

ประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย

Filtration Efficiency of Surgical Masks, Fabric Masks and N95/KN95/FFP1/FFP2 Masks Available for Use during the COVID-19 Pandemic in Thailand

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, Papong, Doisaket, Chiang Mai 50220

**บทคัดย่อ**

วัตถุประสงค์ของงานนี้ คือ เพื่อศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย การศึกษานี้ได้สุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากากที่มีขายในท้องตลาด 259 ตัวอย่าง ประกอบด้วยหน้ากากอนามัย 67 ตัวอย่าง หน้ากากผ้า 71 ตัวอย่าง และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 121 ตัวอย่าง โดยทดสอบด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM F2299-03 เพื่อหาประสิทธิภาพการกรองกับอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ความเร็วด้านหน้าประมาณ 10.6 cm/s ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า หน้ากากอนามัยมีค่า 50.50, 2.50, 95.90 และ 26.34 % ตามลำดับ หน้ากากผ้ามีค่า 39.10, 5.93, 87.55 และ 19.64 % ตามลำดับ และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 มีค่า 72.21, 8.92, 99.97 และ 26.65 % ตามลำดับ ซึ่งบทความวิจัยนี้ยังได้อธิบายถึงหลักการกรองอนุภาคโครงสร้างและส่วนประกอบของหน้ากากอนามัย ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อทั้งผู้บริโภคและผู้สนใจ

**คำสำคัญ :** ละอองลอย; หน้ากากอนามัย; หน้ากากผ้า; อุปกรณ์ช่วยหายใจ; ประสิทธิภาพการกรอง

**Abstract**

This work aims to experimentally study the particle filtration efficiency of surgical masks, fabric masks, and N95/KN95/FFP1/FFP2 masks available during the COVID-19 pandemic in Thailand.

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

In this study, 259 samples of commercially available covers consisted of 67 samples of surgical masks, 71 pieces of fabric masks, and 121 instances of N95/KN95/FFP1/FFP2 masks. It was carried out by the ASTM F2299-03 standard test method for determining the filtration efficiency with polystyrene latex sphere particles at a face velocity of about 10.6 cm/s. The results showed that the surgical masks have average, minimum, maximum, and standard deviation of particle filtration efficiencies of 50.50, 2.50, 95.90, and 26.34 %, respectively. The fabric masks have those efficiencies of 39.10, 5.93, 87.55, and 19.64 %, respectively, while the N95/KN95/FFP1/FFP2 masks efficiencies are 72.21, 8.92, 99.97, and 26.65 %, respectively. Also, the principle of particle filtration, structure, and components of a face mask is explained in this paper. This information is beneficial to both consumers and interested peoples.

**Keywords:** aerosol; surgical mask; fabric mask; respirator; filtration efficiency

## 1. บทนำ

การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด 19 ไปทั่วทุกภูมิภาคของโลก โดยข้อมูล ณ วันที่ 26 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 พบว่ามีผู้ติดเชื้อถึง 42,916,332 ราย และเสียชีวิต 1,154,301 ราย สำหรับประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อ 3,731 ราย และเสียชีวิต 59 ราย [1] ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยเฉพาะหน้ากากอนามัยประเภทใช้ครั้งเดียว (disposable surgical mask) หน้ากากผ้า (fabric mask) และหน้ากาก N95 (N95 mask) ทำให้ความต้องการหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95 เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ 2-3 เท่า ส่งผลให้ราคาหน้ากากดังกล่าวสูงขึ้นหลายเท่า ทำให้เกิดขาดแคลนหน้ากากอนามัยสำหรับบุคลากรทางการแพทย์และผู้ป่วยในโรงพยาบาลทั่วประเทศ เนื่องจากสถานะขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตหน้ากาก โรงงานผู้ผลิตหน้ากากจึงไม่สามารถผลิตและส่งหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ให้กับโรงพยาบาลตามความต้องการปกติ ขณะที่ความต้องการหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95 ของประชาชนก็สูงขึ้นจนเกิดสถานการณ์ตื่นตระหนกไปทั่วประเทศ

ปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตหน้ากากดังกล่าว มีงานวิจัยที่แนะนำเกี่ยวกับวัสดุป้องกันระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ รวมถึงวัสดุผ้าทั่วไป เช่น เสื้อยืด ผ้าเช็ดหน้า ผ้าพันคอ [2-7] สำหรับทำหน้ากากผ้าที่เป็นทางเลือกใช้ในช่วงที่หน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ขาดแคลน อย่างไรก็ตาม ยังมีนำเข้าหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ที่ไม่ผ่านมาตรฐานหรือไม่มีคุณภาพจากต่างประเทศมาจำหน่ายในประเทศไทยเป็นวงกว้าง ซึ่งหน้ากากที่ไม่ได้มาตรฐานดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพการกรองที่ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด จึงไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจจากละอองฝอยหรือสารคัดหลั่งจากการไอจามและการดักจับละอองของเหลวและละอองลอยแบคทีเรียจากปากและจมูกของผู้สวมใส่ ในช่วงที่มีการระบาดของโควิด 19

Sickbert-Bennett และคณะ [4] ได้ประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากเพื่อเป็นทางเลือกใช้ป้องกันการติดเชื้อ โดยได้เลือกหน้ากากอนามัย 29 แบบ ที่ทดสอบกับผู้ชาย 1 คน และผู้หญิง 1 คน โดยพบว่าประสิทธิภาพของหน้ากาก N95 ที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับใบหน้าจะมีประสิทธิภาพลดลง

เล็กน้อย คือ 90-95 % และหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพในการกรองที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหน้ากาก N95 (มีประสิทธิภาพ 98.5 %) โดยหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพต่ำสุด คือ 38.1 %

Whiley และคณะ [8] ได้ใช้วิธีมาตรฐานในการประเมินประสิทธิภาพของหน้ากากแบบผ้าที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อกรองไวรัสเปรียบเทียบกับหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 แสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปแล้วหน้ากากผ้าที่มีอยู่จะมีประสิทธิภาพในการกรองไวรัสอย่างน้อย 50 % ส่วนหน้ากากอนามัยจะมีประสิทธิภาพ 99.9 % และหน้ากาก N95 มีประสิทธิภาพ 99.9 % เมื่อทดสอบกับอนุภาคที่มีขนาดเฉลี่ย 6.0  $\mu\text{m}$

Dugdale และ Walensky [9] รายงานประสิทธิภาพการกรอง ประสิทธิภาพ และความพร้อมใช้งานของหน้ากาก N95 สำหรับการป้องกัน COVID-19 โดยพบว่าหน้ากาก N95 ที่หลายคนซื้อหรือบริจาคให้กับโรงพยาบาลในสหรัฐอเมริกา มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาค 53-85 % และหน้ากากอนามัยแบบสายรัดหูมีประสิทธิภาพในการกรองต่ำกว่ามาก คือ 37-69 % เนื่องจากมีแผ่นกรองที่บางกว่าและสวมใส่สบายกว่า

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาด จึงขาดข้อมูลและความรู้สำหรับผู้บริโภค เกิดความเสี่ยงในการใช้หน้ากากที่ไม่มีมาตรฐาน และอาจทำให้ไม่สามารถป้องกันการติดเชื้อ

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95 /FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย การศึกษานี้ได้สุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากากที่มีขายในท้องตลาด 229 ตัวอย่าง ประกอบด้วยหน้ากากอนามัย 67 ตัวอย่าง หน้ากากผ้า 71 ตัวอย่าง และ

หน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 121 ตัวอย่าง นำมาทดสอบด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM F2299-03 เพื่อหาประสิทธิภาพการกรองกับอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (polystyrene latex sphere) โดยบทความวิจัยนี้ยังอธิบายถึงหลักการกรองอนุภาค โครงสร้าง ส่วนประกอบของหน้ากากอนามัย และมาตรฐานของหน้ากาก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อทั้งผู้บริโภคและผู้สนใจ

## 2. ประเภทและมาตรฐานของหน้ากาก

### 2.1 ประเภทของหน้ากาก

#### 2.1.1 หน้ากากอนามัย

หน้ากากอนามัย (รูปที่1) ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันผู้สวมใส่จากการติดเชื้อในสภาพแวดล้อมทางคลินิก แต่ก็ไม่ได้ช่วยป้องกันการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจได้มากนัก แม้ว่าจะไม่ใช่วิธีการป้องกันที่ดีที่สุด แต่ก็สามารถป้องกันผู้สวมใส่จากละอองฝอยหรือสารคัดหลั่งจากการไอจามและการดักจับละอองของเหลวและละอองลอยแบคทีเรียจากปากและจมูก โดยทั่วไปแล้วหน้ากากอนามัยมีโครงสร้าง 3 ชั้น ชั้นกลางเป็นวัสดุกรอง ขณะที่ชั้นในมีไว้สำหรับดูดซับความชื้นและชั้นนอกจะสะท้อนน้ำ อย่างไรก็ตาม หน้ากากอนามัยมีระดับการป้องกันที่ต่ำกว่าและจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบถึงความรู้สึกสบายและระดับการป้องกันเมื่อเลือกหน้ากากอนามัยใส่ในที่ที่มีปัญหามลพิษทางอากาศสูง

#### 2.1.2 หน้ากากกรองอากาศ

รูปที่ 2 แสดงหน้ากากกรองอากาศ (filtering face piece respirator) เป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่สวมใส่บนใบหน้าซึ่งปิดจมูกและปากจากอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น สารติดเชื้อ ก๊าซหรือไอระเหย ช่วยบำบัดอากาศและลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนของผู้สวมใส่ในบริเวณที่มีมลพิษ หน้ากากกรองอากาศ

มีหลายประเภท ได้แก่ N95, P100, FFP2, FFP3, KN95 เป็นต้น โดยที่รู้จักมากที่สุดมี 2 แบบ คือ หน้ากาก N95 และ P100 หน้ากาก N95 เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่ผ่านมาตรฐาน N95 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) ซึ่งหมายความว่าสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3  $\mu\text{m}$  ในอากาศได้อย่างน้อยร้อยละ 95 มาตรฐานนี้ไม่ได้บังคับให้หน้ากากทนน้ำมันและไม่ป้องกันแก๊สหรือไอ



Figure 1 Surgical mask



Figure 2 Filtering face piece respirator



Figure 3 Fabric mask

### 2.1.3 หน้ากากผ้า

หน้ากากผ้ามีไว้สำหรับบุคคลที่ไม่แสดงอาการทางคลินิกของการติดเชื้อไวรัสหรือแบคทีเรีย และผู้ที่ไม่ได้สัมผัสกับผู้ที่มีอาการติดเชื้อดังกล่าว หน้ากากผ้าจะปิดจมูก ปาก และคาง ซึ่งต้องไม่รวมวาล์วหายใจเข้าและหรือหายใจออก ทำจากผ้าชั้นเดียวหรือหลายชั้น (ผ้าทอ ผ้าถัก ผ้าไม่ทอ และผ้าอื่น ๆ) มีหรือไม่มีฟิล์มจะต้องมีสายคล้องหูหรือศีรษะ สามารถปรับระยะบริเวณจมูกแก้มและคางของผู้ใช้เมื่อผิวของผู้ใช้แห้งหรือชื้นหรือเมื่อผู้ใช้ขยับศีรษะ อากาศที่หายใจเข้าไปส่วนใหญ่จะแทรกซึมเข้าไปในวัสดุหน้ากากและมาถึงบริเวณจมูกและปาก อากาศที่หายใจออกจะถูกระบายออกทางเดียวกันไปสู่บรรยากาศโดยรอบโดย ตรง รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายหน้ากากผ้า

### 2.2 มาตรฐานของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากากกรองอากาศ

หน้ากากอนามัยเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยกั้นระหว่างอวัยวะในระบบทางเดินหายใจ (respiratory organ) และสภาพแวดล้อมโดยรอบ ประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศถูกกำหนดโดย 2 อย่าง คือ ประสิทธิภาพการกรอง (filtration efficiency) และความพอดี (fit) หรือการรั่ว (leakage) โดยประสิทธิภาพการกรองจะบอกว่าหน้ากากสามารถกรองอนุภาคในช่วงขนาดที่กำหนดดีขนาดไหน ซึ่งรวมถึงไวรัส (virus) และอนุภาคระดับซับไมครอน (submicron particle) อื่น ๆ ส่วนความพอดีหรือการรั่วในขณะสวมใส่จะบอกว่าหน้ากากสามารถป้องกันการรั่วบริเวณใบหน้าได้ดีขนาดไหน ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและแบคทีเรียของหน้ากากอนามัยตามมาตรฐานองค์การอาหารและยา (Food and Drugs Administration, FDA) ของสหรัฐอเมริกาแบ่งเป็น 3 ระดับ ตาม ASTM (American Society for Testing and Materials) [10-11] ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการ

ต้านทานของไหล (fluid resistance efficiency) โดยระดับ 3 ให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและแบคทีเรียสูงสุด โดยมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของของเหลวสูง ส่วนในยุโรปหน้ากากอนามัยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานยุโรป (European Standard) คือ EN 14683: 2019

อย่างไรก็ตาม หน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหน้ากากกรองอากาศ หน้ากากกรองอากาศประกอบด้วยวัสดุกรองอากาศที่สามารถป้องกันอนุภาคขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน และสิ่งปนเปื้อนไม่ให้อากาศผ่านเข้าเดินหายใจของคน ในสหรัฐอเมริกา NIOSH จะเป็นผู้กำหนดความสามารถในการกรองอนุภาคของหน้ากากกรองอากาศตาม 42 CFR ตอนที่ 84 โดยแบ่งเป็นชนิด N, R และ P สำหรับไม่ทนน้ำมัน ทนน้ำมันได้บ้าง และทนน้ำมันได้สูงตามลำดับ แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคที่ต่างกัน คือ 95, 99 และ 99.97 % ได้แก่ N95, R95, P95 เป็นต้น โดย NIOSH ได้กำหนดการทดสอบตามมาตรฐาน NIOSH หมายเลข RC-APR-STP-0057, RC-APR-STP-0058 และ RC-APR-STP-0059 ประกอบด้วยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเกลือ (sodium chloride) NaCl และอนุภาค dioctyl phthalate (DOP) การรั่วของวาล์ว (valve leak) และการทดสอบการหายใจเข้า/หายใจออก (inhalation/exhalation test) การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคจะให้อนุภาคละอองลอยเกลือไหลผ่านหน้ากากตัวอย่าง และปริมาณของอนุภาคละอองลอยเกลือที่ผ่านหน้ากากตัวอย่างได้จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการกรองอนุภาค และในการทดสอบอนุภาค DOP จะประเมินการซึมผ่านของอนุภาคและความต้านทานการไหลของอากาศของหน้ากากตัวอย่างด้วยอนุภาคที่มีขนาดช่วงทะลุผ่านมากที่สุด (most penetrating size range) คือ 0.3 ไมครอน ในยุโรปประเภทของหน้ากาก

กรองอากาศแบ่งเป็นหน้ากากกรองครึ่งหน้า (filtering half mask) หรือแผ่นกรองบนหน้า (filtering face piece, FFP) หน้ากากครึ่งหน้า (half mask) เครื่องช่วยหายใจแบบใช้อากาศบริสุทธิ์ (powered air-purifying respirator, PAPR) และเครื่องช่วยหายใจที่จ่ายบรรยากาศ (Atmosphere-supplying respirator, SAR) ตามมาตรฐานของยุโรป (EN149: 2001) FFP แบ่งเป็น FFP1, FFP2 และ FFP3 โดยมีความสามารถในการกรองอนุภาคที่ 80, 94 และ 99 % ตามลำดับ โดย FFP2 หรือ FFP3 จะเทียบเท่ากับมาตรฐาน N95 ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคสูงสุด

ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) ของสหรัฐอเมริกา มีข้อเสนอแนะให้ประชาชนใช้หน้ากากผ้าแทนหน้ากากอนามัยในที่สาธารณะ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของไวรัส เนื่องจากการเกิดภาวะระบาดของโรคโควิด 19 ทำให้ความต้องการหน้ากากอนามัยเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและทั่วโลกขาดแคลนหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาและการใช้หน้ากากผ้าต่าง ๆ ของสังคมในวงกว้างทั่วโลก ส่วนประเทศไทย กรมวิทยาศาสตร์บริการได้ออกข้อเสนอแนะคุณลักษณะของผ้าหรือวัสดุที่ใช้ทำหน้ากากผ้า โดยคุณลักษณะของหน้ากากผ้าที่เย็บจะต้องมี 2 ชั้นขึ้นไป ผ้าหรือวัสดุที่ใช้ทำหน้ากากต้องทำจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยประดิษฐ์ หรือเส้นใยผสม ไม่ครอบคลุมวัสดุหรือหน้ากากที่ผลิตจากเส้นใยไม่ถักทอ (nonwoven) โดยแบ่งเป็น 6 ระดับ คือ ตามประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและสมบัติการสะท้อนน้ำ คือ ระดับที่ 1 ป้องกันฝุ่นได้พอใช้ ไม่ป้องกันละอองฝอย ระดับที่ 1\* ป้องกันฝุ่นได้พอใช้ ป้องกันละอองฝอยได้ ระดับที่ 2 ป้องกันฝุ่นได้ดี ไม่ป้องกันละอองฝอย ระดับที่ 2\* ป้องกันฝุ่นได้ดี ป้องกันละอองฝอยได้ ระดับที่ 3 ป้องกันฝุ่นได้ดีมาก ไม่ป้องกันละอองฝอย และระดับที่

3\* ป้องกันฝุ่นได้ดีมาก ป้องกันละอองฝอยได้

### 3. การกรองอนุภาคและประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

ทฤษฎีการกรอง (filtration theory) เป็นการอธิบายการกรองอนุภาคของตัวกรองเส้นใยไฟเบอร์ (fibrous filter) ที่พิจารณาการดักจับอนุภาคด้วยเส้นใยเดี่ยว (single fiber) ประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว (single-fiber efficiency) จะถูกนิยามเป็นอัตราส่วนของจำนวนอนุภาคที่กระทบเส้นใยต่อจำนวนอนุภาคที่จะกระทบหากเส้นกระแส (streamline) ไม่ถูกเบี่ยงเบนไปรอบเส้นใย ถ้ารัศมีของเส้นใย  $R_f$  กำจัดทุกอนุภาคที่อยู่ภายในชั้นความหนา  $Y$  ดังรูปที่ 4

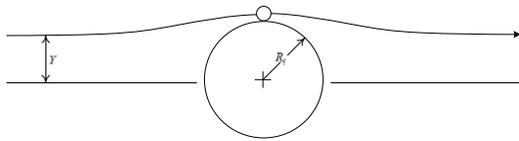


Figure 4 Definition of single-fiber efficiency [12]

ประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว  $\eta$  จะถูกนิยามเป็น [12]

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

ประสิทธิภาพโดยรวมหรือประสิทธิภาพรวม  $E$  ของตัวกรองที่ประกอบด้วยหลายเส้นใยในแผ่นสามารถอธิบายตามความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว คือ [12]

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

เมื่อ  $\alpha$  คือ ความแข็งหรือความหนาแน่นของตัวกรอง [1-ความพรุน (porosity)];  $L$  คือ ความลึกหรือความหนาของตัวกรอง;  $d_f$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

ปกติแล้วเส้นการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะถูกเบี่ยงเบนจากเส้นกระแสเนื่องจากหลายกลไก ผลที่ตามมา คือ อนุภาคจะชนกับพื้นผิวของเส้นใยและจะเกาะติดหรือสะสมอยู่บนเส้นใย โดยกลไกสำคัญที่ทำให้อนุภาคเกาะติดหรือสะสมตัวอยู่บนเส้นใย คือ การแพร่ (diffusion) การกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อย (inertial impaction) การสกัดกั้น (interception) และการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (gravitational settling) ดังแสดงในรูปที่ 5 ดังนั้นประสิทธิภาพของเส้นใยเดี่ยว  $\eta$  สามารถสมมติด้วยการประมาณที่ประกอบด้วยผลรวมเลขคณิตของประสิทธิภาพแต่ละตัวจากกลไกการแพร่  $\eta_{diff}$  กลไกการกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อย  $\eta_{imp}$  กลไกการสกัดกั้น  $\eta_{inter}$  และกลไกการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง  $\eta_{grav}$  โดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อย การสกัดกั้นและกลไกการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ในการดักกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน ส่วนการแพร่กระจายเป็นกลไกที่ทำหน้าที่ในการดักกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมครอน

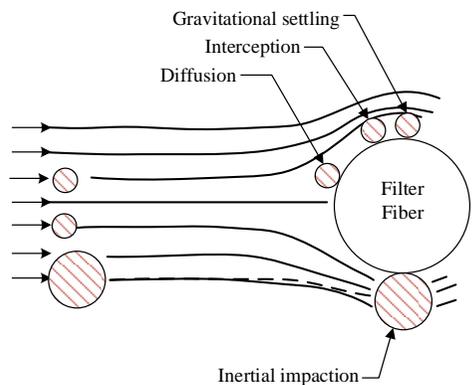


Figure 5 Particle transport mechanisms of single fiber

สำหรับการทดลองจะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของตัวกรอง  $\eta_{exp}$  จาก

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

เมื่อ  $C_{inlet}$  คือ ความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคก่อนผ่านของตัวกรอง;  $C_{outlet}$  คือ ความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคหลังผ่านของตัวกรอง

และค่าการทะลุผ่านอนุภาค (particle penetration) ของตัวกรองจะสามารถคำนวณจาก

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

### 4. ระเบียบวิธีวิจัย

รูปที่ 6 แสดงแผนภาพอุปกรณ์การทดลองสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ในการศึกษานี้ วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วยอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (polystyrene latex sphere) แหล่งกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (atomizer aerosol generator) แหล่งจ่ายอากาศ

สะอาด (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) การทดสอบประสิทธิภาพการกรองนี้ใช้อนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 nm หรือ 0.3  $\mu\text{m}$  ของ Thermo Scientific™ Dri-Cal™ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (geometric standard deviation) 1.6 % ที่ได้รับการ

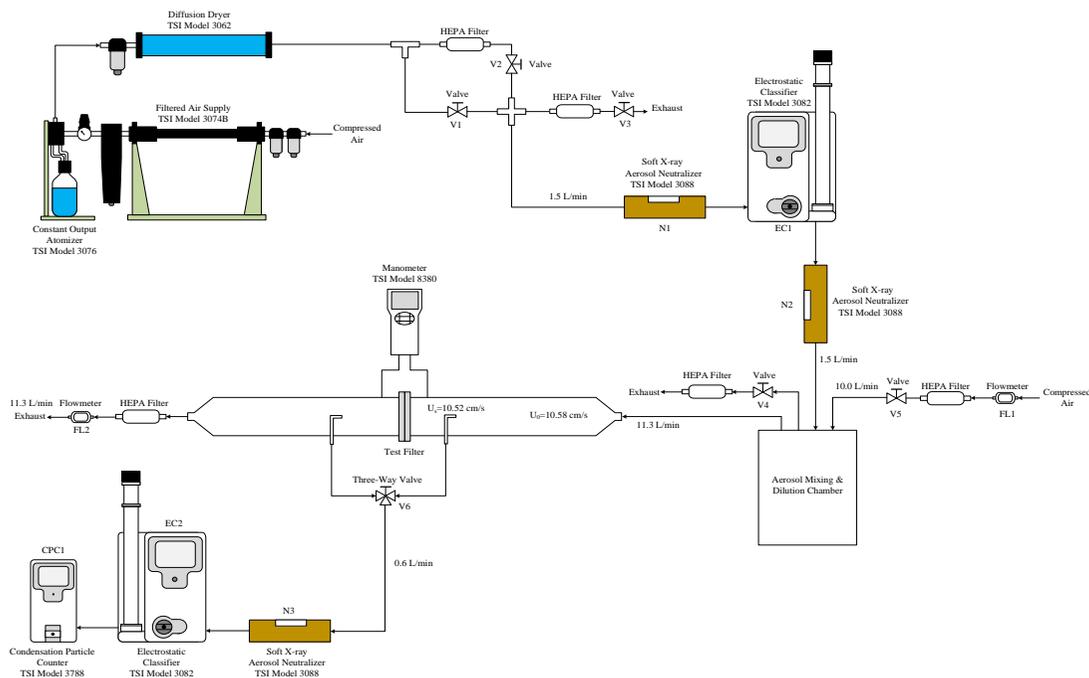


Figure 6 Experimental setup for evaluating the filtration efficiency of surgical masks and N95 masks

รับรองตามมาตรฐานจากสถาบันแห่งชาติของมาตรฐานและเทคโนโลยี (National Institute of Standards and Technology, NIST) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจ่ายอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ผสมในน้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized water) ในสัดส่วน 1,000:1 จากแหล่งกำเนิดละอองลอยแบบบอเมตอมไมเซอร์ (Model 3076, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) จากนั้นอนุภาคจะผ่านเข้าไปยังตัวไล่ความชื้นแบบแพร์ (Model 3062, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อกำจัดละอองน้ำและความชื้นออก โดยความเข้มข้นของอนุภาคสามารถปรับให้เหมาะสมได้ด้วยชุดวาล์วปรับความเข้มข้นด้านหลังตัวไล่ความชื้น หลังจากชุดวาล์วปรับความเข้มข้น อนุภาคจะถูกทำให้มีสมมูลประจุบ็อลทซ์มัน (Boltzmann equilibrium charge equivalent) ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ soft X-ray (Model 3088, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อคัดแยกขนาดอนุภาคแบบความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า (electrical mobility) ด้วยเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต (Model 3082, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) โดยแยกอนุภาคตกค้าง (residual particle) ที่เป็นอนุภาคแร่ธาตุของน้ำออกให้ได้เฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเดียว (monodisperse aerosol) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.3 \mu\text{m}$  รูปที่ 7 แสดงการกระจาย

ขนาดอนุภาคพอลิสไตรีนลาเท็กซ์  $0.3 \mu\text{m}$  ที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต มีเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐาน (median diameter) 303.2 nm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (mean diameter) 304.3 nm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (geometric mean diameter) 303.6 nm เส้นผ่าศูนย์กลางฐานนิยม (mode diameter) 299.6 nm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (geometric standard deviation) 1.07 หลังจากคัดแยกขนาดแล้วอนุภาคพอลิสไตรีนลาเท็กซ์  $0.3 \mu\text{m}$  ถูกทำให้มีสภาพประจุเป็นกลางด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ soft X-ray (Model 3088, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อป้องกันการสูญเสียอนุภาค (particle loss) ในระบบหรือในท่อและห้องทดสอบตัวอย่าง และเพื่อหลีกเลี่ยงผลของประจุไฟฟ้าสถิตที่จะเกิดขึ้นขณะทดสอบประสิทธิภาพการกรองของวัสดุกรอง [13] การศึกษานี้ใช้ท่อซิลิโคนนำไฟฟ้า (conductive silicone tube) และท่อเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel tube) เป็นท่อสำหรับนำส่งและการเก็บตัวอย่างอนุภาคเพื่อป้องกันการสูญเสียของอนุภาคในระบบทดสอบ

หลังจากผ่านตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางอนุภาคเข้าไปยังห้องผสมและเจือจางละอองลอยเพื่อเจือจางกับอากาศให้ได้อัตราการไหลและความเข้มข้น

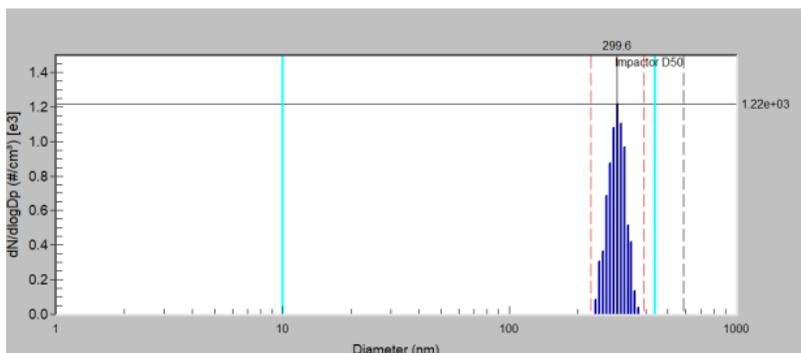


Figure 7 Number weighted size distribution of  $0.3 \mu\text{m}$  polystyrene latex particle

ของอนุภาคที่ต้องการ สำหรับการทดสอบหน้ากาก N95 ตาม 42 CFR 84 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) เป็นการจำลองในกรณีที่เลวร้ายที่สุด (worst-case) ที่อาจพบได้ในสภาพแวดล้อมการทำงานทั่วไป คือ ทำให้เกิดการผ่านทะลุหรือแทรกซึมตัวกรองสูงสุด (maximum filter penetration) จึงกำหนดอัตราการไหลของอากาศในการทดสอบที่อัตราการการทำงานสูง (high work rate) ของมนุษย์ คือ 85 หรือ 95 ลิตรต่อนาที ใน 42 CFR 84 จึงกำหนดอัตราการไหลในการทดสอบ คือ 85 ลิตรต่อนาที สำหรับพื้นที่ผิว (surface area) ของหน้ากากหรือแผ่นกรองประมาณ  $135 \text{ cm}^2$  จะได้ความเร็วด้านหน้า (face velocity)  $10.6 \text{ cm/s}$  ดังนั้น การศึกษานี้จึงใช้ความเร็วด้านหน้าเดียวกับการทดสอบหน้ากาก N95 คือ  $10.6 \text{ cm/s}$  สำหรับการทดสอบนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับความเร็วด้านหน้าประมาณ  $10.6 \text{ cm/s}$  ในการทดสอบนี้ได้กำหนดอัตราการไหลอนุภาคที่ประมาณ  $11.3 \text{ L/min}$  และพื้นที่ในการทดสอบประมาณ  $17.8 \text{ cm}^2$  โดยมีตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) 332.48 และตัวเลขสโตกส์ (Stoke's number) 0.41 โดยกำหนดให้อัตราการไหลอนุภาคจากเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคกำหนดคงที่ที่  $1.5 \text{ L/min}$  อัตราการไหลของอากาศสะอาดผ่านตัวกรองประสิทธิภาพสูงเพื่อเจือจาง  $10.0 \text{ L/min}$  และอัตราการไหลของอากาศปล่อยทิ้ง  $0.2 \text{ L/min}$

จากนั้นอัตราการไหลที่ต้องการสำหรับการทดสอบของอนุภาคขนาด  $0.3 \mu\text{m}$  ที่  $11.3 \text{ L/min}$  จะผ่านเข้าไปยังห้องทดสอบ (test chamber) ซึ่งมีแผ่นวัสดุกรองทดสอบอยู่ภายใน ในส่วนของห้องทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $4.76 \text{ cm}$  ยาว  $100 \text{ cm}$  ซึ่งตัวอย่างวัสดุ (material specimen) จะอยู่ห่างจากทางเข้าอนุภาค (particle inlet)  $10$  เส้นผ่านศูนย์กลาง

ท่อ (duct diameters) โดยหัวเก็บตัวอย่างอนุภาค (particle sampling probe) ก่อนแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่างวัสดุ  $2$  เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ( $9.52 \text{ cm}$ ) และหัวเก็บตัวอย่างอนุภาคหลังแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่างวัสดุ  $3$  เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ( $14.28 \text{ cm}$ ) หัวเก็บตัวอย่างทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $1.1 \text{ cm}$  การเก็บตัวอย่างอนุภาคในการทดสอบนี้จะเป็นการเก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (isokinetic sampling) ทิศทางของของไหลที่ทางเข้าหัววัดและแกนของหัวเก็บตัวอย่างอยู่ในแกนเดียวกันคือขนานกับเส้นการไหลของของไหลและความเร็วของของไหลที่จุดทางเข้าหัววัดมีค่าเท่ากับความเร็วของการไหลภายนอก คือ ประมาณ  $10.6 \text{ cm/s}$  ที่อัตราการไหลอนุภาค  $0.6 \text{ L/min}$  โดยที่หัวเก็บตัวอย่างมีตัวเลขเรย์โนลด์ 76.40 และตัวเลขสโตกส์ 1.77 ขณะทดสอบได้มีการวัดค่าความต่างความดันของแผ่นวัสดุผ้าด้วยมาโนมิเตอร์ (Model 8380, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) โดยการหาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้าในการศึกษานี้จะวัดการกระจายขนาดอนุภาคเชิงจำนวน (number weighted particle size distribution) ทั้งก่อน (up stream) และหลังผ่าน (down stream) วัสดุผ้าทดสอบด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้หรือ SMPS ที่ประกอบด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต และเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (Model 3788, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) สำหรับการสูญเสียของอนุภาคภายใน SMPS มีการใช้อัลกอริธึมการสูญเสียการแพร่กระจาย (diffusion loss algorithm) ในซอฟต์แวร์ควบคุมการวัดของ SMPS เมื่อขนาดอนุภาคละอองลอยเล็กกว่า  $100 \text{ nm}$  โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของแผ่นวัสดุกรองที่ทดสอบ ๗ จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

รูปที่ 8 แสดงแผนภาพอุปกรณ์การทดลองที่ใช้

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของ หน้ากากผ้าในการศึกษานี้ การทดสอบประสิทธิภาพ การกรองของหน้ากากผ้านี้ใช้อนุภาคทรงกลมชนิด พอลิสไตรีนลาเท็กซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0  $\mu\text{m}$  ของ Thermo Scientific™ Dri-Cal™ มีส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานทางเรขาคณิต (geometric standard deviation) 1.6 % ที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน จากสถาบันแห่งชาติของมาตรฐานและเทคโนโลยี (NIST) ของประเทศสหรัฐอเมริกา จ่ายอนุภาคทรงกลม ชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์จากแหล่งกำเนิดละอองลอย แบบอะตอมไมเซอร์ (Model 3076, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) และผ่านเข้าไปยังตัวไล่ความชื้นแบบ แพร่ (Model 3062, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อกำจัดละอองน้ำและความชื้นออกและปรับความ เข้มข้นของอนุภาคให้เหมาะสมได้ด้วยชุดวาล์วปรับ

ความเข้มข้น และทำให้อนุภาคมีสภาพประจุเป็นกลาง ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ soft X-ray (Model 3088, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) และ อนุภาคที่มีสภาพเป็นกลางแล้วจะถูกผ่านเข้าไปยังห้อง ผสมและเจือจางละอองลอยและต่อไปยังห้องทดสอบ ซึ่งมีแผ่นวัสดุผ้าทดสอบอยู่ภายใน โดยการหาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุผ้าของหน้ากากผ้าใน การศึกษานี้จะวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาค (particle number concentration) ทั้งก่อนและหลัง ผ่านวัสดุผ้าของหน้ากากทดสอบด้วยเครื่องนับอนุภาค แบบพกพา (Model 9310, TSI, Inc., St. Paul, MN, USA) ตารางที่ 1 แสดงช่วงและค่าของตัวแปรที่ทดสอบ โดยการทดสอบนี้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องทดสอบที่ 25 °C และ 55 %RH ตามลำดับ

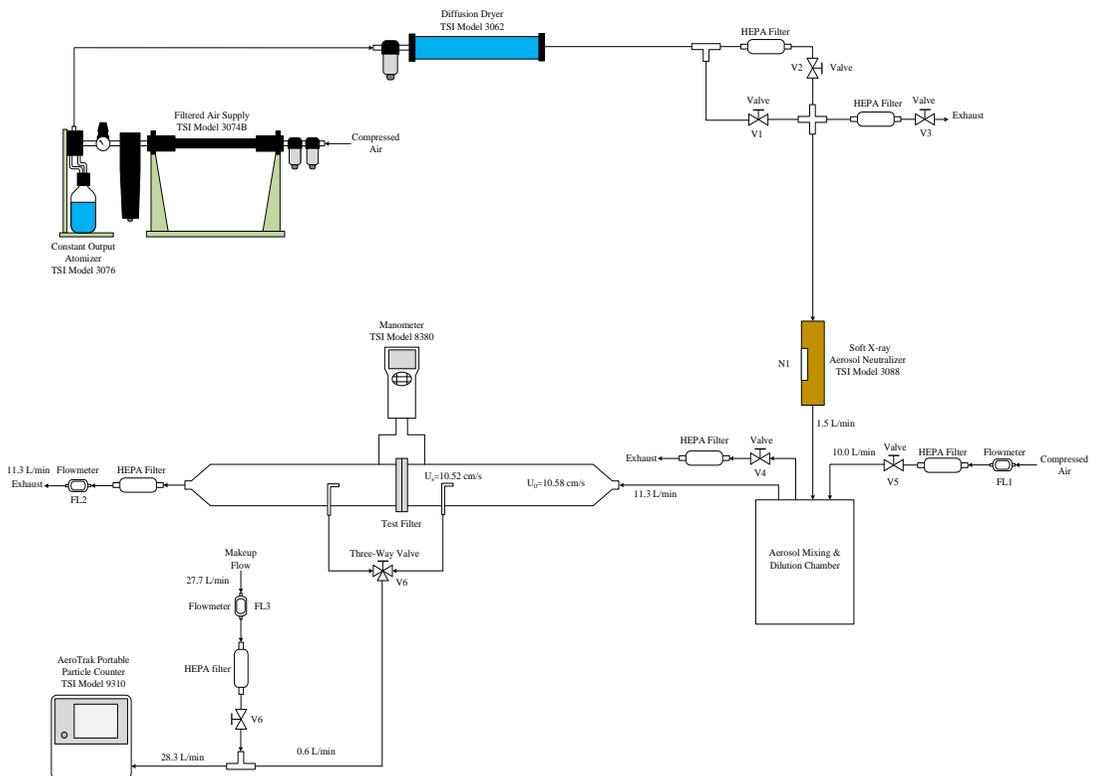


Figure 8 Experimental setup for evaluating the filtration efficiency of fabric masks

**Table 1** Ranges and values of variables investigated

Variables	Ranges
Particle type	Polystyrene latex sphere
Particle number concentration	$1.1-2.9 \times 10^3$ particles/cm <sup>3</sup>
Particle size	0.3 $\mu$ m and 1.0 $\mu$ m
Filter test area	17.8 cm <sup>2</sup>
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

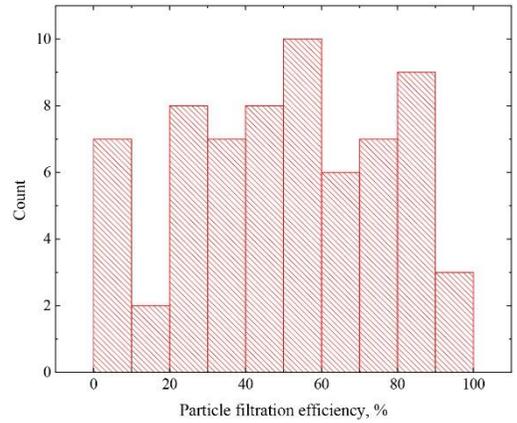
**5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล**

การศึกษานี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในครั้งที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย โดยได้สุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากากที่มีขายในท้องตลาดในประเทศ 259 ตัวอย่าง แบ่งเป็น หน้ากากอนามัย 67 ตัวอย่าง หน้ากากผ้า 71 ตัวอย่าง และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 121 ตัวอย่าง รูปที่ 9 แสดงการแจกแจงค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 รูปที่ 9a แสดงการแจกแจงค่าประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยตัวอย่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากอนามัยส่วนใหญ่ คือ 2.50-95.90 % และมีฟีด 50-60 % รูปที่ 9b แสดงการแจกแจงค่าประสิทธิภาพของหน้ากากผ้าตัวอย่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากผ้าส่วนใหญ่ คือ 5.93-87.55 % และมีฟีด 20-30 % และรูปที่ 9c แสดงการแจกแจงค่าประสิทธิภาพของหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกรองของหน้ากาก N95/KN95/

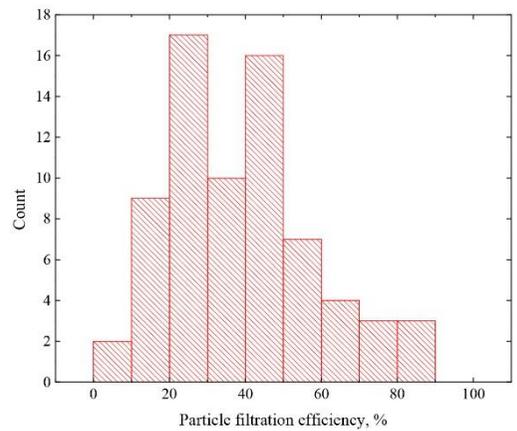
FFP1/FFP2 ส่วนใหญ่ คือ 8.92-99.97 % และมีฟีด 90-100 % ตารางที่ 2 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 โดยหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาค คือ 50.50, 2.50, 95.90 และ 26.34 % ตามลำดับ หน้ากากผ้ามีประสิทธิภาพการกรองอนุภาค คือ 39.10, 5.93, 87.55 และ 19.64 % ตามลำดับ และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 มีประสิทธิภาพการกรอง คือ 72.21, 8.92, 99.97 และ 26.65 % ตามลำดับ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากทั้ง 3 ชนิด พบว่าหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคสูงสุด รองลงมา คือ หน้ากากอนามัย และหน้ากากผ้า มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคต่ำที่สุด โดยมาตรฐาน ASTM F2100-19e1 กำหนดให้วัสดุกรองที่นำมาใช้ทำหน้ากากต้องมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคมากกว่าหรือเท่ากับ 95, 98 และ 98 % ในระดับการป้องกันที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ [11] ซึ่งประสิทธิภาพการกรองของวัสดุกรองโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับ

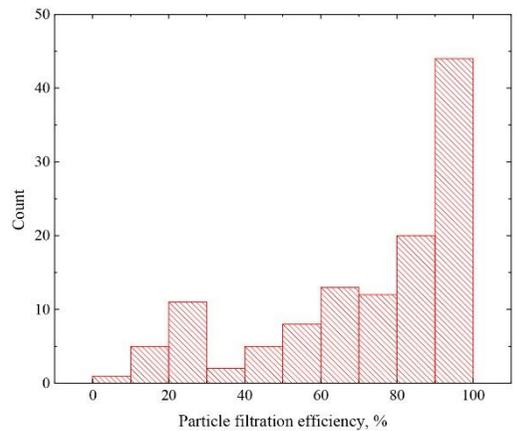
กับขนาดอนุภาค คุณลักษณะของวัสดุตัวกรอง และความเร็วของการไหล โดยลักษณะการทอ ความพรุน (porosity) ขนาดรูพรุน (pore size) และความหนาของวัสดุผ้าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาค ซึ่งวัสดุผ้าที่มีความพรุนต่ำสุดและขนาดรูพรุนเล็กจะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคสูง วัสดุผ้าที่มีความพรุนสูงสุดและขนาดรูพรุนใหญ่จะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคต่ำ และวัสดุผ้าที่มีความพรุนสูงและขนาดรูพรุนเล็กจะให้ด้านทานการไหลของอากาศสูง ปกติแล้ววัสดุผ้าทั่วไปจะมีความพรุนและขนาดรูพรุนที่ใหญ่ (มากกว่า 10  $\mu\text{m}$  หรือเท่ากับ 100  $\mu\text{m}$ ) [2] ซึ่งใหญ่กว่าอนุภาคขนาด 0.3  $\mu\text{m}$  หรือ 1.0  $\mu\text{m}$  ที่ใช้ในการทดสอบในการศึกษานี้ จึงทำให้อนุภาคขนาด 0.3  $\mu\text{m}$  ทะลุผ่านได้ง่าย มีการแพร่กระจายและการสกัดกั้นกับเส้นใยของวัสดุผ้า น้อย โดยสมการที่ 2 สามารถอธิบายถึงผลของความหนาของวัสดุกรองต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาคคือความหนาของวัสดุผ้าจะเป็นฟังก์ชันของประสิทธิภาพการกรองอนุภาค วัสดุกรองที่มีความหนาจะสามารถกรองอนุภาคได้ดีกว่า วัสดุกรองที่มีความบางกว่า ส่วนผลของความเร็วด้านหน้ามีผลต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.3  $\mu\text{m}$  โดยที่ความเร็วด้านหน้าสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.3  $\mu\text{m}$  ของวัสดุผ้าสูงขึ้นค่อนข้างเชิงเส้น (linear) เนื่องจากเมื่อความเร็วด้านหน้าสูงขึ้นจะส่งผลให้มีโมเมนตัม (momentum) หรือแรงเฉื่อยสูงขึ้นตาม จึงสามารถดักกรองอนุภาคด้วยกลไกการสกัดกั้นและการแพร่กระจายกับเส้นใยของวัสดุกรองง่ายขึ้น ส่วนของผลประจุไฟฟ้าสถิตในวัสดุกรองหน้ากาก N95 จะมีไฟฟ้าสถิตหรือประจุไฟฟ้าที่เส้นใย จึงทำให้ดักกรองอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.3  $\mu\text{m}$  ได้ดีกว่าวัสดุผ้าที่เกิดผลไฟฟ้าสถิตน้อยกว่า โดยไฟฟ้าสถิตบนเส้นใยจะช่วยเสริมประสิทธิภาพการกรองด้วยแรงดึงดูดและผลก้าง



(a) Surgical masks



(b) Fabric masks



(c) N95/KN95/FFP1/FFP2 masks

**Figure 9** Distribution of particle filtration efficiency of surgical masks, fabric masks and N95/ KN95/ FFP1/ FFP2 masks

**Table 2** Average, minimum, maximum and standard deviation of particle filtration efficiency of surgical masks, fabric masks and N95/KN95/FFP1/FFP2 masks

Mask types	Numbers of samples	Particle filtration efficiencies (%)			
		Average	Minimum	Maximum	Standard deviation
Surgical masks	67	50.50	2.50	95.90	26.34
Fabric masks	71	39.10	5.93	87.55	19.64
N95/KN95/FFP1/FFP2 masks	121	72.21	8.92	99.97	26.65

ไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) ระหว่างอนุภาคและเส้นใยจึงให้สามารถดักกรองอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.3  $\mu\text{m}$  ดีขึ้น [13]

การศึกษานี้ยังพบว่าหน้ากากอนามัยมีค่าประสิทธิภาพการกรองต่ำสุดใน 3 ชนิด คือ 2.50 % เมื่อเปรียบเทียบกับหน้ากากผ้าและหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 คือ 5.93 และ 8.92 % ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพต่ำสุดของหน้ากากทั้ง 3 ชนิด นี้ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้สำหรับมาตรฐาน ASTM F2100-19e1 ช่วงที่มีการสู่มเก็บตัวอย่างทดสอบในการศึกษานี้เป็นช่วงที่วัสดุหรือวัตถุดิบสำหรับผลิตหน้ากากขนาดแคลน จึงทำให้มีการนำวัสดุกรองอนุภาคหรือแผ่นกรองที่มีชื่อเรียกทางการค้าว่าเมลต์โบลน (melt-blown) ที่ไม่ได้คุณภาพนำมาผลิตหน้ากากหรือไม่มีชั้นกรองอนุภาคใส่ในหน้ากากออกมาจำหน่าย โดยขาดการควบคุมคุณภาพการผลิตที่ดี จึงทำให้หน้ากากในตลาดส่วนหนึ่งไม่มีคุณภาพและมาตรฐาน ไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจจากละอองฝอยหรือสารคัดหลั่งจากการไอจามและการดักจับละอองของเหลวและละอองลอยแบคทีเรียจากปากและจมูกของผู้สวมใส่

โดยการเลือกซื้อหน้ากากให้สังเกตฉลากว่ามีมาตรฐานการรับรองหรือไม่ เช่น ISO 13485 หมายถึงระบบมาตรฐานการจัดการด้านคุณภาพ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ พัฒนา ผลิต และขายเครื่องมือทาง

การแพทย์ โดยหน้ากาก N95 ที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทย ประเภทหน้ากากใช้ครั้งเดียว จะต้องได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือ มอก. 2480-2562 ถ้าเป็นหน้ากากอนามัย คือ มอก. 2424-2562 และมาตรฐานของต่างประเทศ ซึ่งก็สังเกตได้ เช่น ในยุโรปหน้ากากอนามัยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานยุโรป (European Standard) คือ EN 14683: 2019, ISO 13485, ASTM F2100, NIOSH 42 CFR 84 ฯลฯ หน้ากากที่ขายต้องมีใบรับรองหรือใบรับรองจากการทดสอบหน้ากาก ยืนยันว่าได้ผ่านการทดสอบมาแล้วจากห้องปฏิบัติการ โดยรายละเอียดในเอกสารต้องระบุชื่อผลิตภัณฑ์ตรงกัน วันเดือนปีที่ออกให้ต้องเป็นปีปัจจุบันหรือย้อนหลังไม่เกิน 1 ปี การเลือกซื้อจากช่องทางการจำหน่ายที่ไว้ใจได้หรือขายผลิตภัณฑ์เหล่านี้โดยตรง เช่น ร้านขายยา ฯลฯ

### 6. สรุป

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย การศึกษานี้ได้สู่มเก็บตัวอย่างหน้ากากที่มีขายในตลาด 259 ตัวอย่าง ประกอบด้วยหน้ากากอนามัย 67 ตัวอย่าง หน้ากากผ้า 71 ตัวอย่าง และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2

121 ตัวอย่าง ทดสอบด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM F2299-03 เพื่อหาประสิทธิภาพการกรองกับอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ความเร็วด้านหน้าประมาณ 10.6 cm/s วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบนี้ประกอบด้วยอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ แหล่งกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ แหล่งจ่ายอากาศสะอาด เครื่องอัดอากาศ ตัวไล่ความชื้นแบบแพร์ ตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง ชุดวาล์วปรับความเข้มข้น เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่นตัวยัดแผ่นกรอง มาตรวัดการไหล และปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) โดยการทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบที่ 25 °C และ 55 %RH ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหน้ากากอนามัยมีค่า 50.50, 2.50, 95.90 และ 26.34 % ตามลำดับ หน้ากากผ้ามีค่า 39.10, 5.93, 87.55 และ 19.64 % ตามลำดับ และ หน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 มีค่า 72.21, 8.92, 99.97 และ 26.65 % ตามลำดับ บทความวิจัยฉบับนี้ยังอธิบายถึงหลักการกรองอนุภาคโครงสร้างและส่วนประกอบของหน้ากากอนามัย ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อทั้งผู้บริโภคและผู้สนใจ

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อให้อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทดสอบครั้งนี้

## 8. References

[1] Department of Disease Control, COVID-19 Situation Report, Available Source: <https://covid19.ddc.moph.go.th>, October 24, 2020. (in Thai)

- [2] 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, *Adv. Future Perspect. Mater.* 13(15): 3363.
- [3] 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.
- [4] Sickbert-Bennett E.E., Samet, J.M., Clapp, P.W., Chen, H., Berntsen, J., Zeman, K.L., 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.
- [5] Konda, A., Prakash, A., Moss, G.A., Schmoltdt, M., Grant, G.D. and Guha, S., 2020, Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks, *ACS Nano* 14: 6339-6347.
- [6] Aydin, O., Emon, B., Cheng, S., Hong, L., Chamorro, L.P. and 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 Mechanics Lett.* 40:

- 100924.
- [7] 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.
- [8] Whiley, H., Keerthirathne, T.P., Nisar, M.A., White, M.A.F. and Ross, K.E., 2020, Viral filtration efficiency of fabric masks compared with surgical and N95 masks, *Pathogens* 9: 762-769.
- [9] Dugdale, C. M. and Walensky, R. P. , 2020, Filtration efficiency, effectiveness, and availability of N95 face masks for COVID-19 prevention, *JAMA Int. Med.* 180: 1612-1613.
- [10] 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.
- [11] ASTM F2100-19e1, 2019, Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [12] Willeke, K. and Baron, P.A., 1993, *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications*, John Wiley & Sons, New York.
- [13] Liu, B.Y.H. and Pui, D.Y.H., 1974, Equilibrium bipolar charge distribution of aerosols, *J. Colloid Interf. Sci.* 49: 305-312.