปที่ 5 แสดงแผนภาพอุปกรณ์การทดลองสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้าในการศึกษานี้ วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วยอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (polystyrene Latex sphere) แหล่งกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer aerosol generator) แหล่งจ่ายอากาศสะอาด (filtered air supply) เครื่องอัดอากาศ (air compressor) ตัวไล่ความชื้นแบบแพร่ (diffusion dryer) ตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง (aerosol neutralizer) ชุดวาล์วปรับความเข้มข้น (concentration adjustment valve) เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต (electrostatic size classifier) เครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้ (scanning mobility particle sizer) มาโนมิเตอร์ (manometer) ห้องทดสอบ (test chamber) ห้องผสมและเจือจางละอองลอย (aerosol mixing and dilution chamber) มาตรวัดการไหล (flow meter) และตัวกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง (HEPA filter)

รูปที่ 6 แสดงภาพถ่ายอุปกรณ์และเครื่องมือที่

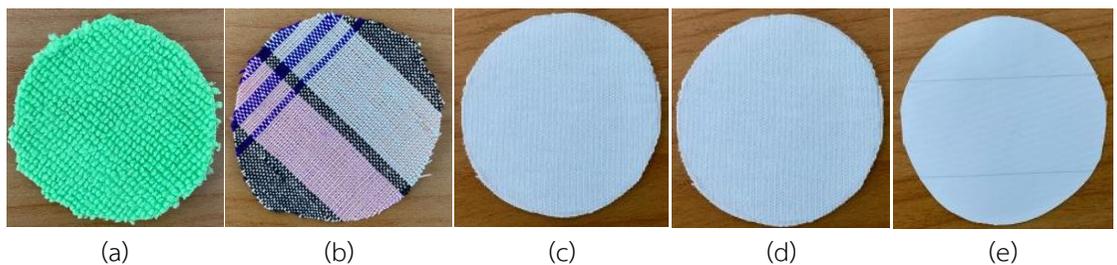


Figure 4 Photos of fabric materials: (a) Hand woven fabric, (b) Hand woven fabric, (c) Polyester fabric, (d) Cotton fabric, and (e) Nano cloth

Table 1 Physical properties of fabric materials used in this study.

Fabric types	Fiber mixture ratio	Fabric structures	Thickness (mm)
Microfiber cloth	PES 100 %	Thread size: - Number of loop knitting: 20 x 14 Fabric weight: 280 g/m ²	3.41
Handwoven fabric	PES and RAYON and COT and ACRYLIC	Thread size: 18 x 10 Ne Yarn count: 54 x 45 Fabric weight: 188 g/m ²	1.05
Polyester fabric	PES 100 %	Thread size: 42 Ne Number of loop knitting: 30 x 33 Fabric weight: 131 g/m ²	1.06
Cotton fabric	COT 21 % and PES 79 %	Thread size: 29 Ne Number of loop knitting: 37 x 52 Fabric weight: 144 g/m ²	0.86
Nano cloth	PES and Nylon	Thread size: 138 Denier Number of loop knitting: 59 x 52 Fabric weight: 282 g/m ²	1.12

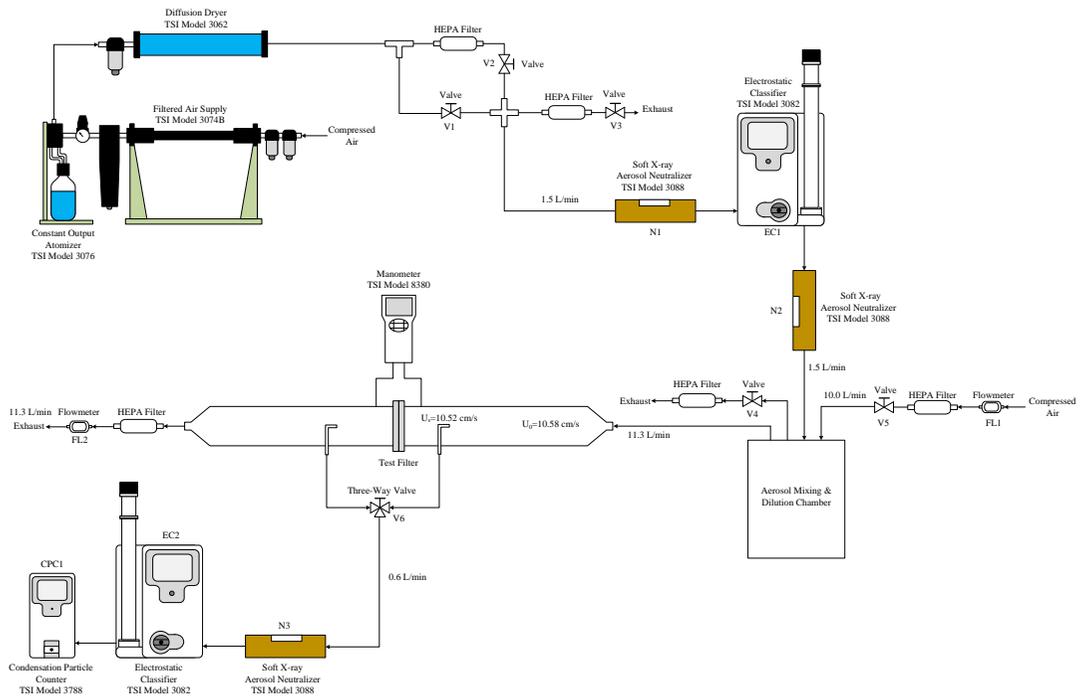


Figure 5 Experimental setup for evaluating the filtration efficiency of fabric materials



Figure 6 Photo of the experimental setup for evaluating the filtration efficiency of fabric materials

ใช้สำหรับการศึกษานี้ การทดสอบประสิทธิภาพการกรองใช้ออนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 nm หรือ 0.3 μm ของ Thermo Scientific™ Dri-Cal™ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (geometric standard deviation) 1.6 % ที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานจากสถาบัน

แห่งชาติของมาตรฐานและเทคโนโลยี (National Institute of Standards and Technology, NIST) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจ่ายอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ผสมในน้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized water) ในสัดส่วน 1000 : 1 จากแหล่งกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Model

3076, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) จากนั้นอนุภาคจะผ่านเข้าไปยังตัวไล่ความชื้นแบบแพร่ (Model 3062, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อกำจัดละอองน้ำและความชื้นออก โดยความเข้มข้นของอนุภาคสามารถปรับให้เหมาะสมด้วยชุดวาล์วปรับความเข้มข้นด้านหลังตัวไล่ความชื้น หลังจากชุดวาล์วปรับความเข้มข้น จะทำให้อนุภาคมีสมดุลประจุบ็อลทซ์มัน (Boltzmann equilibrium charge equivalent) ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ soft X-ray (Model 3088, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อตัดแยกขนาดอนุภาคแบบความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า (electrical mobility) ด้วยเครื่องตัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต (Model 3082, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) โดยแยกอนุภาคตกค้าง (residual particle) ที่เป็นอนุภาคแร่ธาตุของน้ำออกให้ได้เฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเดี่ยว (monodisperse aerosol) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 μm

รูปที่ 7 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ 0.3 μm ก่อนผ่านการตัดแยกขนาดด้วยเครื่องตัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต จะเห็นอนุภาคตกค้าง (residual particle) ที่เป็นอนุภาคแร่ธาตุของน้ำขนาดเล็กกว่า 0.3 μm เจือปนกับอนุภาคพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ทำให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐาน (median diameter) 57.4 nm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mean diameter) 100.8 nm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (geometric mean diameter) 66.4 nm เส้นผ่านศูนย์กลางฐานนิยม (mode diameter) 299.6 nm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (geometric standard deviation) 2.43 ซึ่งอนุภาคตกค้างนี้จะมีผลต่อการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุกรองในช่วงขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.3 μm เพื่อหลีกเลี่ยงผลของอนุภาคตกค้างดังกล่าวต้องมีการตัดแยกขนาดอนุภาคก่อนด้วยเครื่อง

ตัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต รูปที่ 8 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคพอลิสไตรีน ลาเท็กซ์ 0.3 μm ที่ผ่านการตัดแยกขนาดด้วยเครื่องตัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต มีเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐาน 303.2 nm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 304.3 nm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต 303.6 nm เส้นผ่านศูนย์กลางฐานนิยม 299.6 nm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต 1.07

หลังจากตัดแยกขนาดแล้วทำให้อนุภาคพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ 0.3 μm มีสภาพประจุเป็นกลางด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ soft X-ray (Model 3088, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อป้องกันการสูญเสียอนุภาค (particle loss) ในระบบหรือในท่อและห้องทดสอบตัวอย่าง และเพื่อหลีกเลี่ยงผลของประจุไฟฟ้าสถิตที่จะเกิดขึ้นในขณะทดสอบประสิทธิภาพการกรองของวัสดุผ้า [15] การศึกษาใช้ท่อซิลิโคนนำไฟฟ้า (conductive silicone tube) และท่อเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel tube) เป็นท่อสำหรับนำส่งและการเก็บตัวอย่างอนุภาคเพื่อป้องกันการสูญเสียของอนุภาคในระบบทดสอบ โดยท่อซิลิโคนนำไฟฟ้าและท่อเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าการทะลุผ่านของอนุภาค 100-300 nm มากกว่า 95 % [16] หลังจากผ่านตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง อนุภาคเข้าไปยังห้องผสมและเจือจางละอองลอยเพื่อเจือจางกับอากาศให้ได้อัตราการไหลและความเข้มข้นของอนุภาคที่ต้องการ สำหรับการทดสอบหน้ากาก N95 ตาม 42 CFR 84 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ สหรัฐ (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) เป็นการจำลองในกรณีที่เลวร้ายที่สุด (worst case) ที่อาจพบได้ในสภาพแวดล้อมการทำงานทั่วไป คือ ทำให้เกิดการผ่านทะลุหรือแทรกซึมตัวกรองสูงสุด (maximum filter penetration) จึงกำหนดอัตราการไหลของอากาศใน

การทดสอบที่อัตราการทำงานสูง (high work rate) ของมนุษย์ คือ 85 หรือ 95 ลิตรต่อนาที [17] ใน 42 CFR 84 จึงกำหนดอัตราการไหลในการทดสอบ คือ 85 ลิตรต่อนาที สำหรับพื้นที่ผิว (surface area) ของหน้ากากหรือแผ่นกรองประมาณ 135 cm² จะได้ความเร็วด้านหน้า (face velocity) 10.6 cm/s ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ความเร็วด้านหน้าเดียวกับการทดสอบหน้ากาก N95 คือ 10.6 cm/s สำหรับการทดสอบนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับความเร็วด้านหน้าประมาณ 10.6

cm/s การทดสอบนี้กำหนดอัตราการไหลอนุภาคที่ประมาณ 11.3 L/min และพื้นที่ในการทดสอบประมาณ 17.8 cm² โดยมีตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) 332.48 และตัวเลขสโตกส์ (Stoke's number) 0.41 โดยกำหนดให้อัตราการไหลอนุภาคจากเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคกำหนดคงที่ 1.5 L/min อัตราการไหลของอากาศสะอาดผ่านตัวกรองประสิทธิภาพสูงเพื่อเจือจาง 10.0 L/min และอัตราการไหลของอากาศปล่อยทิ้ง 0.2 L/min

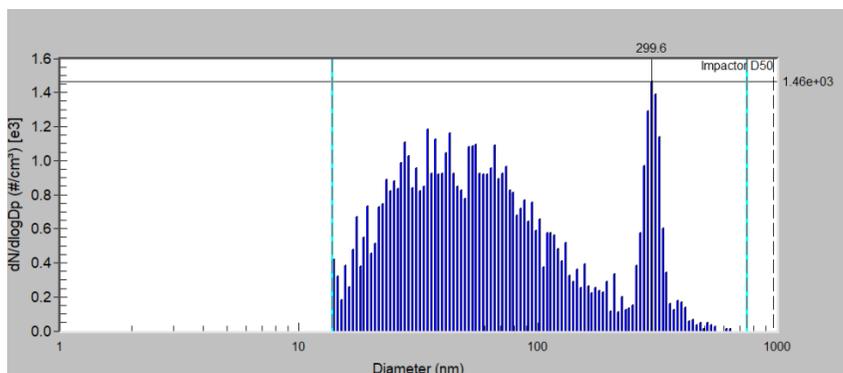


Figure 7 Number weighted size distribution of 0.3 μm polystyrene latex particle before size classifier

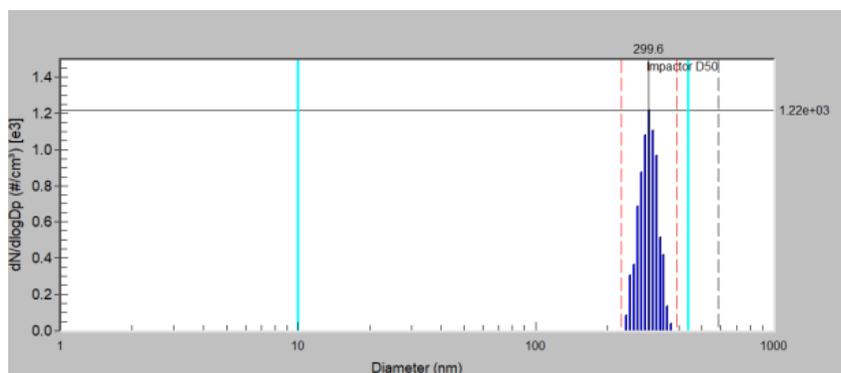


Figure 8 Number weighted size distribution of 0.3 μm polystyrene latex particles.

จากนั้นอัตราการไหลที่ต้องการสำหรับการทดสอบของอนุภาคขนาด 0.3 μm ที่ 11.3 L/min จะผ่านเข้าไปยังห้องทดสอบ (test chamber) ซึ่งมีแผ่นวัสดุผ้าทดสอบอยู่ภายใน ส่วนของห้องทดสอบมีขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.76 cm ยาว 100 cm ซึ่งตัวอย่างวัสดุ (material specimen) จะอยู่ห่างจากทางเข้าอนุภาค (particle inlet) 10 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (duct diameter) โดยหัวเก็บตัวอย่างอนุภาค (particle

sampling probe) ก่อนแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่างวัสดุ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (9.52 cm) และหัวเก็บตัวอย่างอนุภาคหลังแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่างวัสดุ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (14.28 cm) หัวเก็บตัวอย่างทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 cm การเก็บตัวอย่างอนุภาคในการทดสอบนี้ จะเป็นการเก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (isokinetic sampling) ทิศทางของของไหลที่ทางเข้าหัววัดและแกนของหัวเก็บตัวอย่างอยู่ในแกนเดียวกัน คือ ขนานกับเส้นการไหลของของไหลและความเร็วของของไหลที่จุดทางเข้าหัววัดมีค่าเท่ากับความเร็วของการไหลภายนอก คือ ประมาณ 10.6 cm/s ที่อัตราการไหลอนุภาค 0.6 L/min โดยที่หัวเก็บตัวอย่างมีตัวเลขเรย์โนลด์ 76.40 และตัวเลขสโตกส์ 1.77 โดยขณะทดสอบมีการวัดค่าความต่างความดันของแผ่นวัสดุผ้าด้วยมาโนมิเตอร์ (Model 8380, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA)

Table 2 Ranges and values of variables investigated

Variables	Ranges
Particle type	Polystyrene latex sphere
Particle number concentration	1.1-2.9 x 10 ³ particles/cm ³
Particle size	0.3 μm
Filter test area	17.8 cm ²
Flow rate	11.3 L/min
Face velocity	10.6 cm/s
Operating relative humidity	55 % RH
Operating pressure	1 atm
Operating temperature	25 °C

โดยการหาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้าในการศึกษานี้วัดการกระจายขนาดอนุภาคเชิงจำนวน (number weighted particle size distribution) ทั้งก่อน (up stream) และหลังผ่าน (down stream) วัสดุผ้าทดสอบด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค

แบบสแกนความเคลื่อนที่ได้หรือ SMPS ที่ประกอบด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต และเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (Model 3788, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) สำหรับการสูญเสียของอนุภาคภายใน SMPS มีการใช้อัลกอริทึมการสูญเสียการแพร่กระจาย (diffusion loss algorithm) ในซอฟต์แวร์ควบคุมการวัดของ SMPS เมื่อขนาดอนุภาคละอองลอยเล็กกว่า 100 nm [18] โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของแผ่นวัสดุผ้าที่ทดสอบ ๗ จะคำนวณได้จากสมการที่ 3 ตารางที่ 2 แสดงช่วงและค่าของตัวแปรที่ทดสอบ การทดสอบนี้จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบที่ 25 °C และ 55 % RH ตามลำดับ

Table 3 Air permeability of fabric materials

Fabric types	Air permeability (cm ³ /cm ² /s)
Microfiber cloth	12.9
Hand woven fabric	53.1
Polyester fabric	65.4
Cotton fabric	63.3
Nano cloth	3.4

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ตารางที่ 3 แสดงค่าการซึมผ่านอากาศของวัสดุผ้าทั้ง 5 ตัวอย่าง พบว่าค่าการซึมผ่านอากาศของวัสดุผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าคอตตอน และผ้า nano มีค่า 12.9, 53.1, 65.4, 63.3 และ 3.4 cm³/cm²/s ซึ่งค่าการซึมผ่านอากาศของวัสดุผ้าจะแปรผกผันตรงกับค่าน้ำหนักผ้า (fabric weight) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยวัสดุผ้าที่น้ำหนักผ้าสูงจะมีค่าการซึมผ่านอากาศต่ำ ซึ่งการซึมผ่านอากาศของวัสดุผ้ามีผลต่อการต้านการหายใจ ถ้าค่าซึมผ่านอากาศต่ำจะทำให้ต้านการหายใจสูง และถ้าค่าซึมผ่านอากาศสูง

จะทำให้ด้านการหายใจต่ำ โดยหน้ากากอนามัยแบบผ้า ควรด้านการหายใจต่ำ ซึ่งจะทำให้ผู้สวมใส่ไม่รู้สึกเหนื่อยขณะสวมใส่

รูปที่ 9 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคขนาด 0.3 μm ก่อนและหลังผ่านวัสดุผ้าทดสอบและวัสดุกรองหน้ากาก N95 วัดด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค

แบบสแกนความเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของกระจายขนาดของอนุภาคก่อนและหลังผ่านวัสดุกรอง โดยค่าความเข้มข้นรวมของอนุภาคก่อนผ่านจะมีค่าที่สูงกว่าหลังผ่าน เนื่องจากอนุภาคบางส่วนถูกดักกรองหรือสะสมตัวอยู่บนเส้นใยของวัสดุผ้ากรอง

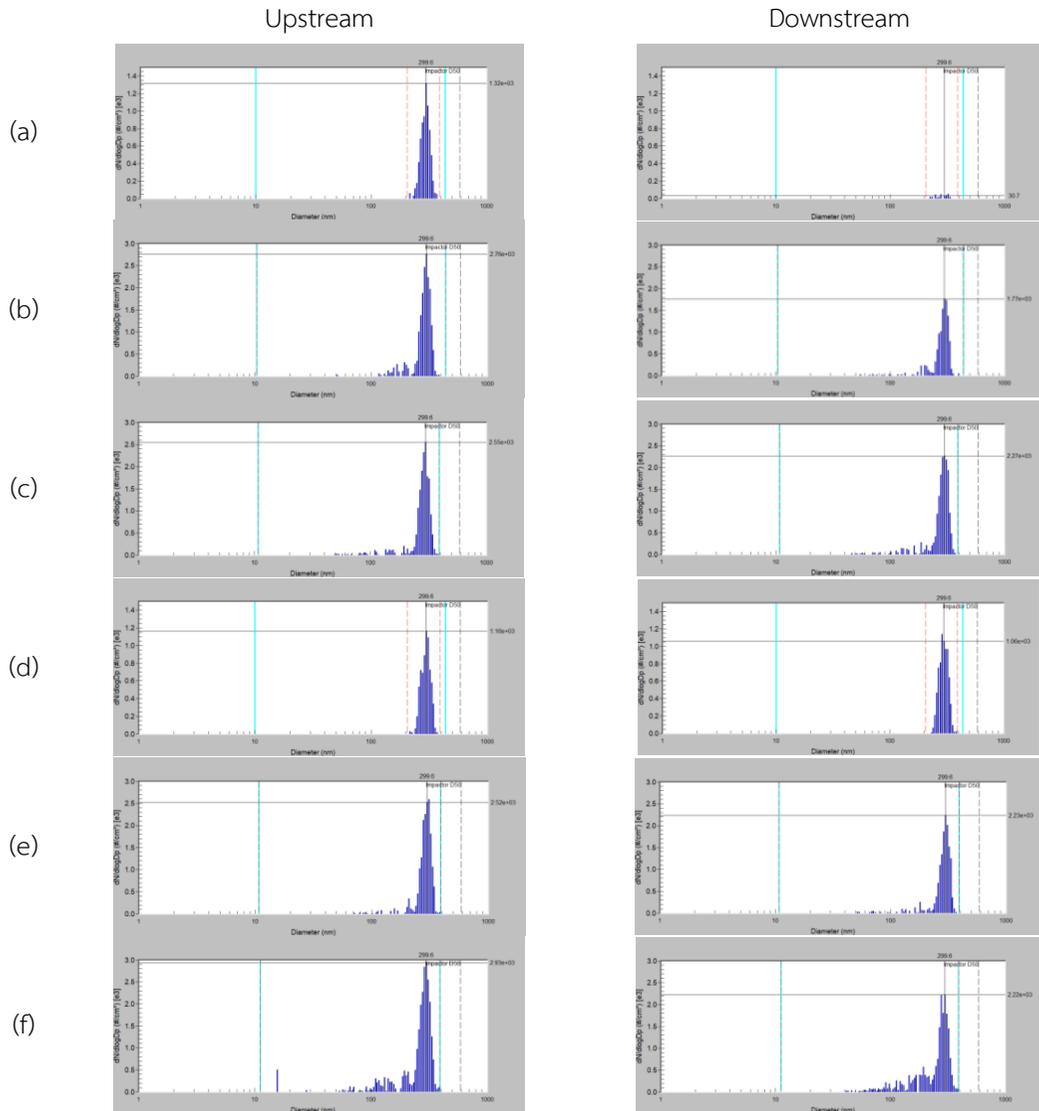


Figure 9 Particle size distribution at upstream and downstream of fabric materials: (a) N95 respirator filter media, (b) Hand woven fabric, (c) Hand woven fabric, (d) Polyester fabric, (e) Cotton fabric, and (f) Nano cloth

Table 4 Differential pressure, particle penetration and particle filtration efficiency of fabric materials

Fabric types	Particle number concentration (particles/cm ³)		Differential pressure (mm H ₂ O)	Particle penetration (%)	Filtration efficiency (%)
	Upstream	Downstream			
N95 respirator filter media	1,320	31	20.2	2	98
Microfiber cloth	2,760	1,770	55.1	64	36
Hand woven fabric	2,550	2,270	21.4	89	11
Polyester fabric	1,160	1,060	18.6	91	9
Cotton fabric	2,520	2,230	16.5	88	12
Nano cloth	2,930	2,220	110.2	76	24

ตารางที่ 4 แสดงค่าความต่างความดัน การทะลุผ่านอนุภาคและประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้าเปรียบเทียบกับวัสดุกรองหน้ากาก N95 โดยค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนรวมของอนุภาคก่อนผ่านวัสดุกรองของหน้ากาก N95 ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าคอตตอน และผ้านาโนมีค่า 1,320, 2,760, 2,550, 1,160, 2,520 และ 2,930 particles/cm³ ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนรวมของอนุภาคหลังผ่านวัสดุกรองของหน้ากาก N95 ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าคอตตอน และผ้านาโนมีค่า 31, 1,770, 2,270, 1,060, 2,230 และ 2,220 particles/cm³ ตามลำดับ ซึ่งจะได้ค่าการทะลุผ่านของอนุภาคของวัสดุกรองของหน้ากาก N95 ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าคอตตอน และผ้านาโนมีค่า 2, 64, 89, 91, 88 และ 76 % ตามลำดับ โดยระดับการทะลุผ่านอนุภาคขนาด 0.3 µm ของวัสดุผ้าตัวอย่างในการทดสอบทั้ง 5 ตัวอย่าง จะมีค่าสูงกว่าการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 ค่อนข้างมาก ซึ่งผลการทดลองการทะลุผ่านที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับ Rengasamy และคณะ [12] ที่พบว่า การทะลุผ่านอนุภาคเกลือ (NaCl) ขนาด 0.02-1.0 µm ของวัสดุผ้า

หลายชนิดที่ใช้ในการทดสอบสูงกว่าการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 โดยค่าการทะลุผ่าน คือ 40-97 %

ตารางที่ 4 พบว่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.3 µm ของวัสดุกรองของหน้ากาก N95 ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าคอตตอน และผ้านาโนมีค่า 98, 36, 11, 9, 12, 24 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุกรองหน้ากาก N95 เห็นว่าวัสดุผ้าตัวอย่างทั้ง 5 ประเภท มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.3 µm ได้ค่อนข้างต่ำ โดยมาตรฐาน ASTM F2100-19e1 ได้กำหนดให้วัสดุกรองที่นำมาใช้ทำหน้ากากอนามัยจะต้องมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคมากกว่าหรือเท่ากับ 95, 98 และ 98 % ในระดับการป้องกันที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ [19] การทดสอบนี้วัดค่าความต่างความดันระหว่างการทดสอบของวัสดุกรองหน้ากาก N95 ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าคอตตอน และผ้านาโนได้ 20.2, 55.1, 21.4, 18.6, 16.5 และ 110.2 mm H₂O ตามลำดับ ซึ่งค่าความต่างความดันมีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกับค่าการซึมผ่านอากาศที่ได้อธิบายในข้างต้น

ประสิทธิภาพการกรองของวัสดุกรอง โดยทั่วไป

จะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค คุณลักษณะของวัสดุตัวกรอง และความเร็วด้านหน้า ซึ่งลักษณะการทอ ความพรุน (porosity) ขนาดรูพรุน (pore size) และความหนาของวัสดุผ้าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาค โดยวัสดุผ้าที่มีความพรุนต่ำสุดและขนาดรูพรุนเล็กจะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคสูง วัสดุผ้าที่มีความพรุนสูงสุดและขนาดรูพรุนใหญ่จะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคต่ำ และวัสดุผ้าที่มีความพรุนสูงและขนาดรูพรุนเล็กจะให้ด้านทานการไหลของอากาศสูง ปกติแล้ววัสดุผ้าทั่วไปจะมีความพรุนและขนาดรูพรุนที่ใหญ่ (มากกว่า 10 μm หรือเท่ากับ 100 μm) ซึ่งใหญ่กว่าอนุภาคขนาด 0.3 μm ที่ใช้ในการทดสอบในการศึกษานี้ จึงทำให้อนุภาคขนาด 0.3 μm ทะลุผ่านได้ง่าย โดยมีการแพร่กระจายและการสกัดกั้นกับเส้นใยของวัสดุผ้าน้อย สมการที่ 2 จะสามารถอธิบายถึงผลของความหนาของวัสดุกรองต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาค คือ ความหนาของวัสดุผ้าจะเป็นฟังก์ชันของประสิทธิภาพการกรองอนุภาค โดยวัสดุกรองที่มีความหนาจะสามารถกรองอนุภาคดีกว่าวัสดุกรองที่มีความบางกว่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการศึกษานี้ โดยผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าคอตตอน และผ้านาโนมีความหนา 3.41, 1.05, 1.06, 0.86 และ 1.12 mm ตามลำดับ และให้ประสิทธิภาพการกรอง 36, 11, 9, 12 และ 24 % ตามลำดับ สำหรับผลของความเร็วด้านหน้านั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.3 μm โดยที่ความเร็วด้านหน้าสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.3 μm ของวัสดุผ้าสูงขึ้นค่อนข้างเชิงเส้น (linear) เนื่องจากเมื่อความเร็วด้านหน้าสูงขึ้นจะส่งผลให้มีโมเมนตัม (momentum) หรือแรงเฉื่อยสูงขึ้นตาม จึงสามารถดักกรองอนุภาคด้วยกลไกการสกัดกั้นกับเส้นใยของวัสดุผ้าง่ายขึ้น ส่วนผลประจุไฟฟ้าสถิตในวัสดุกรองหน้ากาก

N95 จะมีไฟฟ้าสถิตหรือประจุไฟฟ้าที่เส้นใยจึงทำให้ดักกรองอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.3 μm ได้ดีกว่าวัสดุผ้าที่เกิดผลไฟฟ้าสถิตน้อยกว่า โดยไฟฟ้าสถิตบนเส้นใยจะช่วยเสริมประสิทธิภาพการกรองด้วยแรงดึงดูดและผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) ระหว่างอนุภาคและเส้นใยจึงทำให้ดักกรองอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.3 μm ได้ดีขึ้น [19]

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพการกรองและการทะลุผ่านของวัสดุผ้าทั่วไปกับอนุภาคระดับนาโนด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM F2299-03 โดยทดสอบวัสดุผ้า 5 ประเภทหลัก ได้แก่ ผ้าไมโครไฟเบอร์ ผ้าคอตตอน ผ้าฝ้ายทอมือ ผ้านาโน และผ้าโพลีเอสเตอร์กับอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3 μm ที่ความเร็วด้านหน้าประมาณ 10.6 cm/s และเปรียบเทียบกับระดับการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 ผลการศึกษาพบว่าวัสดุผ้าที่ทดสอบในการศึกษานี้มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาค 0.3 μm ระหว่าง 9 ถึง 36 % ระดับการทะลุผ่านอนุภาคขนาด 0.3 μm ของวัสดุผ้าเหล่านี้สูงกว่าการทะลุผ่านของวัสดุกรองหน้ากาก N95 มาก ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุผ้าทั่วไปอาจให้การป้องกันอนุภาคซบไมครอนและฝุ่น PM2.5 ได้เล็กน้อย โดยข้อมูลที่ได้จากงานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตหน้ากากอนามัยแบบผ้าหรือผู้ที่สนใจที่กำลังเลือกหาวัสดุผ้าเพื่อใช้ทำหน้ากากอนามัยแบบผ้า เพื่อใช้ในการป้องกันระบบทางเดินหายใจจากการระบาดของโควิด 19 และฝุ่น PM2.5

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

(THTI) ที่อนุเคราะห์การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าสำหรับการศึกษานี้

7. References

- [1] Department of Disease Control, COVID-19 Situation Report, Available Source: <https://covid19.ddc.moph.go.th>, October 24, 2020. (in Thai)
- [2] Thepnuan, D., Yabueng, N., Chantara, S., Prapamontol, T. and Tsai, Y. I., 2020, Simultaneous determination of carcinogenic PAHs and levoglucosan bound to PM_{2.5} for assessment of health risk and pollution sources during a smoke haze period, *Chemosphere* 257: 127154.
- [3] Fushimi, A., Hasegawa, S., Takahashi, K., Fujitani, Y., Tanabe, K. and Kobayashi, S., 2008, Atmospheric fate of nuclei-mode particles estimated from the number concentrations and chemical composition of particles measured at roadside and background sites, *Atmos. Environ.* 42: 949-459.
- [4] Intra, P. and Siri-achawawath, T., 2019, Development of an online particulate monitoring system for measurement of the mass and number concentrations and size distributions of ambient PM₁₀, PM_{2.5} and sub-400 nm particles, *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 41: 1339-1347.
- [5] Srivastava, A., 2021, COVID-19 and air pollution and meteorology – An intricate relationship: A review, *Chemosphere* 263: 128297.
- [6] Leiva, G.M.A., Santibañez, D.A., Ibarra, S., Matus, P. and Seguel, R., 2013, A five-year study of particulate matter (PM_{2.5}) and cerebrovascular diseases, *Environ. Pollut.* 181: 1-6.
- [7] O’Dowd, K., Nair, K.M., Forouzandeh, P., Mathew, S., Grant, J., Moran, R., Bartlett, J., Bird, J. and Pillai, S.C., 2020, Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: A review of current materials, advances and future perspectives, *Materials* 13: 3363.
- [8] El-Atab, N., Qaiser, N., Badghaish, H., Shaikh, S.F. and Hussain, M.M., 2020, Flexible nanoporous template for the design and development of reusable anti-COVID-19 hydrophobic face masks, *ACS Nano* 14: 7659-7665.
- [9] Sickbert-Bennett E.E., Samet J.M., Clapp, P.W., Tong, H., Weber, D.J. and Bennett, W.D., 2020, Filtration efficiency of hospital face mask alternatives available for use during the COVID-19 pandemic, *JAMA Int. Med.* 180: 1607-1612.
- [10] Konda, A., Prakash, A., Moss, G.A., Schmoldt, M., Grant, G.D. and Guha, S., 2020, Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks, *ACS Nano* 14: 6339-6347.
- [11] Aydin, O., Emon, B., Cheng, S., Hong, L., Chamorro, L.P., Saif, M.T.A., 2020, Performance of fabrics for home-made masks

- against the spread of COVID-19 through droplets: A quantitative mechanistic study, *Extreme Mech. Lett.* 40: 100924.
- [12] Rengasamy, S., Eimer, B. and Shaffer, R.E., 2010, Simple respiratory protection – Evaluation of the filtration performance of cloth masks and common fabric materials against 20-1,000 nm size particles, *Ann. Occupat. Hyg.* 54: 789-798.
- [13] Willeke, K. and Baron, P.A., 1993, *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications*, John Wiley & Sons, New York, NY.
- [14] ASTM F2299/F2299M-03(2017), 2017, Standard Test Method for Determining the Initial Efficiency of Materials Used in Medical Face Masks to Penetration by Particulates Using Latex Spheres, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [15] Liu, B.Y.H. and Pui, D.Y.H., 1974, Equilibrium bipolar charge distribution of aerosols, *J. Colloid Interf. Sci.* 49: 305-312.
- [16] Timko, M.T., Yu, Z., Kroll, J., Jayne, J.T., Worsnop, D.R., Miake-Lye, R.C., Onasch, T.B., Liscinsky, D., Kirchstetter, T.W., Destailats, H., Holder, A.L., Smith, J.D. and Wilson, K.R., 2009, Sampling artifacts from conductive silicone tubing, *Aerosol Sci. Technol.* 43: 855-865.
- [17] Janssen, L.L., Anderson, N.J., Cassidy, P.E., Weber, R.A. and Nelson, T.J., 2005, Interpretation of inhalation airflow measurements for respirator Design and testing, *J. Int. Soc. Resp. Prot.* 22: 122-141.
- [18] Reineking, A. and Porstendörfer, J., 1986, Measurements of particle loss functions in a differential mobility analyzer (TSI, Model 3071) for different flow rates, *Aerosol Sci. Technol.* 5: 483-486.
- [19] ASTM F2100-19e1, 2019, Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks, ASTM International, West Conshohocken, PA.