



## ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 หน้ากาก KN95 และ หน้ากากอนามัย ในช่วงขนาด 15–700 นาโนเมตร

วิสูตร อาสนวิจิตร\* และ พานิช อินต๊ะ

หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 5040 1595 อีเมล: iamvisut@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.09.007

รับเมื่อ 21 มิถุนายน 2564 แก้ไขเมื่อ 4 ตุลาคม 2564 ตอรับเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 25 กันยายน 2566

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก โดยจะใช้อนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคแต่ละขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตร ของหน้ากาก 3 ชนิด คือ N95, KN95 และหน้ากากอนามัย ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคระหว่างขนาด 100 นาโนเมตร และ 300 นาโนเมตร ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้ากากจากการกรองอนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมันในช่วง 50–700 นาโนเมตร และทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ที่อนุภาคประจุสมดุลและอนุภาคประจุไม่สมดุล ผลการทดสอบพบว่า การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคระหว่างขนาด 100 นาโนเมตร และ 300 นาโนเมตร อนุภาคที่ผ่านทะลุแผ่นกรองของหน้ากากได้ดีที่สุดของหน้ากาก N95 คือ 30–40 นาโนเมตร ของหน้ากาก KN95 คือ 40–60 นาโนเมตร และของหน้ากาก หน้ากากอนามัยมี 2 ช่วง คือ 30–50 นาโนเมตร และ 150–200 นาโนเมตร พบว่า การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้ากากจากการกรองอนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมัน ในช่วง 50–700 นาโนเมตร หน้ากาก N95 มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคน้ำมัน 96% ส่วนอนุภาคเกลือ 98% ส่วนหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคน้ำมัน 80% ส่วนอนุภาคเกลือ 91% และการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ที่อนุภาคประจุสมดุลและอนุภาคประจุไม่สมดุลของหน้ากากเมื่อใช้ตัวทำให้อนุภาคละอองลอยเป็นกลาง มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุกรองลดลงเนื่องจากการประจุสมดุลของอนุภาคพบว่า อนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ที่ไม่ได้รับประจุมีอยู่ถึงประมาณ 30% และอนุภาคที่มีประจุบวกและลบประมาณ 70% ทำให้อนุภาคที่ไม่มีประจุกว่า 30% สามารถผ่านทะลุได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีประจุบวกและลบ

**คำสำคัญ:** ประจุไฟฟ้าสถิต ประสิทธิภาพการกรอง การรั่วของหน้ากาก โควิด-19

การอ้างอิงบทความ: วิสูตร อาสนวิจิตร และ พานิช อินต๊ะ, “ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 หน้ากาก KN95 และ หน้ากากอนามัย ในช่วงขนาด 15–700 นาโนเมตร ,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 33, ฉบับที่ 4, หน้า 1–17, เลขที่บทความ 234-115361, ต.ค.-ธ.ค. 2566.



## Particle Filtration Efficiency of N95 Mask, KN95 Mask and Surgical Mask in the Particle Size Range between 15–700 nm

Visut Asanavijit\* and Panich Intra

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

\* Corresponding Author, Tel. 08 5040 1595, E-mail: iamvisut@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.09.007

Received 21 June 2021; Revised 4 October 2021; Accepted 30 November 2021; Published online: 25 September 2023

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

The purpose of this study is to evaluate the particulate filtration efficiency of N95 masks, KN95 masks, and surgical masks used in Thailand during the COVID-19 outbreak. The filtration efficiency of aerosol particles in the size range of about 15 nm - 700 nm was tested using NaCl and emery oil particles. In this work, the filtration efficiency of NaCl and emery oil particles between 100 and 300 nm was presented and compared. The filtration efficiency of NaCl and emery oil particles in the range of 50–700 nm, as well as the filtration efficiency of 300 nm NaCl particles at both neutralized and unneutralized charges were experimentally evaluated. A comparison of particle filtration efficiency between 100 nm and 300 nm showed that the particles that most penetrated the N95 mask's filter were 30–40 nm, those of the KN95 masks were 40–60 nm and those of surgical masks featured 2 ranges: 30–50 nm and 150–200 nm. In regard to filtration efficiency of NaCl and emery oil particles in the range of 50–700 nm, the oil and NaCl particle filtration efficiency of N95 masks reached about 96% and 98%, compared with 80% and 91% filtration efficiency of surgical masks. Because the particle equilibrium charge of a particle of 300 nm in diameter is approximately 30% uncharged particles and approximately 70% positively and negatively charged particles, when using an aerosol neutralizer, the filtration efficiency of charged and uncharged particles resulted in reduced particle filtration efficiency of mask filter. This allows more than 30% of uncharged particles to pass through more easily than positively and negatively charged particles.

**Keywords:** Aerosol, Electrostatic Charge, Filtration Efficiency, Mask Leak, COVID-19

Please cite this article as: V. Asanavijit and P. Intra, "Particle filtration efficiency of N95 mask, KN95 mask and surgical mask in the particle size range between 15–700 nm," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 4, pp. 1–17, ID. 234-115361, Oct.-Dec. 2023 (in Thai).

## 1. บทนำ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ไปทั่วโลกโดยมีสาเหตุมาจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ เริ่มต้นขึ้นในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 โดยพบครั้งแรกในนครอู่ฮั่น เมืองหลวงของมณฑลหูเป่ย์ ประเทศจีน องค์การอนามัยโลกได้ประกาศให้การระบาดนี้เป็นภาวะฉุกเฉินทางสาธารณสุขระหว่างประเทศ ในวันที่ 30 มกราคม 2563 และประกาศให้เป็นโรคระบาดทั่วโลกในวันที่ 11 มีนาคม 2563 จากข้อมูล ณ วันที่ 3 สิงหาคม 2564 [1] พบว่ายอดผู้ติดเชื้อสะสมทั่วโลกสูงถึง 200,304,176 ราย และเสียชีวิตสะสมสูงถึง 4,259,667 ราย สำหรับประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อสะสม 672,385 ราย และเสียชีวิตสะสม 5,503 ราย โดยในช่วงโควิด-19 ระบาดที่เกิดขึ้นในประเทศไทยทั้ง 3 รอบ ส่งผลทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ทางการแพทย์โดยเฉพาะหน้ากากอนามัยประเภทใช้ครั้งเดียว (Disposable Surgical Masks) หน้ากากผ้า (Fabric Masks) และหน้ากาก N95 (N95 Masks) ทำให้มีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปกติหลายเท่า ส่งผลให้ราคาหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากาก N95 สูงขึ้นหลายเท่าตัว จึงเกิดมีการนำเข้าหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 จากต่างประเทศมาจำหน่ายในประเทศหลากหลายรูปแบบ [2]-[8] โดยมาตรฐานหน้ากาก N95 ในประเทศไทยจะต้องได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2480-2562 ถ้าเป็นหน้ากากอนามัย มอก. 2424-2562 และมาตรฐานของต่างประเทศในยุโรปหน้ากากอนามัยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานยุโรป (European Standard) ปัจจุบันพบว่า มีทั้งหน้ากากที่ได้ผ่านมาตรฐานรับรองและไม่ได้ผ่านมาตรฐานรับรองมีขายตามท้องตลาดมากมาย โดยหน้ากากที่ไม่ได้มาตรฐานนั้นจะมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคที่ต่ำกว่ามาตรฐานได้กำหนดไว้ จึงไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจจากละอองฝอย สารคัดหลั่งจากการไอจาม ละอองของเหลว ละอองลอย และแบคทีเรียได้ โดยมีผลงานวิจัยในต่างประเทศได้มีการทดสอบถึงประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากในช่วงที่มีการระบาดของโควิด 19 รอบแรก [4] ได้รายงานถึงประสิทธิภาพ

การกรอง ประสิทธิภาพและความพร้อมใช้งานของหน้ากาก N95 สำหรับการป้องกัน โควิด-19 ซึ่งทำการทดสอบตามมาตรฐานสากลของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของประเทศสหรัฐอเมริกา (NIOSH) ที่ใช้วิธีตรวจสอบตามมาตรฐาน American Society of Testing and Materials; ASTM โดยพบว่า หน้ากาก N95 ที่มีขายในท้องตลาดและที่ได้มีการบริจาคให้กับโรงพยาบาลในสหรัฐอเมริกา มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคได้ 53-85% และหน้ากากอนามัยแบบสายรัดหัวมีประสิทธิภาพในการกรองต่ำกว่ามาก ถึง 37-69% เนื่องจากหน้ากากมีแผ่นกรองที่บางกว่า [9] ได้รายงานผลการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากเพื่อเป็นทางเลือกใช้ป้องกันการติดเชื้อ ที่ดำเนินการทดสอบช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2563 โดยได้เลือกหน้ากากจำนวน 29 แบบ ทำการทดสอบกับผู้ขายและผู้หญิง ตามมาตรฐาน ASTM F2299-03 [5] พบว่าประสิทธิภาพของหน้ากาก N95 ที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับใบหน้าจะมีประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย 90%-95% และประเมินประสิทธิภาพการกรองแบบพอดีพบว่า หน้ากาก N95 มีประสิทธิภาพ 98.5% สำหรับงานวิจัยในประเทศไทย ได้มีรายงานผลการศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทยรอบแรก [10] ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM F2299-03 [5] ซึ่งมีกระบวนการทดสอบในงานวิจัยตัวอย่างละ 5 ชิ้น ทดสอบ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง ทดสอบที่ Face Velocity 10.6 เซนติเมตรต่อวินาที กับที่อนุภาค 0.1 ไมครอน PSL สำหรับหน้ากากอนามัย และ 0.3 ไมครอน NaCl สำหรับหน้ากาก N95 และ KN95 โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากากอนามัยจำนวน 67 ตัวอย่างมาทดสอบพบว่าหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุด สูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 50.50, 2.50, 95.90 และ 26.34% ตามลำดับ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากากผ้าจำนวน 71 ตัวอย่างมาทดสอบ พบว่ามีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุด สูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 39.10, 5.93, 87.55 และ 19.64% ตามลำดับ และทำการ

สวมเก็บตัวอย่างหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 จำนวน 121 ตัวอย่างมาทดสอบ พบว่ามีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 72.21%, 8.92%, 99.97% และ 26.65% ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยยังมีสถานการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวได้เกิดปัญหาหมอกควันมีค่าฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานทั้งในกรุงเทพและหลายจังหวัดในภาคเหนือ ทำให้มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI (Air Quality Index) สูงเป็นอันดับต้นๆ ของโลกต่อเนื่องการหลายวัน โดยปัญหาดังกล่าวจะพบแหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานไฟฟ้า เขม่าควันจากไอเสียของเครื่องยนต์ และการเผาชีวมวลในที่โล่ง โดยพบว่า ช่วงที่อากาศเย็นความกดอากาศสูงกดทับในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ เมื่ออากาศกดทับทุกสิ่งทุกอย่างจะอยู่ภายใต้มวลอากาศเหมือนฝาชีครอบ เพราะฉะนั้น ค่าฝุ่น ควัน จะระบายได้ยากและต้องใช้เวลานาน [11] ได้รายงานว่าบนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีการแพร่กระจายของอนุภาคขนาดเล็กระดับซับไมครอน หรืออนุภาคระดับนาโน โดยมีการกระจายของจำนวนอนุภาคสูงสุดที่ 100–200 นาโนเมตร ซึ่งอนุภาคไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเขม่าคาร์บอนดำที่มีอนุภาคระดับซับไมครอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 30–500 นาโนเมตร และได้พบว่ามีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ พานิช และคณะ [12] ที่ได้รายงานผลการวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM2.5 ในอากาศโดยรอบที่ พื้นที่ดอยสะเก็ดในช่วงฤดูหนาวในเชียงใหม่ระหว่างวันที่ 1–15 เดือนเมษายน 2562 โดยค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM2.5 ได้ถูกวัดพร้อมกันด้วยเครื่องวัดฝุ่น DustTrak โมเดล 8533 และเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น CPC โมเดล 3750 ตามลำดับ พบว่า แนวโน้มของความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 ที่วัดโดย CPC มีค่าไปในทิศทางเดียวกันกับความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 ที่วัดโดย DustTrak ความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย DustTrak เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลประมาณ 180.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 42.13 ไมโครกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร และ 101.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ และความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย CPC เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูล 22,460.94 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร 4,550.39 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 11,517.39 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และยังพบว่า อนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร มีความเข้มข้นจำนวนมากที่สุดถึงประมาณ 90% ในจำนวนอนุภาคที่มีขนาดในช่วง 300–10,000 นาโนเมตร ในรายงาน [13] ผลการศึกษาในประเทศไทยจำนวน 120 เมือง พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีจำนวนผู้ป่วยในระบบทางเดินหายใจรายวัน ในประเทศเพิ่มขึ้นถึง 2.24% และงานวิจัยของ [14] ยังได้รายงานถึงผลกระทบของโรคหลอดเลือดสมองจากฝุ่น PM2.5 ว่าความเข้มข้นของ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาฉุกเฉินเนื่องจากสาเหตุของหลอดเลือดสมองเพิ่มขึ้นถึง 1.29 % เป็นอันตรายต่อชีวิตได้โดยทั่วไปผ่านกรองทุกชนิดจะมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นต่ำในช่วงอนุภาคขนาด 100–500 นาโนเมตร เนื่องจากเป็นขอบบนของการกรองแบบการแพร่กระจายและขอบล่างของการกรองแบบการกระทบด้วยแรงเฉื่อยและการสกัดกั้น โดยขนาดอนุภาคที่สามารถผ่านทะลุผ่านกรองได้ดีที่สุดคือ อนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ในการวิจัยนี้จึงสนใจใช้อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 นาโนเมตร ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุกรองเนื่องจากเป็นขนาดอนุภาคที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองตามมาตรฐานหน้ากากกรองอากาศของ (NIOSH) ประเทศสหรัฐอเมริกา จากรายงานวิจัย [13] ไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่จะมีขนาดอนุภาคหลากหลายอยู่ระหว่าง 60–140 นาโนเมตร มีการปะปนอยู่ในละอองฝอยที่เกิดจากการไอ จาม ดังนั้นหากพิจารณาผลกระทบทางสุขภาพจากอนุภาคละอองลอยขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตรที่ได้กล่าวมาในข้างต้นทำให้เห็นถึงความสำคัญและจำเป็นต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษเกี่ยวกับการพัฒนาวัสดุกรองหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศ เพื่อป้องกันอนุภาคขนาดในช่วงขนาดนี้เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค โดยจะใช้อนุภาคเกลือ (NaCl) และอนุภาคน้ำมัน (Emery Oil) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคแต่ละขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตรของหน้ากาก 3 ชนิด คือ N95, KN95 และหน้ากากอนามัย ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้ากากจากการกรองอนุภาคเกลือ (NaCl) และอนุภาคน้ำมัน (Emery Oil) ในช่วงขนาด 50–700 นาโนเมตร และทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ที่อนุภาคประจุสมมูลและอนุภาคประจุไม่สมมูลของหน้ากาก N95, KN95, KF94, และหน้ากากอนามัยตามลำดับ ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของการศึกษานี้จะอาศัยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน 42 CFR 84 สำหรับหน้ากาก N95 และ KN95 [15] และ ASTM F2299 สำหรับหน้ากากอนามัย [5], [16] ดังแสดงวิธีการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากในตารางที่ 1 เป็นแนวทางประยุกต์ในการติดตั้งระบบทดสอบกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่และหาได้ใน

ประเทศไทยเพื่อให้ได้การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคที่ครอบคลุมทั้งมาตรฐานการทดสอบของหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 และ KN95 ทันต่อการศึกษาวิจัยทางด้านนี้ช่วงโควิด-19 ระบาดในประเทศไทยและเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขึ้นในประเทศ โดยข้อมูลผลการศึกษาในบทความวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อทั้งผู้ใช้ ผู้ที่สนใจ และสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพของหน้ากากสำหรับใช้ในการกรองอนุภาคละอองที่มีขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคตต่อไป

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 ประเภทและส่วนประกอบของหน้ากาก

#### 2.1.1 ประเภทของหน้ากาก

1) หน้ากากกรองอากาศ ในรูปที่ 1 แสดงหน้ากากกรองอากาศ (Filtering Facepiece Respirator) เป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่สวมใส่บนใบหน้าซึ่งปิดจมูกและปากจาก

ตารางที่ 1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 และ หน้ากากอนามัย

| รายละเอียดตัวแปรทดสอบ                                                         | หน้ากาก N95 ตามมาตรฐาน 42 CFR 84 [15]                                                                        | หน้ากากอนามัย ตามมาตรฐาน ASTM F2299 [5], [16]                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| อนุภาคทดสอบ                                                                   | โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)<br>CMD = $0.075 \pm 0.02 \mu\text{m}$<br>MMAD = $0.3 \mu\text{m}$<br>GSD $\leq 1.86\%$ | อนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (Polystyrene Latex) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง $0.1\text{--}5.0 \mu\text{m}$<br>GSD $\leq 1.6\%$ |
| ความเข้มข้นของอนุภาค                                                          | ไม่เกิน $200 \text{ mg/m}^3$                                                                                 | ช่วง $10^7\text{--}10^8 \text{ particles/m}^3$                                                                                       |
| อัตราการไหลทดสอบ                                                              | $85 \pm 4 \text{ L/min}$ (ตัวกรองเดียว)<br>$42.5 \pm 2 \text{ L/min}$ (ด้านใดด้านหนึ่งตัวกรองคู่)            | -                                                                                                                                    |
| ความเร็วการไหล                                                                | $10.6 \text{ cm/s}$ ที่พื้นที่ทดสอบ (Test Area)<br>$135 \text{ cm}^2$                                        | ช่วง $0.5\text{--}25 \text{ cm/s}$                                                                                                   |
| ที่ใส่ตัวอย่าง (Specimen Holder)                                              | -                                                                                                            | มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $5\text{--}15 \text{ cm}$                                                                                    |
| การเก็บตัวอย่าง                                                               | -                                                                                                            | แบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Sampling)                                                                                                 |
| อนุภาคทำให้มีสมมูลประจุบ็อลทซ์มันน์ (Boltzmann Equilibrium Charge Equivalent) | ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ (Aerosol Neutralizer)                                                        | ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ (Aerosol Neutralizer)                                                                                |
| ระบบการไหลอากาศ                                                               | แรงดันลบด้วยปั๊มสุญญากาศ                                                                                     | แรงดันบวกด้วยเครื่องอัดอากาศ                                                                                                         |
| อุณหภูมิขณะทดสอบ                                                              | $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$                                                                            | $21 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$                                                                                                    |
| ความชื้นสัมพัทธ์ขณะทดสอบ                                                      | $30 \pm 10 \text{ \%RH}$                                                                                     | $30 - 50 \pm 5 \text{ \%RH}$                                                                                                         |



รูปที่ 1 หน้ากากกรองอากาศประเภท N95 และ KN95



รูปที่ 2 หน้ากากอนามัย (Surgical Mask)

อนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น สารติดเชื้อ ก๊าซหรือไอระเหย ช่วยในการบำบัดอากาศและลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนของผู้สวมใส่ในบริเวณที่มีมลพิษ หน้ากากกรองอากาศมีหลายประเภท เช่น N95, P100, FFP2, FFP3, KN95 เป็นต้น โดยที่รู้จักมากที่สุดมี 2 แบบ คือ หน้ากาก N95 และ P100 หน้ากาก N95 เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่ผ่านมาตรฐาน N95 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ สหรัฐ (National Institute for Occupational Safety and Health ตัวย่อ NIOSH) ซึ่งหมายความว่าสามารถกรองอนุภาคในอากาศได้อย่างน้อยร้อยละ 95 มาตรฐานนี้ไม่ได้บังคับให้หน้ากากทนน้ำมันและไม่ป้องกันแก๊สหรือไอได้

2) หน้ากากอนามัย แสดงในรูปที่ 2 ได้ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันผู้สวมใส่จากการติดเชื้อในสภาพแวดล้อมทางคลินิก แต่ก็ไม่ได้ช่วยป้องกันการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจได้มาก แม้ว่าจะไม่ใช่วิธีการป้องกันที่ดีแต่ก็สามารถป้องกันผู้สวมใส่จากละอองฝอยหรือสารคัดหลั่งจากการไอจาม

และการดักจับละอองของเหลวและละอองลอยแบคทีเรียจากปากและจมูกผู้สวมใส่ได้ โดยทั่วไปแล้วหน้ากากอนามัยจะมีโครงสร้าง 3 ชั้น ชั้นกลางเป็นวัสดุกรองในขณะที่ชั้นในมีไว้สำหรับดูดซับความชื้นและชั้นนอกจะสะท้อนน้ำ อย่างไรก็ตาม หน้ากากอนามัยมีระดับการป้องกันที่ต่ำกว่าและจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบถึงความรู้สึกสบายและระดับการป้องกันเมื่อเลือกหน้ากากอนามัยใส่ในที่ที่มีปัญหามลพิษทางอากาศสูง

### 2.1.2 ส่วนประกอบของหน้ากาก

หน้ากาก N95 ส่วนมากผลิตจากเม็ดพลาสติกประเภท พอลิโพรพิลีน [5] โดยวิธีไม่ผ่านการทอ (Meltblown Nonwovens) ในลักษณะคล้ายกับวัสดุที่ใช้ผลิตหน้ากากอนามัย แต่เส้นใยของ N95 จะมีขนาดเส้นเล็กในระดับ นาโนเมตร เส้นใยไม่เป็นเส้นยาวต่อเนื่องและความแข็งแรงน้อยกว่า ดังนั้นจึงใช้ประกอบร่วมกับวัสดุประเภท Spunbond Nonwovens เพื่อให้หน้ากากมีความแข็งแรง โดยหน้ากาก N95 ประกอบด้วย Meltblown และ Spunbond โดยสองชั้นด้านในสุด (ด้านที่สัมผัสกับผู้ใส่) และด้านนอกสุด (ด้านที่สัมผัสกับอากาศ) เป็นวัสดุประเภท Spunbond ที่มีควาหนาแน่น 20–50 กรัมต่อตารางเมตร ตรงกลางเป็นชั้น Pre-filter ที่อาจมีความหนาแน่นสูงถึง 250 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้สามารถขึ้นรูปของหน้ากากและคงรูปได้ดี ต่อจากชั้นนี้จะเป็น Meltblown Nonwovens ซึ่งทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองโดยอาศัยหลักการกรองและหลักการดักจับอนุภาคด้วยประจุไฟฟ้า (Electrostatic Attraction) และด้านในสุดเป็นชั้น Spunbond เพื่อให้ความสบายในการสวมใส่ สามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 0.1–0.3 ไมครอน ได้ถึง 95% ตัวอักษร N แสดงถึงประเภทของ Respirator ที่สามารถกรองอนุภาคและละอองลอยที่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำมัน (Not Resistant to Oil-based Particulates) คือใช้กรอง Non-oily Particles เท่านั้น ตัวอักษร R แสดงถึงประเภทของ Respirator ที่สามารถกรองอนุภาคและละอองลอยที่มีส่วนประกอบของน้ำมัน (Resistant to Oil-based Particulates) ตัวอักษร P แสดงถึงประเภทของ Respirator ที่สามารถกรองอนุภาคและละอองลอยที่มีส่วนประกอบของน้ำมัน (Strongly Resistant

to Oil-based Particulates) ซึ่งใช้ได้นานกว่า R เป็นไปตามมาตรฐาน NIOSH ประเทศสหรัฐอเมริกา ในตารางที่ 1 ส่วนเลข 95 หมายถึงประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคได้ 95% ซึ่งตามมาตรฐาน NIOSH จะจัดอันดับเป็น 95, 99 และ 100% ตามลำดับ โดยจะพบใช้งานหลายประเภทเช่น N95, P100, FFP2, FFP3, KN95, KF94 เป็นต้น

ส่วนหน้ากากอนามัย (Surgical Mask) โดยส่วนมากหน้ากากอนามัยประเภทนี้จะมียางดำ 3 ชั้น ชั้นนอกสุดจะถูกเคลือบด้วยสารที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของของเหลวได้ (Waterproof Coating) ซึ่งสารเคลือบนี้สามารถละลายออกมาหากมีการซักล้างด้วยสบู่ หรือเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ ชั้นตรงกลางจะมีชั้นแผ่นกรองอยู่ วัสดุที่ใช้ผลิตหน้ากากเกิดจากการหลอมเม็ดพลาสติกโดยไม่ผ่านการทอ (Nonwovens) ขึ้นรูปจากเส้นใยพลาสติกจนเกิดเป็นแผ่นกรองที่สามารถปรับขนาดความหนาแน่นได้ โดยปกติจะมีความหนาแน่น 20–25 กรัมต่อตารางเมตร ชนิดของพลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) แต่บางครั้งอาจใช้พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิสไตรีน (Polystyrene) และพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ร่วมด้วย การขึ้นรูปโดยใช้พลาสติก Polypropylene ทำให้เกิดแผ่นกรองที่ได้มีคุณสมบัติอ่อนนุ่มคล้ายผ้าที่ได้จากการทอ ทำให้สวมใส่สบาย มีความสะอาดสูง และสามารถกรองอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนขึ้นไปได้มากกว่าหรือเท่ากับ 95% โพลีโพรพิลีนมีจุดหลอมเหลวที่ 163.8 องศาเซลเซียส สามารถทำลายด้วยความร้อนสูงกว่า 82.2 องศาเซลเซียส และสารเคมี เช่น กรดออกซิไดซ์ (Oxidizing Acid) คลอรีนไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbons) และสารกลุ่มอะโรมาติกส์ (Aromatics) เป็นต้น

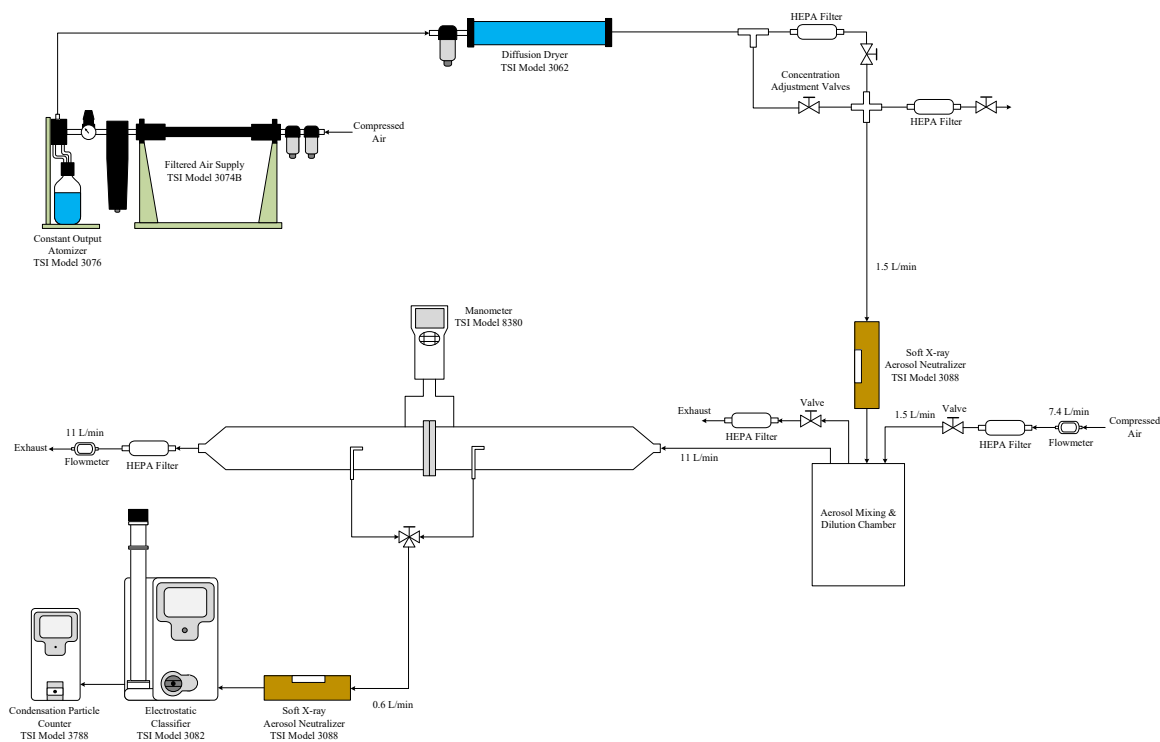
## 2.2 หน้ากากตัวอย่างสำหรับทดสอบ

ในการเลือกหน้ากากตัวอย่างสำหรับการทดสอบนี้จะเลือกซื้อหน้ากาก N95 หน้ากาก KN95 และหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ที่มีขายตามท้องตลาด มีการสุ่มตัวอย่างหน้ากากตามที่มีท้องตลาดชนิดละ 5 ชิ้น โดยหน้ากาก N95 ต้องได้รับการรับรองจาก NIOSH ประเทศ

สหรัฐอเมริกา หรือได้รับการรับรองให้นำเข้า/ผลิต/จำหน่าย สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศไทย หรือได้มาตรฐาน มอก 2480-2562 จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ.) ส่วนหน้ากาก KN95 ต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน GB 2626-2019 จากสาธารณรัฐประชาชนจีน หรือ ได้รับการรับรองให้นำเข้า/ผลิต/จำหน่ายจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประเทศไทย และหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ต้องได้รับการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (FDA) ประเทศสหรัฐอเมริกาหรือได้มาตรฐาน ASTM F2100 ประเทศสหรัฐอเมริกาหรือได้มาตรฐาน มอก 2424-2562 จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือ ได้รับการรับรองให้นำเข้า/ผลิต/จำหน่ายจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ในงานวิจัยนี้หน้ากาก N95 ที่ทดสอบจะประกอบด้วยยี่ห้อ 3M 9501, 3M 1870, 3M Vflex 9102, YAO WANG และ Honeywell หน้ากาก KN95 ที่ทดสอบจะประกอบด้วยยี่ห้อ KN95 9801, Tianyi Zhongliang, Sinpul, Purely และ South Nuclear ส่วนหน้ากากอนามัยที่ทดสอบจะประกอบด้วยยี่ห้อ PROAID, VTRIMED VS98, LIVE SEF, SUN MILLON และ MISS MED ทำการทดสอบตัวอย่างละ 5 ชิ้น

## 2.3 ระบบการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95, KN95 และหน้ากากอนามัย

รูปที่ 3 แสดงวัสดุและแผนภาพอุปกรณ์การทดลอง สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคแต่ละขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตรของหน้ากาก N95 หน้ากาก KN95 และหน้ากากอนามัยในการศึกษานี้ ซึ่งการพัฒนากระบวนการทดสอบการกรองอนุภาคในลักษณะนี้ได้มีการนำเสนอโดย Wang และคณะ [17] สำหรับการหาประสิทธิภาพของคอมโพสิตฟิลเตอร์ที่ประกอบขึ้นจากวัสดุกรองพื้นฐานหลายชั้นสำหรับทำแผ่นกรองหน้ากาก โดยในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของการศึกษานี้จะอาศัยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน 42 CFR 84 [15] และ

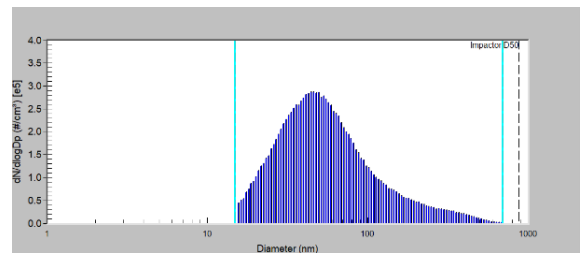


รูปที่ 3 แผนภาพอุปกรณ์การประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95, KN95 และหน้ากากอนามัย

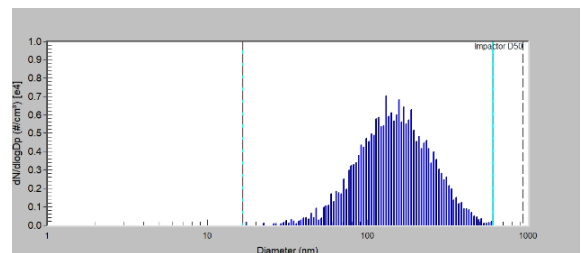
ASTM F2299 [5], [16] เป็นแนวทางประยุกต์ในการติดตั้งระบบทดสอบกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่และหาได้ในประเทศไทยเพื่อให้ครอบคลุมการทดสอบหน้ากากทั้ง 3 ชนิดในระบบการทดสอบเดียว ซึ่งการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการกรองอนุภาคตามมาตรฐาน 42 CFR 84 และ ASTM F2299 ของหน้ากากอนามัยกับหน้ากาก N95 ได้รายงานโดย Rengasamy และคณะ [18] หน้ากากทั้งสองแบบได้ถูกทดสอบเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธีการทดสอบ ซึ่งวิธี 42 CFR 84 มีการไหลอากาศภายในระบบทดสอบเป็นแบบแรงดันลบ (Negative Pressure) ด้วยปั๊มสุญญากาศ ส่วนวิธี ASTM F2299 มีการไหลอากาศภายในระบบเป็นแบบแรงดันบวก (Positive Pressure) ด้วยเครื่องอัดอากาศ จากผลการศึกษาของ Rengasamy และคณะ [18] พบว่า ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 และหน้ากากอนามัยอยู่ในช่วง 98.15–99.68% สำหรับวิธีทดสอบ 42 CFR 84 เทียบกับวิธีทดสอบตาม ASTM F2299 อยู่ในช่วง 99.74–99.99%

ซึ่งค่าประสิทธิภาพมัธยฐาน (Median Efficiency) สำหรับการทดสอบด้วยวิธี 42 CFR 84 มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ( $p = < 0.05$ ) กับค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีทดสอบ ASTM F2299 ดังนั้น ในการศึกษาจึงได้เลือกและกำหนดให้การไหลอากาศในระบบทดสอบเป็นแบบแรงดันบวกด้วยเครื่องอัดสุญญากาศ ซึ่งเป็นระบบการไหลอากาศที่สามารถสร้างได้ง่ายกับวัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่และหาได้ในประเทศในช่วงเวลาของการทำวิจัยนี้และให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกันเล็กน้อยตามรายงานการวิจัยของ Rengasamy และคณะ [18] โดยระบบการทดสอบนี้ประกอบด้วย เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ได้แสดงในรูปที่ 3 ดังนี้ อนุภาคเกลือ (NaCl) และอนุภาคน้ำมัน (Emery Oil) แหล่งกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer Aerosol Generator) แหล่งจ่ายอากาศสะอาด (Filtered Air Supply) เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ตัวไล่ความชื้นแบบแพร่ (Diffusion Dryer) ตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง (Aerosol Neutralizer) ชุดวาล์ว

ปรับความเข้มข้น (Concentration Adjustment Valve) เครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้ (Scanning Mobility Particle Sizer) มาโนมิเตอร์ (Manometer) ห้องทดสอบ (Test Chamber) ห้องผสมและเจือจางละอองลอย (Aerosol Mixing and Dilution Chamber) มาตรวัดการไหล (Flow Meter) และตัวกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง (HEPA Filter) การทดสอบประสิทธิภาพการกรองนี้ใช้อนุภาคเกลือ (เกลือ 2% ผสมในน้ำกลั่น Deionized) และอนุภาคน้ำมัน (ผสมในไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol) สัดส่วน 1 : 100) โดยจ่ายอนุภาคเกลือ/อนุภาคน้ำมันจากแหล่งกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Model 3076, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) จากนั้นอนุภาคจะผ่านเข้าไปยังตัวไล่ความชื้นแบบแพร์ (Model 3062, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อกำจัดความชื้นออก โดยความเข้มข้นของอนุภาคสามารถปรับให้เหมาะสมได้ด้วยชุดวาล์วปรับความเข้มข้นด้านหลังตัวไล่ความชื้นหลังจากชุดวาล์วปรับความเข้มข้น อนุภาคจะถูกทำให้มีสมมูลประจุโบลต์ซมันน์ (Boltzmann) ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ Soft X-ray (Model 3088, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) เพื่อหลีกเลี่ยงผลของประจุไฟฟ้าสถิต [19] ที่เกิดขึ้นในขณะทดสอบประสิทธิภาพการกรองของวัสดุกรองสำหรับวิธีการตามมาตรฐาน 42 CFR 84 และ ASTM F2299 ได้กำหนดให้มีการทดสอบกับอนุภาคที่มีประจุสมมูลหรืออนุภาคที่เป็นกลาง (Neutralized Particle) และเพื่อป้องกันการสูญเสียอนุภาค (Particle Losses) ในระบบหรือในท่อและห้องทดสอบตัวอย่างซึ่งและห้องทดสอบตัวอย่างซึ่งในการศึกษานี้ใช้ท่อซิลิโคนนำไฟฟ้า (Conductive Silicone Tube) และท่อเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Tube) เป็นท่อนำส่งและการเก็บตัวอย่างอนุภาคเพื่อป้องกันการสูญเสียของอนุภาคในระบบรูปที่ 4 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมันที่ใช้ทดสอบวัดโดยเครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้ (Scanning Mobility Particle Sizer; SMPS) เป็นเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่สามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคได้ในช่วง 10–1,000 นาโนเมตร จากรูปที่ 4 พบว่า อนุภาคเกลือและ



(ก) อนุภาคเกลือ



(ข) อนุภาคน้ำมัน

รูปที่ 4 การกระจายขนาดอนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมัน

อนุภาคน้ำมันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐาน (Count Median Diameter; CMD) เท่ากับ 57.4 และ 263 นาโนเมตร ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานมวล (Mass Median Aerodynamic Diameter; MMAD) ของอนุภาคเกลือเท่ากับ 264.1 นาโนเมตร และของอนุภาคน้ำมันเท่ากับ 610 นาโนเมตร โดยอนุภาคเกลือที่มีค่า Geometric standard deviation ของ CMD และ MMAD ประมาณ 1.83 และ 1.84 ตามลำดับ และอนุภาคน้ำมันที่มีค่า Geometric standard deviation ของ CMD และ MMAD ประมาณ 1.85 และ 1.88 ตามลำดับ ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของแผ่นกรองหรือหน้ากาก [20], [21] สามารถทดสอบได้ทั้งละอองลอยแบบโมโนดิสเพอร์ส (Monodisperse Aerosol) และละอองลอยแบบโพลีดิสเพอร์ส (Polydisperse Aerosol) ในรายการวิจัยให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [7], [22], [23] สำหรับในการศึกษานี้สนใจทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากทั้ง 3 ชนิด ด้วยละอองลอยแบบโพลีดิสเพอร์สโดยการกำเนิดอนุภาคละอองลอยของเกลือและน้ำมันแบบโพลีดิสเพอร์สแล้ววัดการกระจายขนาด

อนุภาคละอองลอย (Particle Size Distribution) ด้านก่อนและหลังแผ่นกรองด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้หรือ SMPS ซึ่งสามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคได้ในช่วง 10–1,000 นาโนเมตร ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคด้วยละอองลอยแบบโพลีดีสเพอร์สชันได้ [20], [21] มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางมายาวนานและเป็นที่ยอมรับใช้งาน [7], [22], [23] การศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของแผ่นกรองหรือหน้ากากเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคแต่ละขนาดและขนาดอนุภาคที่สามารถผ่านทะลุแผ่นกรองอนุภาคได้ง่ายที่สุด ซึ่งการทดสอบด้วยละอองลอยแบบโพลีดีสเพอร์สจะทำให้เข้าใจถึงหลักการกรองอนุภาคแต่ละขนาดได้ดีขึ้นหลังจากผ่านตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง อนุภาคเข้าไปยังห้องผสมและเจือจางละอองลอยกับอากาศให้ได้อัตราการไหลและความเข้มข้นของอนุภาคที่ต้องการ สำหรับการทดสอบหน้ากาก N95 ตามมาตรฐาน 42 CFR 84 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐ [15] โดยการทดสอบหน้ากาก N95 ตามมาตรฐาน 42 CFR 84 นี้จะเป็นการจำลองในกรณีที่เลวร้ายที่สุด (Worst-case) ที่อาจพบได้ในสภาพแวดล้อมการทำงานทั่วไป คือทำให้เกิดการผ่านทะลุตัวกรองสูงสุด จึงกำหนดอัตราการไหลอากาศในการทดสอบที่อัตราการทำงานสูงของมนุษย์คือ 85 หรือ 95 ลิตรต่อนาที ใน 42 CFR 84 ได้กำหนดอัตราการไหลทดสอบ  $Q$  คือ 85 ลิตรต่อนาที สำหรับพื้นที่ผิวหน้ากาก  $A$  ประมาณ 135 ตารางเซนติเมตร จะสามารถหาความเร็วด้านหน้าของหน้ากาก  $V$  ได้จาก

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) แทนค่าอัตราการไหลทดสอบ 85 ลิตรต่อนาที และพื้นที่ของหน้ากาก N95 เท่ากับ 135 ตารางเซนติเมตร จะได้ความเร็วด้านหน้าเท่ากับ 10.6 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งอัตราการหายใจปกติสำหรับผู้ใหญ่ขณะพักอยู่ที่ประมาณ 20 ลิตรต่อนาที และระหว่างออกกำลังกายประมาณ 100 ลิตรต่อนาที สัมพันธ์กับความเร็วด้านหน้า

ในช่วง 1.6–3 เซนติเมตรต่อวินาทีสำหรับขณะพักและ 8–15 เซนติเมตรต่อวินาทีในขณะออกกำลังกายซึ่งคล้ายกับความเร็วด้านหน้าของวิธีการ 42 CFR 84 ของ NIOSH [16] ในมาตรฐาน ASTM F2299 สำหรับการทดสอบหน้ากากอนามัยก็ได้กำหนดความเร็วด้านหน้าในช่วงกว้างคือ 0.5–25 เซนติเมตรต่อวินาที และมาตรฐาน ASTM F3502-21 สำหรับการทดสอบหน้ากากผ้าได้กำหนดความเร็วด้านหน้าในการทดสอบที่ประมาณ 10 เซนติเมตรต่อวินาที ดังนั้น การศึกษานี้จึงใช้ความเร็วด้านหน้าให้สอดคล้องกับมาตรฐาน 42 CFR 84 และ ASTM F2299 คือ 10.6 เซนติเมตรต่อวินาที มาใช้สำหรับการทดสอบเพื่อให้สามารถทดสอบได้ทั้งหน้ากาก N95, KN95 และหน้ากากอนามัย

ในการทดลองนี้ได้กำหนดพื้นที่ในการทดสอบประมาณ 17.8 ตารางเซนติเมตร เพื่อให้สะดวกในการตัดชิ้นวัสดุหน้ากากทดสอบและสามารถทดสอบได้ทั้งหน้ากาก N95, KN95 และหน้ากากอนามัย จากสมการที่ (1) ที่ความเร็วด้านหน้าที่ใช้ในการทดสอบประมาณ 10.6 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถคำนวณหาอัตราการไหลอนุภาคทดสอบได้คือประมาณ 11.3 ลิตรต่อนาที โดยมีตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number) เท่ากับ 332.48 และตัวเลขสโตกส์ (Stoke's Number) เท่ากับ 0.41 โดยกำหนดให้อัตราการไหลอนุภาคจากเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคกำหนดคงที่ที่ 1.5 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลของอากาศสะอาดผ่านตัวกรองประสิทธิภาพสูงเพื่อเจือจาง 10.0 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศปล่อยทิ้ง 0.2 ลิตรต่อนาที จากนั้นอัตราการไหลที่ต้องการสำหรับการทดสอบของอนุภาคเกลือ/อนุภาคน้ำมันที่ 11.3 ลิตรต่อนาที จะผ่านเข้าไปยังห้องทดสอบ (Test Chamber) ซึ่งมีแผ่นวัสดุกรองทดสอบอยู่ภายใน ในส่วนของห้องทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.76 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตรซึ่งตัวอย่างวัสดุ (Material Specimen) จะอยู่ห่างจากทางเข้าอนุภาค (Particle Inlet) 10 เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Duct Diameters) โดยหัวเก็บตัวอย่างอนุภาค (Particle Sampling Probe) ก่อนแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่างวัสดุ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (9.52 เซนติเมตร) และหัวเก็บตัวอย่างอนุภาคหลังแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่าง

วัสดุ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (14.28 เซนติเมตร) หัวเก็บตัวอย่างทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 เซนติเมตร การเก็บตัวอย่างอนุภาคในการทดสอบนี้จะเป็นการเก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Sampling) ทิศทางของของไหลที่ทางเข้าหัววัดและแกนของหัวเก็บตัวอย่างอยู่ในแกนเดียวกันคือขนานกับเส้นการไหลของของไหลและความเร็วของของไหลที่จุดทางเข้าหัววัดมีค่าเท่ากับความเร็วของการไหลภายนอกคือประมาณ 10.6 เซนติเมตรต่อวินาที ที่อัตราการไหลอนุภาค 0.6 ลิตรต่อนาที โดยที่หัวเก็บตัวอย่างมีตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 76.40 และตัวเลขโตกส์เท่ากับ 1.77 โดยในขณะทดสอบได้มีการวัดค่าความต่างความดันของแผ่นวัดสุญญากาศแบบโมเดล (Model 8380, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) วัสดุกรองหน้ากากที่ใช้ในการทดสอบจะถูกตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.76 เซนติเมตร มีพื้นที่ในการทดสอบประมาณ 17.8 ตารางเซนติเมตร โดยการหาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุกรองในการศึกษาจะทำการวัดการกระจายขนาดอนุภาคเชิงจำนวน (Number Weighted Particle Size Distribution) ในช่วง 15–700 นาโนเมตร ทั้งก่อน (Up Stream) และหลังผ่าน (Down Stream) วัสดุกรองทดสอบด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้หรือ SMPS ที่ประกอบด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Size Classifier) และเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (Model 3788, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) สำหรับการสูญเสียของอนุภาคภายใน (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS) มีการใช้อัลกอริทึมการสูญเสียการแพร่กระจาย (Diffusion Loss Algorithm) ในซอฟต์แวร์ควบคุมการวัดของเครื่อง Scanning Mobility Particle Sizer; SMPS ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับเครื่องมือในการทดสอบที่มีอัลกอริทึมการสูญเสีย

เมื่อขนาดอนุภาคละอองลอยเล็กกว่า 100 นาโนเมตร และคำนวณค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาค  $\eta_{\text{exp}}$  ได้ตามสมการที่ (2)

$$\eta_{\text{exp}} = \frac{C_{\text{inlet}} - C_{\text{outlet}}}{C_{\text{inlet}}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $C_{\text{inlet}}$  คือ ความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคก่อนผ่านของตัวกรอง และ  $C_{\text{outlet}}$  คือ ความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคหลังผ่านของตัวกรอง และค่าการทะลุผ่านอนุภาคของตัวกรอง  $P_{\text{exp}}$  จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$P_{\text{exp}} = 100 - \eta_{\text{exp}} \quad (3)$$

สำหรับการทดสอบหน้ากากจะทำการทดสอบ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง โดยใช้เวลาทดสอบ 1 นาทีต่อ 1 ชิ้นการทดสอบ โดยได้ทำการกำหนดค่าสำหรับการทดสอบดังแสดงจากตารางที่ 2 ซึ่งได้แสดงช่วงและค่าของตัวแปรที่ใช้สำหรับการทดสอบต่างๆ ในการทดสอบนี้จะมีการควบคุมอัตราการไหลที่ 11.3 ลิตรต่อนาที ตามการคำนวณในสมการที่ (1) ทดสอบความที่เร็วด้านหน้าเท่ากับ 10.6 เซนติเมตรต่อวินาที อุณหภูมิขณะทดสอบที่ 25 องศาเซลเซียส ความดันอากาศขณะทดสอบเท่ากับ 1 atm และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องขณะที่ทำการทดสอบจะมีค่าเท่ากับ 55 %RH ตามลำดับ

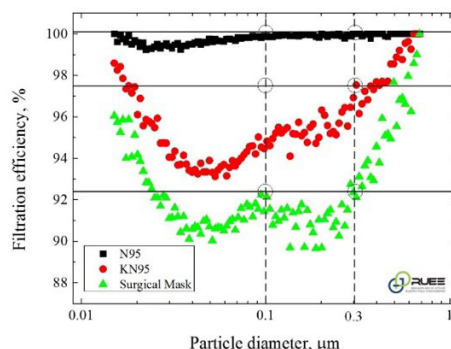
ตารางที่ 2 ช่วงและค่าของตัวแปรที่ทดสอบ

| ตัวแปร                   | ช่วงการวิเคราะห์                                |
|--------------------------|-------------------------------------------------|
| ชนิดของอนุภาค            | NaCl and Emery Oil                              |
| ความเข้มข้นจำนวนอนุภาค   | $0.7-3.0 \times 10^5$ particles/cm <sup>3</sup> |
| ขนาดอนุภาค               | 15–700 nm                                       |
| พื้นที่ทดสอบแผ่นกรอง     | 17.8 cm <sup>2</sup>                            |
| อัตราการไหล              | 11.3 L/min                                      |
| ความเร็วด้านหน้า         | 10.6 cm/s                                       |
| ความชื้นสัมพัทธ์ขณะทดสอบ | 55 %RH                                          |
| ความดันอากาศขณะทดสอบ     | 1 atm                                           |
| อุณหภูมิในขณะทดสอบ       | 25 °C                                           |

### 3. ผลการทดลอง

ผลการทดสอบของหน้ากาก 3 ชนิดคือ N95, KN95 และหน้ากากอนามัย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเกล็ดแต่ละขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตร และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคระหว่างขนาด 100 และ 300 นาโนเมตร ในรูปที่ 5 ทำให้พบว่า อนุภาคเกล็ด

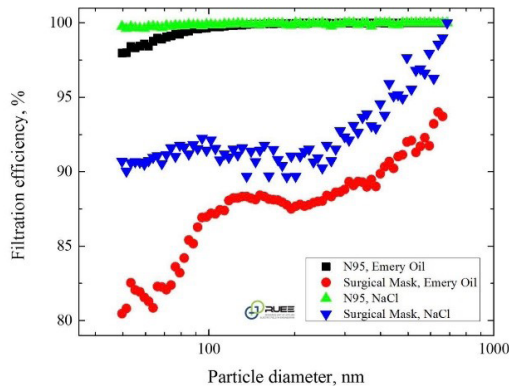
ที่ผ่านทะลุแผ่นกรองของหน้ากากได้ดีที่สุดของหน้ากาก N95 คือ 30–40 นาโนเมตรของหน้ากาก KN95 คือ 40–60 นาโนเมตร และของหน้ากากอนามัยมี 2 ช่วงคือ 30–50 นาโนเมตร และ 150–200 นาโนเมตร สำหรับประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 ที่ขนาด 100 และ 300 นาโนเมตรค่อนข้างเท่ากันไม่ต่างกัน ส่วนหน้ากาก KN95 อนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร จะให้ประสิทธิภาพการกรองที่สูงกว่าอนุภาคขนาด 100 นาโนเมตร ประมาณ 2.85% และ Surgical Mask ทั้งอนุภาคขนาด 100 และ 300 นาโนเมตร มีประสิทธิภาพการกรองที่เท่ากันไม่ต่างกัน ซึ่ง Viswanathan และคณะ [24] ได้รายงานว่าคุณสมบัติการกรองของแผ่นกรองจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค คุณสมบัติของวัสดุตัวกรองและความเร็วด้านหน้า ซึ่งลักษณะการทอ ความพรุน (Porosity) ขนาดรูพรุน (Pore Size) และความหนาของแผ่นกรองเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาค โดยแผ่นกรองที่มีความพรุนต่ำสุดและขนาดรูพรุนเล็กจะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคสูง แผ่นกรองที่มีความพรุนสูงสุดและขนาดรูพรุนใหญ่จะให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคต่ำ และแผ่นกรองที่มีความพรุนสูงและขนาดรูพรุนเล็กจะให้ด้านทานการไหลของอากาศสูง แผ่นกรองกรองที่มีความหนาจะสามารถกรองอนุภาคได้ดีกว่าวัสดุกรองที่มีความบางกว่าและสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Tumkhanon และคณะ [25] ที่ได้มีการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นกรองแต่ละชั้นของหน้ากาก N95 ที่ประกอบด้วยขนาดของเส้นใย ความพรุน และขนาดรูพรุน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope; FE-SEM) เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคด้วยวิธีทดสอบตาม 42 CFR 84 ในส่วนของความเร็วด้านหน้าสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของแผ่นกรองต่ำลงเนื่องจากทำให้อนุภาคผ่านทะลุแผ่นกรองได้ง่ายที่ความเร็วสูง และในส่วนของผลประจุไฟฟ้าสถิตในแผ่นกรองหน้ากาก ไฟฟ้าสถิตหรือประจุไฟฟ้าที่เส้นใยทำให้ดักกรองอนุภาคขนาดเล็กได้ ไฟฟ้าสถิตบนเส้นใยจะช่วยเสริมประสิทธิภาพการกรองด้วยแรงดึงดูดและผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคและเส้นใยจึงทำให้สามารถดักกรองอนุภาคที่มี



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเกลือหน้ากาก N95, KN95 และหน้ากากอนามัย

มีขนาดเล็กกว่าได้ดีขึ้น

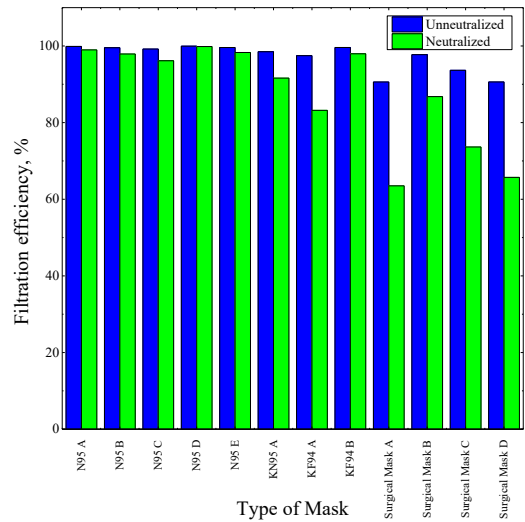
ผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้ากากจากการกรองอนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมันในช่วง 50–700 นาโนเมตร จากรูปที่ 6 พบว่า หน้ากาก N95 มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคน้ำมัน 96% ส่วนอนุภาคเกลือ 98% ส่วนหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคน้ำมัน 80% ส่วนอนุภาคเกลือ 91% เนื่องจากแตกต่างของค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของอนุภาค (Dielectric Constant) [21] จึงทำให้มีการกระจายประจุที่ต่างกันทำให้ค่าการทะลุผ่านของอนุภาคต่างกัน รวมถึงปัจจัยที่เกิดจากรูปร่างของอนุภาค (Particle Shape) ด้วย โดยที่อนุภาคน้ำมันที่เป็นรูปทรงกลม (Sphere) ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทรงกลมจะมีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ฉายภาพทรงกลมเทียบเท่า (Equivalent Sphere Projected Area Diameter) ส่วนอนุภาค NaCl จะเป็นอนุภาคเกลือมีลักษณะเป็นผลึกไม่เป็นรูปทรงกลม (Non-sphere) ซึ่งอนุภาคที่ไม่เป็นทรงกลมจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ฉายภาพทรงกลมเทียบเท่า โดยเมื่อเทียบขนาดทรงกลมปริมาตรเทียบเท่า ระหว่างอนุภาคที่ไม่เป็นทรงกลมและอนุภาคทรงกลมจะมีค่าที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยของรูปร่างของอนุภาค (Shape Factor) โดยที่อนุภาคที่มีลักษณะไม่เป็นทรงกลมจะมีผลกระทบกับแรงเสียดลาก (Drag Force) และจำนวนประจุต่ออนุภาค ในพื้นที่ผิวที่ต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการเคลื่อนตัวเชิงอากาศพลศาสตร์ และความ



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพของหน้ากากจากการกรองอนุภาคเกลือและอนุภาคน้ำมัน

สามารถเคลื่อนตัวทางไฟฟ้าได้น้อยกว่าอนุภาคที่เป็นทรงกลม มีผลต่อการเกาะติดและกลไกการสกัดกั้นระหว่างอนุภาคกับเส้นใยของแผ่นกรอง [21] ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคทั้ง 2 ชนิดนี้แตกต่างกัน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเกลือขนาด 300 นาโนเมตรที่อนุภาคประจุสมดุลและอนุภาคประจุไม่สมดุล N95, KN95, KF94, หน้ากากอนามัย ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดในช่วงไม่เกิน 300 นาโนเมตร กลไกการดึงดูดระหว่างอนุภาคกับเส้นใยของแผ่นกรองด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) เป็นกลไกที่เสริมประสิทธิภาพการกรองอนุภาคในช่วงดังกล่าวของวัสดุกรองได้ เนื่องจากอากาศในธรรมชาติทุกๆ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรของอากาศจะประกอบด้วย 1,000 ไอออนที่มีจำนวนของไอออนบวก (Positive Ions) และไอออนลบ (Negative Ions) เท่ากันโดยประมาณและมีการชนกันแบบสุ่มระหว่างอนุภาคละอองลอยกับไอออนในอากาศทั่วไปตลอดเวลาทำให้อนุภาคมีประจุไฟฟ้า ดังนั้นในการใช้งานจริงของหน้ากาก อนุภาคละอองลอยที่ผ่านแผ่นกรองหน้ากากจะมีสถานะของการกระจายประจุสมดุล (Equilibrium Charge Distribution) และการกระจายประจุไม่สมดุล (Non-equilibrium Charge Distribution) ได้ เนื่องจากการชนกันระหว่างอนุภาคและไอออนบวกและลบในอากาศมีอัตราการชนกันที่ต่างกัน ซึ่งอนุภาคที่มีประจุสมดุลและไม่สมดุลนี้จะให้ประสิทธิภาพ



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเกลือขนาด 300 นาโนเมตรที่สมดุลและไม่สมดุลประจุของหน้ากาก

การกรองอนุภาคที่ต่างกัน ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคตามมาตรฐาน 42 CFR 84 [26] ได้กำหนดให้มีการทดสอบกับอนุภาคที่มีประจุสมดุลหรืออนุภาคที่เป็นกลาง (Neutralized Particle) เนื่องจากการใช้งานแผ่นกรองหน้ากากจริงในอากาศทั่วไปจะมีทั้งอนุภาคที่ประจุสมดุลและอนุภาคประจุไม่สมดุล ในการทดสอบนี้เห็นถึงความต่างของประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากแต่ละชนิดระหว่างประจุสมดุล (Neutralized) และประจุไม่สมดุล (Unneutralized) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้ถึงวัดคุณภาพหน้ากากได้จากรูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ที่อนุภาคประจุสมดุลและอนุภาคประจุไม่สมดุลของหน้ากาก N95, KN95, KF94 และหน้ากากอนามัย จากผลการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อใช้ตัวทำให้อนุภาคละอองลอยเป็นกลาง มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุกรองลดลงเนื่องจากการประจุสมดุลของอนุภาคหรือสภาวะสมดุลประจุ (Equilibrium Charge State) ที่เรียกว่าการกระจายประจุสมดุลของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann Equilibrium Charge Distribution) ที่แสดงถึงการกระจายประจุอนุภาค ในสภาวะสมดุลประจุด้วยไอออนแบบไบโพลาร์ (Bipolar Ions) โดยการกระจาย

ประจุของอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร จะมีอนุภาคที่ไม่มีประจุจะมีประมาณ 30% และอนุภาคที่ได้ประจุ + และ -1 มีประมาณ 22.5% อนุภาคที่ได้รับประจุ + และ -2 มีประมาณ 9.6% อนุภาคที่ได้รับประจุ + และ -3 มีประมาณ 2.6% และอนุภาคที่ได้รับประจุ + และ - จะมีค่ามากกว่า 3 มีประมาณ 0.3 % ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 จากค่าประมาณการของสมการที่ (2) และ (3) จะเห็นว่าอนุภาคที่ไม่ได้รับประจุมีประมาณ 30% และอนุภาคที่มีประจุทั้งบวกและลบ มีประมาณ 70% ส่งผลทำให้อนุภาคที่ไม่มีประจุกว่า 30% สามารถผ่านทะลุได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีประจุโดยปกติวัสดุกรองหน้ากาก N95 จะถูกอัดประจุไฟฟ้าสถิตให้กับเส้นใยเพื่อเสริมประสิทธิภาพการกรองด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคและเส้นใยจึงให้สามารถดักกรองอนุภาคได้ดีขึ้น มีความหนาแน่นประจุโพล เทากับ 0.27, 21.57 และ 0.23 ไมโครคูลอมบ์ต่อตารางเมตร สำหรับชั้นด้านใน ชั้นกลางและชั้นด้านนอก ตามลำดับสอดคล้องงานวิจัย [27], [28] ถึงแม้ว่าอนุภาคที่ไม่มีประจุจะมีเปอร์เซ็นต์สูงแต่ประสิทธิภาพการกรองก็ไม่ได้ลดลงมากนัก

#### 4. อภิปรายผลและสรุป

ในบทความวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรอง โดยจะใช้อุณหภูมิเกลือ (NaCl) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคแต่ละขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตร ของหน้ากาก 3 ชนิด คือ N95, KN95 และหน้ากากอนามัย ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพหน้ากากจากการกรองอนุภาคเกลือ (NaCl) และจากอนุภาคน้ำมัน (Emery Oil) ในช่วง 50–700 นาโนเมตรและทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ที่อนุภาคประจุสมดุลและอนุภาคประจุไม่สมดุลของหน้ากาก N95, KN95, KF94,

หน้ากากอนามัย ตามลำดับ จากการทดสอบของหน้ากาก 3 ชนิด คือ N95, KN95 และหน้ากากอนามัย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคแต่ละขนาดในช่วง 15–700 นาโนเมตร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคระหว่างขนาด 100 และ 300 นาโนเมตร พบว่าอนุภาคที่ผ่านทะลุแผ่นกรองของหน้ากากได้ดีที่สุดของหน้ากาก N95 คือ 30–40 นาโนเมตรของหน้ากาก KN95 คือ 40–60 นาโนเมตรและของหน้ากาก Surgical Mask มี 2 ช่วงคือ 30–50 นาโนเมตร และ 150–200 นาโนเมตร สำหรับประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 ที่ขนาด 100 และ 300 นาโนเมตร ค่อนข้างเท่ากันไม่ต่างกัน ส่วนหน้ากาก KN95 อนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร จะให้ประสิทธิภาพการกรองที่สูงกว่าอนุภาคขนาด 100 นาโนเมตร ประมาณ 2.85% และ Surgical Mask ทั้งอนุภาคขนาด 100 และ 300 นาโนเมตร มีประสิทธิภาพการกรองที่เท่ากันไม่ต่างกัน จากการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้ากากจากการกรองอนุภาคเกลือ (NaCl) และอนุภาคน้ำมัน (Emery Oil) ในช่วง 50–700 นาโนเมตร พบว่าหน้ากาก N95 และหน้ากากอนามัย เมื่อทดสอบกับอนุภาคน้ำมันประสิทธิภาพการกรองจะลดลงมาก จึงไม่ควรใช้หน้ากากสองชนิดนี้กับ งานที่มีไอหรือละอองน้ำมัน จากตารางที่ 3 แสดงผลการประมาณค่าการกระจายประจุของอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร ที่อนุภาคประจุสมดุลและอนุภาคประจุไม่สมดุลของหน้ากาก N95, KN95, KF94, หน้ากากอนามัย พบว่าเมื่อใช้ตัวทำให้อนุภาคละอองลอยเป็นกลาง มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุกรองลดลงเนื่องจากประจุสมดุลของอนุภาค โดยการกระจายประจุของอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร จะมีอนุภาคที่ไม่มีประจุหรือไม่ได้รับประจุ ประมาณ 30% และอนุภาคที่ได้รับประจุ + และ -1 มีประมาณ 22% อนุภาคที่ได้รับประจุ

ตารางที่ 3 ผลการประมาณค่าการกระจายประจุของอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร

| ขนาดอนุภาค<br>(nm) | ร้อยละของอนุภาคที่ได้รับประจุ (%) |      |      |       |     |                         |      |      |      |
|--------------------|-----------------------------------|------|------|-------|-----|-------------------------|------|------|------|
|                    | <-3                               | -3   | -2   | -1    | 0   | +1                      | +2   | +3   | >+3  |
| 300                | 0.3%                              | 2.6% | 9.6% | 22.5% | 30% | 22.5%                   | 9.6% | 2.6% | 0.3% |
| การกระจายประจุ     | อนุภาคที่มีประจุลบ 35%            |      |      |       | 30% | อนุภาคที่มีประจุบวก 35% |      |      |      |

+ และ -2 มีประมาณ 9% อนุภาคที่ได้รับประจุ + และ -3 มีประมาณ 2% และอนุภาคที่ได้รับประจุ + และ - มีกว่า 3 มีประมาณ 0.3 % ซึ่งจะเห็นว่าอนุภาคขนาด 300 นาโนเมตรที่ไม่ได้รับประจุ มีอยู่ถึงประมาณ 30% และอนุภาคที่มีประจุบวกและลบรวมกันประมาณ 70% ทำให้อนุภาคที่ไม่มีประจุกว่า 30% สามารถผ่านทะลุได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีประจุบวกและลบ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีเพื่ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบทั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Disease Control. (2021, August). *COVID-19 situation report*. [Online]. (in Thai). Available: <https://covid19.ddc.moph.go.th/>
- [2] K. O'Dowd, K. M. Nair, P. Forouzandeh, S. Mathew, J. Grant, R. Moran, J. Bartlett, J. Bird, and S. C. Pillai, "Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: A review of current materials," *Advances and Future Perspectives. Materials*, vol. 13, no. 15, pp. 1-27, 2020.
- [3] N. El-Atab, N. Qaiser, H. Badghaish, S. F. Shaikh, and M. M. Hussain, "Flexible nanoporous template for the design and development of reusable anti-covid-19 hydrophobic face masks," *ACS Nano*, vol. 14, no. 6, pp. 7659-7665, 2020.
- [4] C.M. Dugdale, and R.P. Walensky, "Filtration efficiency, effectiveness, and availability of N95 face masks for COVID-19 prevention," *JAMA Internal Medicine*, vol. 180, no. 12, pp. 1612-1613, 2020.
- [5] *Standard Test Method for Determining the Initial Efficiency of Materials Used in Medical Face Masks to Penetration by Particulates Using Latex Spheres*, ASTM F2299 / F2299M-03, 2017.
- [6] O. Aydin, B. Emon, S. Cheng, L. Hong, L. P. Chamorro, and M. T. A. Saif, "Performance of fabrics for home-made masks against the spread of COVID-19 through droplets: A quantitative mechanistic study," *Extreme Mechanics Letters*, vol. 40, 100924, 2020.
- [7] S. Rengasamy, B. C. Eimer, and R. E. Shaffer, "Simple respiratory protection-evaluation of the filtration performance of cloth masks and common fabric materials against 20-1000 nm size particles," *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 54, no. 7, pp.789-798, 2010.
- [8] H. Whiley, T. P. Keerthirathne, M. A. Nisar, M. A. F. White, and K. E. Ross, "Viral filtration efficiency of fabric masks compared with surgical and N95 masks," *Pathogens*, vol. 9, no. 9, pp. 762 - 769, 2020.
- [9] E. E. Sickbert-Bennett, J. M. Samet, P. W. Clapp, H. Chen, J. Berntsen, K. L. Zeman, H. Tong, D. J. Bennett, and W. D. Bennett, "Filtration efficiency of hospital face mask alternatives available for use during the COVID-19 pandemic," *JAMA Internal Medicine*, vol. 180, no. 12, pp. 1607-1612, 2020.
- [10] P. Intra, "Particulate filter efficiency of Surgical Mask, Cloth Masks and N95/KN95/KF94/FFP1/FFP2 Masks used during COVID-19 outbreak in Thailand," *Thai Science and Technology Journal*, vol. 29, no. 5, in press. 2021 (in Thai).
- [11] A. Fushimi, S. Hasegawa, K. Takahashi, Y. Fujitani,



- K. Tanabe, and S. Kobayashi, "Atmospheric fate of nuclei-mode particles estimated from the number concentrations and chemical composition of particles measured at roadside and background sites," *Atmospheric Environment*, vol. 42, no. 5, pp. 949–59, 2008.
- [12] P. Intra, and T. Siri-achawawath, "Measurements of mass and number concentrations of PM<sub>2.5</sub> in the ambient air at Doi Saket site during open burning season in Chiang Mai," *Thai Science and Technology Journal*, vol. 30, no.4 pp. 112–134, 2022 (in Thai).
- [13] A. Srivastava, "COVID-19 and air pollution and meteorology-an intricate relationship: A review," *Chemosphere*, vol. 263, 128297, 2021.
- [14] G.M.A. Leiva, D.A. Santibañez, S. Ibarra, P. Matus, and R. Seguel, "A five-year study of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and cerebrovascular diseases," *Environmental Pollution*, vol. 181, pp. 1–6, 2013.
- [15] *Determination of particulate filter efficiency level for N95 series filters against solid particulates for non-powered, air purifying respirators standard testing procedure (STP)*, NIOSH, Procedure No. TEB-APR-STP-0059, 2019.
- [16] *Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks*, ASTM F2100-19e1, 2020.
- [17] P. Wang, Z. Liu, and D. R. Chen, "Performance of composite filters assembled from multiple layers of basic filtration media," *Aerosol Air Quality Research*, vol. 20, no. 11, pp. 2299–2308, 2020.
- [18] S. Rengasamy, R. Shaffer, B. Williams, and S. Smit, "A comparison of facemask and respirator filtration test methods," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 14, no. 2, pp. 92–103, 2017.
- [19] A. Reineking and J. Porstendörfer, "Measurements of particle loss functions in a differential mobility analyzer (TSI, Model 3071) for different flow rates," *Aerosol Science and Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 483–486, 1986.
- [20] K. Willeke, and P.A. Baron, *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications*. John Wiley & Sons, New York. 1993.
- [21] W.C. Hinds, *Aerosol Technology*, John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [22] S. Rengasamy, A. Miller, and B. C. Eimer, "Evaluation of the filtration performance of NIOSH-approved N95 filtering facepiece respirators by photometric and number-based test methods," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 8, no. 1, pp. 23–30, 2011.
- [23] L. Lin, Z. Zhili, A. Daniel, Japuntich, and Y. H. P. David, "Evaluation of filter media for particle number, surface area and mass penetrations," *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 56, no. 5, pp. 58–594, 2012.
- [24] S. Viswanathan, M. L. Stewart, and D.A. Rothamer, "Experimental investigation of the effect of pore size distribution on nano-particle capture efficiency within ceramic particulate filters," *Emission Control Science and Technology*, vol. 7, no.1, pp. 26–40, 2021.
- [25] C. Tongyam, S. Potiwiput, K. Tumkhanon, T. Sitthiwanit, S. Chayanun, P. Intra, and B. Lohwongwatana, "Authenticity screening for N95 filtering facepiece respirator (FFR) by

- Field emission scanning electron microscope (FE-SEM) in comparison with particulate filtration efficiency (PFE) analysis,” *Microscopy and Microanalysis Research-The Journal of the Microscopy Society of Thailand*, vol. 33, no. 2, pp. 1–5, 2020 (in Thai).
- [26] The National Institute for Occupational Safety and Health, “42 CFR Part 84: Respiratory protective devices implications for tuberculosis protection,” *Final Rules and Notice, Federal Register*, vol. 60, no. 110, 1995.
- [27] W. Yim, D. Ceng, S. Patel, R. Kou, Y. S. Meng, and J. V. Jokerst, “KN95 and N95 respirators retain filtration efficiency despite a loss of dipole charge during decontamination,” *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 12, no. 49, pp. 54473–54480, 2020.
- [28] A. Konda, A. Prakash, G. A. Moss, M. Schmoldt, G. D. Grant, and S. Guha, “Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks,” *ACS Nano*, vol. 14, no. 5, pp. 6339–6347, 2020.