

■ Academic article



การทบทวนมาตรฐานหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากากกรองอากาศ จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในประเทศไทย

Review of Standards for Surgical Masks, Cloth masks and Air filter masks From the situation of the Epidemic of the Corona-virus 2019 in Thailand

ปพน สะอาดยวง¹, วิสาขน์ภัสร์ รัตนจันทร์², วิสูตร อาสนวิจิตร², และ พานิช อินต๊ะ^{2*}

¹สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี 321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบล ทะเลชุมพร อำเภอ เมืองลพบุรี จังหวัด ลพบุรี 15000

^{2,2*} หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม เลขที่ 98 หมู่ 8 ตำบล ป่าปอง อำเภอ ดอยสะเก็ด จังหวัด จังหวัด เชียงใหม่ 50220

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

ปัจจุบันหน้ากากอนามัยมีการจำหน่ายตามท้องตลาด มีมากมายหลายชนิดมีทั้งชนิดที่มีคุณภาพและไม่มีคุณภาพ โดยส่วนประกอบหน้ากากกรองอากาศ (Respirator) เป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่สวมใส่บนใบหน้าซึ่งปิดจมูกและปากจากอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น สารติดเชื้อ ก๊าซหรือไอระเหย ช่วยในการบำบัดอากาศและลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนของผู้สวมใส่ในบริเวณที่มีมลพิษ ตัวอย่างหน้ากากกรองอากาศ เช่น N95, P100, FFP2, FFP3, KN95 เป็นต้น โดยเป็นที่รู้จักมากที่สุดมี 2 แบบคือ หน้ากาก N95 และ P100 โดยหน้ากาก N95 เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่ผ่านมาตรฐาน N95 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐ (National Institute for Occupational Safety and Health: NOISH) ซึ่งมีความหมายว่าสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ในอากาศได้อย่างน้อยร้อยละ 95 มาตรฐานนี้ไม่ได้บังคับให้หน้ากากทึบนั้นไม่ป้องกันแก๊สหรือไอได้ ในทวีปยุโรปหน้ากากอนามัยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานยุโรป (European Standard) คือ EN 14683:2019 และในประเทศไทยจะเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก) คือ มอก 2424-2562 ซึ่งคุณลักษณะเชิงสมรรถนะได้อ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM F2100 ทั้งหมด

ผลการวิจัยพบว่าคุณสมบัติระหว่างหน้ากากกรองอากาศ (Respirator) กับหน้ากากอนามัย (Surgical mask) มีคุณลักษณะทางการป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ผ่านระบบทางเดินหายใจแตกต่างกัน ดังนั้นควรเลือกใช้หน้ากากตามคุณสมบัติที่ได้มาตรฐานสำหรับการสวมใส่

ข้อเสนอแนะควรส่งเสริมและนำให้ความรู้กับประชาชนได้รับรู้ถึงเรื่องคุณสมบัติในการนำไปใช้งานระหว่างหน้ากากกรองอากาศ (Respirator) และหน้ากากอนามัย (Surgical mask)

คำสำคัญ: อนุภาคในอากาศ, หน้ากากกรองอากาศ, โรคติดต่อทางเดินหายใจ, หน้ากากอนามัย

Abstract

Currently, masks are sold in the market. There are many kinds, both quality and non-quality types. Respirators are personal protective equipment worn on the face that cover the nose and

Received:

31 Jan 2023

Revised:

17 Aug 2023

Accepted:

21 Aug 2023

Published:

26 Aug 2023

*Corresponding

Author:

papol_s@hotmail.com

Copyright:

© Rajamangala

University of

Technology Lanna.

All right reserved

ISSN

Print: 2586-8500

Electronic: 2586-8632

mouth from airborne particles such as dust, infectious agents, gases or vapors. Helps to purify the air and reduce the risk of contamination of wearers in polluted areas. Examples of air filter masks are N95, P100, FFP2, FFP3, KN95, etc. There are two types of masks that are most well-known: N95 and P100 masks. (National Institute for Occupational Safety and Health: NOISH), which means it filters at least 95% of airborne particles of 0.3 diameter. In Europe, face masks must meet the requirements of the European Standard (European Standard) EN 14683:2019 and in Thailand it is the Thai Industrial Standard (TIS) which is TIS 2424-2562, whose performance characteristics are based on the test method according to All ASTM F2100 standards.

The research results showed that the properties between the respirator and surgical mask have different characteristics in preventing respiratory infections and should be used correctly.

Recommendations should promote and educate the public about the properties of applications between respirators and surgical masks.

Keywords: Airborne particles, Respirator, respiratory Infectious diseases, Surgical masks

1. บทนำ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ไปทั่วโลกโดยมีสาเหตุมาจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ เริ่มต้นขึ้นในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 โดยพบครั้งแรกในนครอู่ฮั่น เมืองหลวงของมณฑลหูเป่ย์ ประเทศจีน องค์การอนามัยโลกได้ประกาศให้ภาวะนี้ เป็นภาวะฉุกเฉินทางสาธารณสุขระหว่างประเทศ ในวันที่ 30 มกราคม 2563 และประกาศให้เป็นโรคระบาดทั่วโลกในวันที่ 11 มีนาคม 2563 จากข้อมูล ณ วันที่ 3 สิงหาคม 2564 (Department of Disease Control, 2021) พบว่ายอดผู้ติดเชื้อสะสมทั่วโลกสูงถึง 200,304,176 ราย และเสียชีวิตสะสมสูงถึง 4,259,667 ราย สำหรับประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อสะสม 672,385 ราย และเสียชีวิตสะสม 5,503 ราย โดยในช่วงโควิด-19 ระบาดที่เกิดขึ้นในประเทศไทยทั้ง 3 รอบ ส่งผลทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยเฉพาะหน้ากากอนามัย (Surgical masks) หน้ากากผ้า (Fabric masks) และหน้ากากกรองอากาศ (Respirators) ทำให้มีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปกติหลายเท่า ส่งผลทำให้ราคาหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากากกรองอากาศสูงขึ้นหลายเท่าตัว จึงเกิดมีการนำเข้าหน้ากากอนามัยและหน้ากากกรองอากาศจากต่างประเทศมาจำหน่ายในประเทศหลากหลายรูปแบบ (O'Dowd *et al.* (2020); El-Atab *et al.* (2020); Dugdale and Walensky (2020); ASTM F2299 /F2299M-03 (Standard Test Method for Determining the Initial Efficiency of Materials Used in Medical Face Masks 2020); Aydin *et al.* (2020); Rengasamy *et al.* (2010); Whiley *et al.* (2020) โดยมาตรฐานหน้ากากกรองอากาศ (N95/KN95/FFP1/FFP2) ในประเทศไทยจะต้องได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2480-2562 ถ้าเป็นหน้ากากอนามัย มอก. 2424-2562 และมาตรฐานของต่างประเทศในยุโรป หน้ากากอนามัยต้องเป็นไป

ตามข้อกำหนดของมาตรฐานยุโรป ปัจจุบันพบว่ามียี่ห้อหน้ากากที่ได้ผ่านมาตรฐาน
รับรองและไม่ได้ผ่านมาตรฐานรับรองมีขายตามท้องตลาดมากมาย โดยหน้ากากที่
ไม่ได้มาตรฐานนั้นจะมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้
จึงไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจจากละอองฝอย สารคัด
หลั่งจากการไอจาม ละอองของเหลว ละอองลอยและแบคทีเรียได้ โดยมีผลงานวิจัย
ในต่างประเทศได้มีการทดสอบถึงประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากในช่วงที่มีการ
ระบาดของโควิด 19 รอบแรก

2. วัตถุประสงค์

เพื่อนำเสนอภาพรวมของหน้ากากแต่ละชนิดและการนำไปใช้งานอย่างถูกต้อง
ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด 19 และปัญหาฝุ่นละอองในอากาศและ
มาตรฐานในการทดสอบภายในประเทศ มาตรฐานการทดสอบในประเทศสหรัฐอเมริกา
และในทวีปยุโรป โดยอธิบายถึงประเภทและส่วนประกอบของหน้ากาก โดยใน
รายละเอียดองค์ประกอบในการทดสอบคุณภาพและมาตรฐานของหน้ากากอนามัย
และหน้ากากกรองอากาศ ได้แก่ ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความต่างของ
ความดันของหน้ากากอนามัย และเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค เพื่อ
เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านทั้งทางด้านวิชาการ การเรียนการสอน การวิจัย และการ
ประยุกต์ใช้ในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัย
และหน้ากากกรองอากาศต่อไป

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Dugdale, C.M. and Walensky, R.P., (2020) ได้รายงานถึงประสิทธิภาพ
การกรอง ประสิทธิภาพและความพร้อมใช้งานของหน้ากาก N95 สำหรับการป้องกัน
โควิด-19 ซึ่งทำการทดสอบตามมาตรฐานสากลของสถาบันอาชีวอนามัยและความ
ปลอดภัยของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Institute for Occupational
Safety and Health) หรือ NIOSH ที่ใช้วิธีตรวจสอบตามมาตรฐานสมาคมการ
ทดลองและวัสดุอเมริกา (American Society of Testing and Materials) หรือ
ASTM โดยพบว่าหน้ากากกรองอากาศที่มีขายในท้องตลาด และที่ไม่มีการบริจาค
ให้กับโรงพยาบาลในสหรัฐอเมริกา มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคได้ 53% - 85%
และหน้ากากอนามัยแบบสายรัดหูมีประสิทธิภาพในการกรองต่ำกว่ามากถึง 37% -
69% เนื่องจากหน้ากากมีแผ่นกรองที่บางกว่า

Sickbert-Bennett *et al.* (2020) ได้รายงานผลการประเมินประสิทธิภาพ
การกรองอนุภาคของหน้ากากเพื่อเป็นทางเลือกใช้ป้องกันการติดเชื้อ ที่ดำเนินการ
ทดสอบช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2020 โดยได้เลือกหน้ากากจำนวน 29 แบบ ทำ
การทดสอบกับผู้ชายและผู้หญิง ตามมาตรฐาน ASTM F2299-03 พบว่า
ประสิทธิภาพของหน้ากาก N95 ที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับใบหน้าจะมีประสิทธิภาพ
ลดลงเล็กน้อย 90%-95% และประเมินประสิทธิภาพการกรองแบบพอดี พบว่า
หน้ากาก N95 มีประสิทธิภาพ 98.5% สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยได้มีรายงานผล
การศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากาก
N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทยรอบแรกโดย

Intra (2021) ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM
F2299-03 ซึ่งมีกระบวนการทดสอบในงานวิจัยตัวอย่างละ 5 ชิ้น ทดสอบ 3 ซ้ำต่อ
ตัวอย่าง ทดสอบที่ Face velocity 10.6 เซนติเมตรต่อวินาที กับที่อนุภาค 0.1
ไมครอน PSL สำหรับหน้ากากอนามัย และ 0.3 ไมครอน NaCl สำหรับหน้ากาก N95
และ KN95 โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากากอนามัยจำนวน 67 ตัวอย่างมา

ทดสอบ พบว่าหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 50.50%, 2.50%, 95.90% และ 26.34% ตามลำดับ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากากผ้าจำนวน 71 ตัวอย่างมาทดสอบ พบว่ามีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 39.10%, 5.93%, 87.55% และ 19.64% ตามลำดับ และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 จำนวน 121 ตัวอย่างมาทดสอบ พบว่ามีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 72.21%, 8.92%, 99.97% และ 26.65% ตามลำดับ

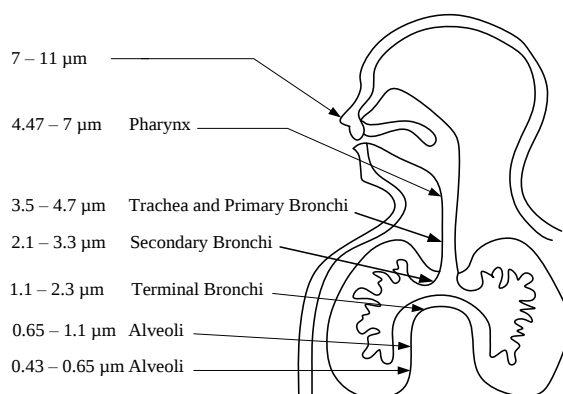
สำหรับประเทศไทยยังมีสถานการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวได้เกิดปัญหาหมอกควันมีค่าฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานทั้งในกรุงเทพและหลายจังหวัดในภาคเหนือ ทำให้มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI (Air quality index) สูงเป็นอันดับต้นๆ ของโลกเนื่องจากการหลายวัน โดยปัญหาดังกล่าวจะพบแหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานไฟฟ้า เขม่าควันจากไอเสียของเครื่องยนต์ และการเผาชีวมวลในที่โล่ง โดยพบว่าช่วงที่อากาศเย็นความกดอากาศสูงกดทับในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ เมื่ออากาศกดทับทุกสิ่งทุกอย่างจะอยู่ภายใต้มวลอากาศเหมือนฝาชีครอบ เพราะฉะนั้น ค่าฝุ่น ควัน จะระบายน้อยและต้องใช้เวลานาน

Fushimi *et al.* (2008) ได้รายงานว่บนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีการแพร่กระจายของอนุภาคขนาดเล็กระดับซับไมครอน หรืออนุภาคระดับนาโน โดยมีการกระจายของจำนวนอนุภาคสูงสุดที่ 100-200 นาโนเมตร ซึ่งอนุภาคไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเขม่าคาร์บอนที่ดำที่มีอนุภาคระดับซับไมครอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 30-500 นาโนเมตร และได้พบว่มีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Intra and Siriachawawath (2022) ที่ได้รายงานผลการวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM2.5 ในอากาศโดยรอบที่ พื้นที่ดอยสะเก็ดในช่วงฤดูหนาวเผาในเชียงใหม่ระหว่างวันที่ 1-15 เดือนเมษายน 2562 โดยค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM2.5 ได้ถูกวัดพร้อมกันด้วยเครื่องวัดฝุ่น DustTrak โมเดล 8533 และเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น Condensation Particle Counter โมเดล 3750 ตามลำดับ พบว่แนวโน้มของความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 ที่วัดโดย Condensation Particle Counter มีค่าไปในทิศทางเดียวกันกับความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 ที่วัดโดย DustTrak ความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่ วัดโดย DustTrak เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลประมาณ 180.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 42.13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 101.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย Condensation Particle Counter เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูล 22,460.94 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร 4,550.39 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ11,517.39 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และยังพบว่อนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร มีความเข้มข้นจำนวนมากที่สุดถึงประมาณ 90% ในจำนวนอนุภาคที่มีขนาดในช่วง 300-10,000 นาโนเมตร โดยทั่วไปแผ่นกรองทุกชนิดจะมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นต่ำในช่วงอนุภาคขนาด 100 - 500 นาโนเมตร เนื่องจากเป็นขอบบนของการกรองแบบการแพร่กระจายและขอบล่างของการกรองแบบการก่กด้วยแรงเฉื่อยและการสัดกักัน โดยขนาดอนุภาคที่สามารถผ่านทะลุแผ่นกรองได้ดีที่สุดคืออนุภาคขนาด 300 นาโนเมตร หรือ 0.3 ไมครอน และเป็นขนาดอนุภาคที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองตามมาตรฐานหน้ากาทกรองอากาศของ NIOSH ประเทศสหรัฐอเมริกา จากรายงานวิจัย

Srivastava (2021) ไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่จะมีขนาดอนุภาคหลากหลายอยู่ระหว่าง 60-140 นาโนเมตร มีการปะปนอยู่ในละอองฝอยที่เกิดจากการไอ จาม ดังนั้นหากพิจารณาผลกระทบทางสุขภาพจากอนุภาคละอองลอยและอนุภาคของไวรัสที่ได้กล่าวมาในข้างต้นทำให้เห็นถึงความสำคัญและจำเป็นต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษเกี่ยวกับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของวัสดุกรองหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศเพื่อที่จะทำให้ทราบถึงระดับการป้องกันอนุภาคของหน้ากากอนามัยและหน้ากากกรองอากาศ

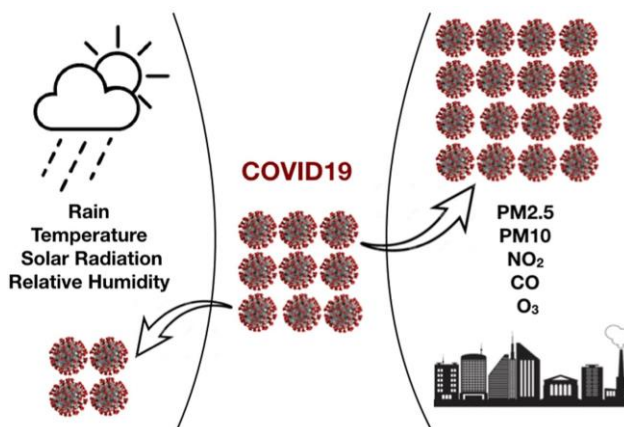
3.1 ผลกระทบของฝุ่นละอองลอยต่อสุขภาพ

ฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กกว่า 2.5 μm จะเป็นตัวก่อปัญหาแก่สุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากร เนื่องจากสามารถผ่านระบบทางเดินหายใจเข้าไปได้ลึกลงไปถึงจนถึงระดับถุงลมปอด ซึ่งจะสามารถสะสมได้ตลอดไปไม่สามารถขับออกจากร่างกายโดยการหายใจปกติ อนุภาคหยากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 μm จะเข้าไปอยู่ในทางเดินหายใจบริเวณกล่องเสียง ในขณะที่อนุภาคละเอียดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 μm สามารถผ่านเข้าไปถึงบริเวณถุงลมปอดไปจนถึงระดับเซลล์ในร่างกายได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 สารเคมีหรือแก๊สบางชนิดที่ผ่านเข้ามาในระบบทางเดินหายใจร่วมกับอนุภาคเหล่านี้ จะถูกละลายรวมกับเนื้อเยื่อเมือกของเนื้อเยื่อบริเวณนั้นๆ หรือเนื้อเยื่อของถุงลมปอดแล้วไหลผ่านเข้าไปสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิดการเสียหายต่อเนื้อเยื่อบริเวณต่างๆ ของร่างกาย อนุภาคบางตัวอาจมีสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) หรือสารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) รวมอยู่ด้วย เช่น อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล และปิโตรเลียม ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษทางอากาศจาก PM 10 และ PM 2.5 มาจากองค์ประกอบทางเคมีต่างชนิดปนเปื้อนอยู่ สารเคมีบางตัวมีคุณสมบัติออกซิไดส์จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น สารโลหะที่มีคาร์บอน กรดเกลือ สารมลพิษอินทรีย์ รวมไปถึงสารมลพิษชีวภาพที่อาจจะเป็นเชื้อรา ไวรัส หรือแบคทีเรีย โดยการหายใจเอา PM 10 และ PM 2.5 เข้าไปจะกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงระบบภูมิคุ้มกันของระบบหายใจ ทำให้เกิดการอักเสบหรือโรคภูมิแพ้ เช่น ไซนัสอักเสบ การหายใจผิดปกติ ตลอดจนทำให้โรคหัวใจกำเริบได้ ส่งผลให้การตายจากโรคทางเดินหายใจมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น (อุษณีย์ วัณิเขตคำนวน และคณะ 2550) นอกจากนี้ Leiva *et al.* (2013) ยังได้รายงานถึงผลกระทบของโรคหลอดเลือดสมองจากฝุ่น PM2.5 ว่าความเข้มข้นของ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาฉุกเฉินเนื่องจากสาเหตุของหลอดเลือดสมองเพิ่มขึ้นถึง 1.29 %



รูปที่ 1 การสะสมตัวของอนุภาคในระบบทางเดินหายใจ
(Atab *et al.*, 2020)

ซึ่งการศึกษาวิจัยถึงการตอบสนองของเซลล์เยื่อผิวของทางเดินหายใจจากการกระตุ้นด้วยสารก่อภูมิแพ้โดย อุษณีย์ วัณิเขตคำนวน และคณะ (2550) พบว่าการคั่งค้างของอนุภาคละเอียด (PM 2.5) ในถุงลมปอดจะก่อให้เกิดอันตรายต่อเม็ดเลือดขาว เพราะเม็ดเลือดขาวจะกินอนุภาคละเอียดเข้าไปเพื่อจะทำลายโดยกลไกทางชีวเคมี สามารถทำให้เกิดการอักเสบของถุงลมปอด เม็ดเลือดขาวจะถูกกระตุ้นและจะหลั่งสารเร่งกระบวนการอักเสบออกมาสู่กระแสเลือดไปที่ตับ ไชกระดูก และเกิดการกระตุ้นและส่งเสริมการตกตะกอนของเลือดที่เป็นสาเหตุของอุบัติเหตุการจราจร โรคหัวใจล้มเหลว ซึ่งจากผลการวิจัยจากต่างประเทศรายงานถึงกลไกการกระตุ้นการหลั่งสารกระตุ้นการอักเสบ โดยอนุภาคละเอียดจะสามารถเร่งให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระและทำให้เกิดภาวะความเครียดออกซิเดชัน ทำให้เกิดการทำลายเม็ดเลือดขาวในปอด ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างฉับพลันต่อปอดทำให้ปอดอักเสบ ทั้งนี้ ในบุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรงและปกติ กลไกการป้องกันในร่างกายจะช่วยป้องกันความเสียหายได้ แต่บุคคลที่มีปัญหาทางเดินหายใจ เช่น ผู้ที่เป็นโรคหอบหืด ผู้ที่เป็นโรคภูมิแพ้เรื้อรังหรือมีการอักเสบทางเดินหายใจ หรือผู้ที่หายใจเอาสารมลพิษในอากาศ เช่น คาร์บอนหรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ความสามารถในการป้องกันตนเองอาจจะไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เสี่ยงต่อการที่ปอดจะเสียหายและเป็นอันตรายจากสารมลพิษในอากาศได้



รูปที่ 2 ฝุ่นละอองลอย PM2.5 กับการระบาดของโควิด-19
(Srivastava, A., 2020)

3.2 ฝุ่นละอองลอยกับการระบาดของโควิด-19

รูปที่ 2 แสดงฝุ่นละอองลอย PM2.5 กับการระบาดของโควิด-19 ข้อมูลเกี่ยวกับฝุ่น PM2.5 ในอากาศมีส่วนทำให้เชื้อไวรัสโควิด-19 แพร่หรือระบาดได้ดีขึ้นในประเทศจีนจำนวน 120 เมืองได้นำเสนอโดย Srivastava, A. (2020) พบว่าฝุ่น PM2.5 ที่มีเชื้อไวรัสโควิด-19 ที่เกิดจากการจามและไอเป็นตัวกลางสำคัญในการแพร่กระจายของไวรัสเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจ ทำให้เชื้อไวรัสโควิด-19 แพร่หรือระบาดได้ดีขึ้น โดยพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่สูงขึ้นทำให้มีผู้ติดเชื้อโควิด-19 และการเสียชีวิตมากขึ้น โดยความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในประเทศจีนเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะมีจำนวนผู้ติดเชื้อไวรัสโควิด-19 รายวันในประเทศจีนเพิ่มขึ้น 2.24%

3.3 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการทําวิจัย

ปัจจุบันปัญหาสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากร เนื่องจากสามารถผ่านระบบทางเดินหายใจเข้าสู่ปอด โดยเฉพาะฝุ่นละอองลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ซึ่งจะสะสมในร่างกายตลอดไปไม่สามารถขับออกจากร่างกายโดยการหายใจออกนุภาคหยาบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 μm จะเข้าไปอยู่ในทางเดินหายใจบริเวณกล่องเสียงจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ระบาดที่เกิดขึ้นในประเทศไทยทั้ง 3 รอบ ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยเฉพาะหน้ากากอนามัย (Surgical masks) หน้ากากผ้า (Fabric masks) และหน้ากากกรองอากาศ (Respirators) ทำให้มีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปกติหลายเท่า ส่งผลทำให้ราคาหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากากกรองอากาศสูงขึ้นหลายเท่าตัวในขณะนั้น จึงเกิดมีการนำเข้าหน้ากากทั้ง 3 ชนิดจากต่างประเทศมาจำหน่ายหลากหลายรูปแบบ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 หน้ากากและมาตรฐานการทดสอบ

4.1.1 ประเภทและส่วนประกอบของหน้ากาก

4.1.1.1 ประเภทของหน้ากาก

1. หน้ากากกรองอากาศ (Respirator) จากรูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายของหน้ากากกรองอากาศ (Filtering facepiece respirator) เป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่สวมใส่บนใบหน้าซึ่งปิดจมูกและปากจากอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น สารติดเชื้อ ก๊าซหรือไอระเหย ช่วยในการบำบัดอากาศและลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนของผู้สวมใส่ในบริเวณที่มีมลพิษ หน้ากากกรองอากาศมีหลายประเภท เช่น N95, P100, FFP2, FFP3, KN95 เป็นต้น โดยที่รู้จักมากที่สุดมี 2 แบบคือหน้ากาก N95 และ P100 โดยหน้ากาก N95 เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่ผ่านมาตรฐาน N95 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐ (National Institute for Occupational Safety and Health ตัวย่อ NIOSH) ซึ่งหมายความว่าสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 ไมครอน ในอากาศได้อย่างน้อยร้อยละ 95 มาตรฐานนี้ไม่ได้บังคับให้หน้ากากทนน้ำมันและไม่ป้องกันแก๊สหรือไอได้



รูปที่ 3 รูปถ่ายหน้ากากกรองอากาศ



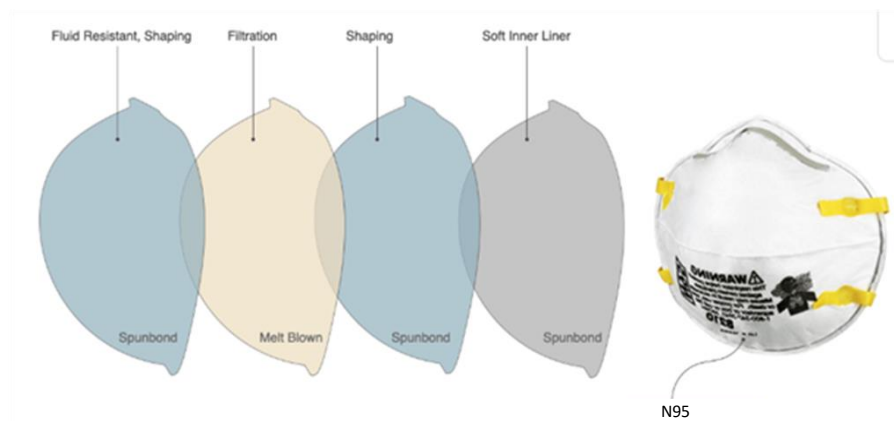
รูปที่ 4 รูปถ่ายหน้ากากอนามัย

2 หน้ากากอนามัย (Surgical mask) ได้ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันผู้สวมใส่จากการติดเชื้อในสภาพแวดล้อมทางคลินิก แต่ก็ไม่ได้ช่วยป้องกันการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจได้มาก แม้ว่าจะไม่ใช่วิธีการป้องกันที่ดีแต่ก็สามารถป้องกันผู้สวมใส่จากละอองฝอยหรือสารคัดหลั่งจากการไอจามและการดักจับละอองของเหลวและละอองลอยแบคทีเรียจากปากและจมูกผู้สวมใส่ได้ โดยทั่วไปแล้วหน้ากากอนามัยจะมีโครงสร้าง 3 ชั้น ชั้นกลางเป็นวัสดุกรองในขณะที่ชั้นในมีไว้สำหรับดูดซับความชื้นและชั้นนอกจะสะท้อนน้ำ อย่างไรก็ตามหน้ากากอนามัยมีระดับการป้องกันที่ต่ำกว่าและจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบถึงความรู้สึกสบายและระดับการป้องกันเมื่อเลือกหน้ากากอนามัยใส่ในที่ที่มีปัญหามลพิษทางอากาศสูง รูปที่ 4

4.2 แสดงภาพถ่ายหน้ากากอนามัย

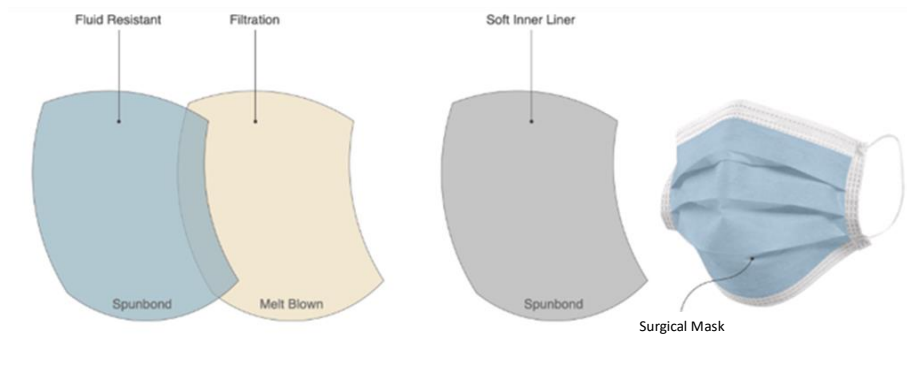
4.2.1 ส่วนประกอบของหน้ากาก

รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของหน้ากากกรองอากาศ โดยหน้ากากกรองอากาศส่วนมากผลิตจากเม็ดพลาสติกประเภทพอลิโพรพิลีน โดยวิธีไม่ผ่านการทอ (Meltblown nonwovens) ในลักษณะคล้ายกับวัสดุที่ใช้ผลิตหน้ากากอนามัย แต่เส้นใยของหน้ากากกรองอากาศจะมีขนาดเส้นเล็กในระดับนาโนเมตร เส้นใยไม่เป็นเส้นยาวต่อเนื่อง และมีความแข็งแรงน้อยกว่า ดังนั้นจึงใช้ประกอบร่วมกับวัสดุประเภท Spunbond nonwovens เพื่อให้หน้ากากมีความแข็งแรง โดยหน้ากากกรองอากาศประกอบด้วย Meltblown และ Spunbond โดยสองชั้นด้านในสุด (ด้านที่สัมผัสกับผู้ใส่) และด้านนอกสุด (ด้านที่สัมผัสกับอากาศ) เป็นวัสดุประเภท Spunbond ที่มีความหนาแน่น 20 – 50 กรัมต่อตารางเมตร ตรงกลางเป็นชั้น Pre-filter ที่อาจมี



รูปที่ 5 ส่วนประกอบของหน้ากากกรองอากาศ

ความหนาแน่นสูงถึง 250 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้สามารถขึ้นรูปของหน้ากากและคงรูปได้ดี ต่อจากชั้นนี้จะเป็น Meltblown nonwovens ซึ่งทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองโดยอาศัยหลักการกรองและหลักการดักจับอนุภาคด้วยประจุไฟฟ้า (Electrostatic attraction) และด้านในสุดเป็นชั้น Spunbond เพื่อให้ความสบายในการสวมใส่ ส่วนหน้ากากอนามัยโดยส่วนมากหน้ากากอนามัยประเภทนี้จะมียางดำ 3 ชั้น ชั้นนอกสุดจะถูกเคลือบด้วยสารที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของของเหลวได้ (Waterproof coating) ซึ่งสารเคลือบนี้สามารถละลายออกมาหากมีการซักล้างด้วยสบู่ หรือเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ ชั้นตรงกลางจะมีชั้นแผ่นกรองอยู่ วัสดุที่ใช้ผลิตหน้ากากเกิดจากการหลอมเม็ดพลาสติกโดยไม่ผ่านการทอ (Nonwovens) ขึ้นรูปจากเส้นใยพลาสติกจนเกิดเป็นแผ่นกรองที่สามารถปรับขนาดความหนาแน่นได้ โดยปกติจะมีความหนาแน่น 20 ถึง 25 กรัมต่อตารางเมตร ชนิดของพลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) แต่บางครั้งอาจใช้พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิสไตรีน (Polystyrene) และพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ร่วมด้วย การขึ้นรูปโดยใช้พลาสติก Polypropylene ทำให้เกิดแผ่นกรองที่ได้มีคุณสมบัติอ่อนนุ่มคล้ายผ้าที่ได้จากการทอ ทำให้สวมใส่สบาย มีความสะอาดสูง และสามารถกรองอนุภาคนาโนใหญ่กว่า 3 ไมครอนขึ้นไปได้มากกว่าหรือเท่ากับ 95% พอลิโพรพิลีนมีจุดหลอมเหลวที่ 163.8 °C สามารถทำลายด้วยความร้อนสูงกว่า 82.2°C และสารเคมี เช่น กรดออกซิไดซิง (Oxidizing acid) คลอรีนไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated hydrocarbons) และสารกลุ่มอะโรมาติกส์ (Aromatics) เป็นต้น รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบของหน้ากากอนามัย



รูปที่ 6 ส่วนประกอบของหน้ากากอนามัย

4.3 มาตรฐานของหน้ากากอนามัยและหน้ากากกรองอากาศ

4.3.1 หน้ากากอนามัย

ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและแบคทีเรียของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ตามมาตรฐานองค์การอาหารและยา (Food and Drugs Administration ตัวย่อ FDA) ของสหรัฐอเมริกาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับตามมาตรฐาน ASTM F2100 ของสมาคมการทดลองและวัสดุอเมริกา (American Society for Testing and Materials) ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและแบคทีเรียคือมากกว่าหรือเท่ากับ 95, 98 และ 98% สำหรับระดับที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับและความต่างความดัน (Differential pressure) หรือการต้านการหายใจ (Breathing resistance) คือ <4.0, <5.0 และ <5.0 mmH₂O/cm² สำหรับระดับที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยระดับ 3 ให้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุดและใช้สำหรับการทางการแพทย์ ซึ่งมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและแบคทีเรียสูงสุดโดยมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของของเหลวสูง ในยุโรปหน้ากากอนามัยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานยุโรป (European Standard) คือ EN 14683:2019 และในประเทศไทยจะเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก) คือ มอก. 2424-2562 หน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียวซึ่งมีคุณลักษณะทางด้านสมรรถนะแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งใน มอก. 2424-2562 ได้อ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM F2100 ทั้งหมด

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางด้านสมรรถนะตาม มอก. 2424-2562

รายการที่	คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์ที่กำหนด		
			ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
1	ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย	%	≥95	≥98	≥98
2	ความแตกต่างของความดัน (ΔP)	mmH ₂ O/cm ²	<4.0	<5.0	<5.0
3	ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.1 μm	%	≥95	≥98	≥98
4	ความต้านของเหลวซึมผ่าน ความดันต่ำสุด	mmHg	80	120	160
5	การลามไฟ		Class 1		

4.3.2 หน้ากากกรองอากาศ

จากที่กล่าวมาในข้างต้น ในสหรัฐอเมริกา NIOSH จะเป็นผู้กำหนดความสามารถในการกรองอนุภาคของหน้ากากกรองอากาศตาม 42 CFR ตอนที่ 84 โดยแบ่งออกเป็นชนิด N, R และ P ซึ่งตัวอักษร 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) ซึ่งใช้ได้มากกว่า R สำหรับไม่ก่น้ำมัน ก่น้ำมันได้บ้างและก่นน้ำมันได้สูง ตามลำดับ ซึ่งตามมาตรฐาน 42 CFR ตอนที่ 84 ของ NIOSH จะจัดอันดับประสิทธิภาพการกรองอนุภาคหรือความสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 0.3 ไมครอนของชนิด N, R และ P ที่แตกต่างกันคือ 95, 99 และ 99.97% เป็นต้น โดย NIOSH ได้กำหนดการทดสอบตามมาตรฐาน NIOSH หมายเลข RC-APR-STP-0057, 0058 และ 0059 ประกอบด้วย ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค NaCl และอนุภาค Dioctyl phthalate (DOP) การรั่วของวาล์ว (Valve leak) และการทดสอบการหายใจเข้า/หายใจออก (Inhalation/exhalation tests) ในการทดสอบประสิทธิภาพ

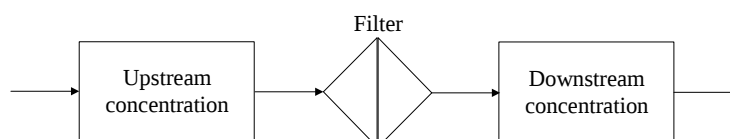
การกรองอนุภาคจะให้อนุภาคละอองลอยเกลือไหลผ่านหน้ากาทัวอย่างและปริมาณของอนุภาคละอองลอยเกลือที่ผ่านหน้ากาทัวอย่างได้จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคและการทดสอบอนุภาค DOP จะเป็นการซึมผ่านของอนุภาคและความต้านทานการไหลของอากาศของหน้ากาทัวอย่างด้วยอนุภาคที่มีขนาดช่วงทะลุผ่านมากที่สุดคือ 0.3 ไมครอน ในยุโรปประเภทของหน้ากาทองอากาศสามารถแบ่งได้เป็นหน้ากาทองครึ่งหน้า (Filtering half masks) หรือแผ่นกรองบนหน้า (Filtering face pieces ตัวย่อ FFP หน้ากากครึ่งหน้า (Half masks) เครื่องช่วยหายใจแบบใช้อากาศบริสุทธิ์ (Powered air-purifying respirator ตัวย่อ PAPR) และเครื่องช่วยหายใจที่จ่ายบรรยากาศ (Atmosphere-supplying respirator ตัวย่อ SAR) ตามมาตรฐานของยุโรป (EN 149: 2001) FFP แบ่งออกเป็น FFP1, FFP2 และ FFP3 โดยมีความสามารถในการกรองอนุภาคที่ 80%, 94% และ 99% ตามลำดับ โดย FFP2 หรือ FFP3 จะเทียบเท่ากับมาตรฐาน N95 และ N99 ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคสูงสุด และในประเทศไทยจะเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก) คือ มอก. 2480-2562 หน้ากากใช้ครั้งเดียวชนิด N95 ลดความเสี่ยงการติดเชื้อทางการแพทย์ซึ่งมีคุณลักษณะทางด้านสมรรถนะแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งใน มอก. 2480-2562 ได้อ้างอิงวิธีการทดสอบสำหรับรายการที่ 1-2 ตามมาตรฐาน 42 CFR 84 และรายการที่ 3-4 ตามมาตรฐาน ASTM F2100 สำหรับการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางด้านสมรรถนะของมาตรฐานอื่น เช่น EN 149-2001, GB2626-20 06, AS/NZS1716:2012, KMOEL-2017-64 และ Japan JMHLW Notification 214, 2018

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางด้านสมรรถนะตาม มอก. 2480-2562

รายการที่	คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคขนาด (0.075 ± 0.02) ไมครอน (CMD, count median diameter) หรือ 0.3 ไมครอน (MMAD, mass median aerodynamic diameter)	%	≥95
2	ความต้านทานการหายใจ	mmH ₂ O	≤35
	เริ่มต้นของการหายใจเข้า		≤25
	เริ่มต้นของการหายใจออก		
3	ความดันของเหลวซึมผ่าน ความดันต่ำสุด	mmHg	160
4	การลามไฟ		Class 1

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

ประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศจะถูกกำหนดโดย 2 อย่าง คือ ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของตัวกรองหน้ากาทและความพอดี (Fit) หรือการรั่ว (Leakage) ของหน้ากาก ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเป็นตัวบ่งชี้ว่าหน้ากากสามารถกรองอนุภาคในช่วงขนาดที่กำหนดได้ดีขนาดไหน ซึ่งรวมถึงไวรัส (Virus) และอนุภาคระดับซับไมครอน (Submicron particles) อื่น ๆ ส่วนความพอดีหรือการรั่วในขณะสวมใส่จะบ่งชี้ว่าหน้ากากสามารถป้องกันการรั่วบริเวณใบหน้าได้ดีขนาดไหน ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของตัวกรองหน้ากาทมีความสำคัญเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้ากากทุกชนิด



รูปที่ 7 แผนภาพการหาประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

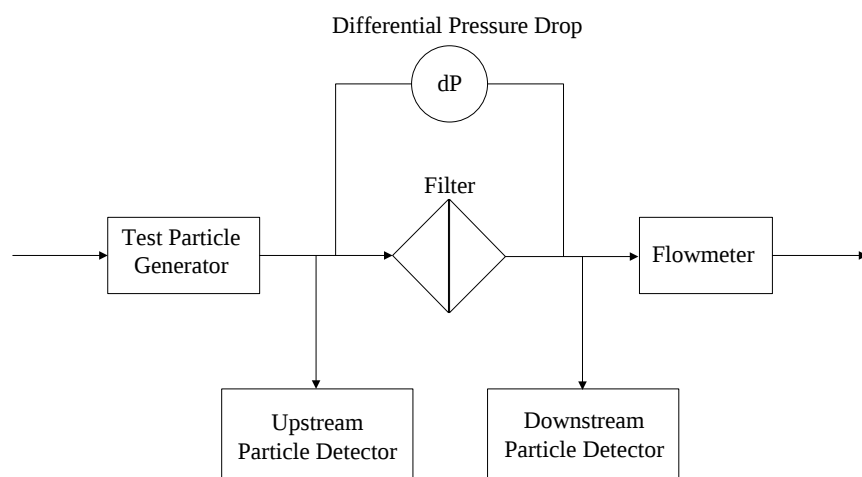
โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการกรองอนุภาคได้ถูกอธิบายคุณลักษณะของ
ความสามารถในการสะสมอนุภาคของตัวกรองหรือสัดส่วน (Fraction) ของความ
เข้มข้นอนุภาคที่เข้า (Upstream concentration) และถูกกรองไว้โดยตัวกรองหรือ
ความเข้มข้นอนุภาคหลังผ่านตัวกรอง (Downstream concentration) ดังแสดง
ในรูปที่ 7 โดยประสิทธิภาพการกรองนี้สามารถแสดงได้ทั้งประสิทธิภาพการกรอง
อนุภาคเชิงจำนวน (Particle number filtration efficiency) หรือประสิทธิภาพ
การกรองอนุภาคเชิงมวล (Particle mass filtration efficiency) สามารถ
คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของตัวกรอง η_p ได้จาก

$$\eta_p = \frac{C_{inlet} - C_{outlet}}{C_{inlet}} \times 100 \quad (1)$$

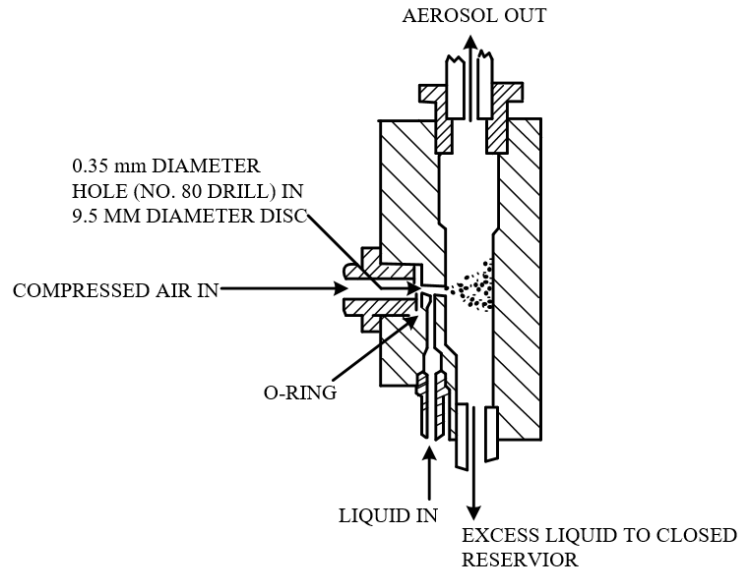
เมื่อ C_{inlet} คือความเข้มข้นเชิงจำนวนหรือมวลของอนุภาคก่อนผ่านของตัวกรองและ
 C_{outlet} คือความเข้มข้นเชิงจำนวนหรือมวลของอนุภาคหลังผ่านของตัวกรองและค่า
การทะลุผ่านอนุภาค (Particle penetration) ของตัวกรองจะสามารถคำนวณได้
จาก

$$P_p = 100 - \eta_{exp} \quad (2)$$

รูปที่ 8 แสดงแผนภาพระบบการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค
พื้นฐาน โดยทั่วไปแล้วระบบการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคจะ
ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอย (Aerosol generator) ตัวยึดแผ่น
กรอง (Filter holder) ตัวนับจำนวนอนุภาค (Particle detector) ตัววัดความ
แตกต่างของความดัน (Differential pressure sensor) และตัว



รูปที่ 8 แผนภาพระบบทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคพื้นฐาน



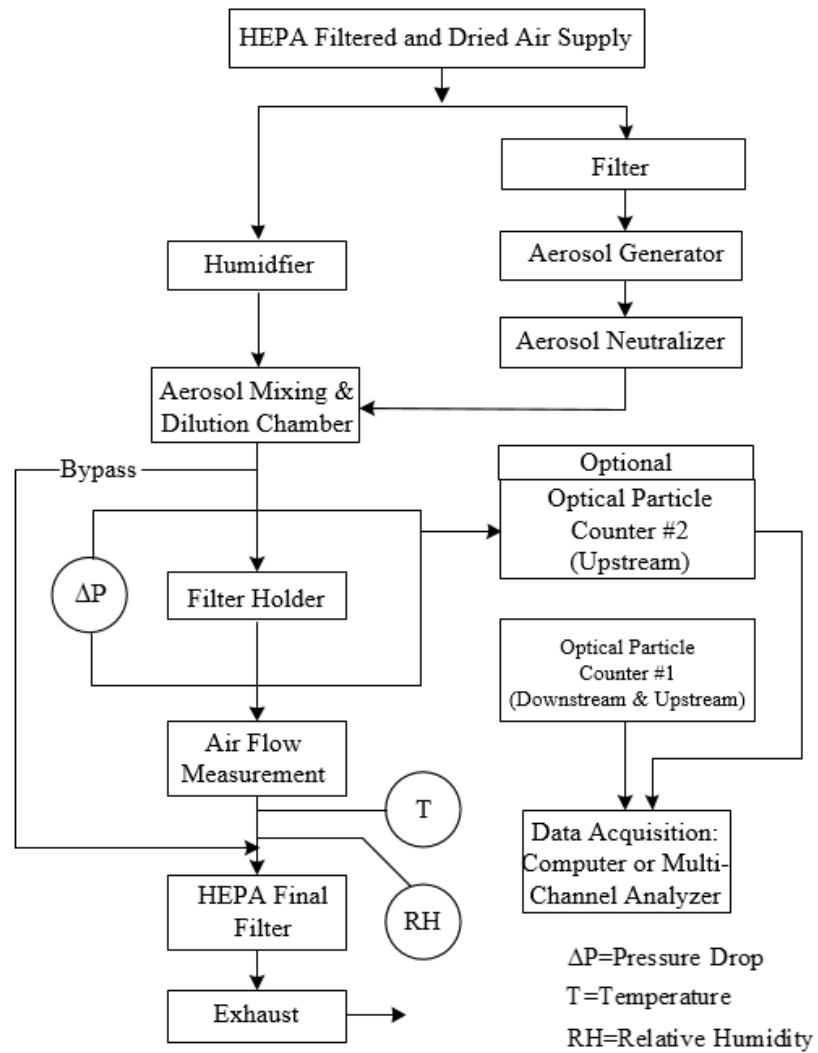
รูปที่ 9 แผนภาพแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์

วัดอัตราการไหล (Flow meter) การทำงานของระบบการทดสอบเริ่มต้นด้วยการสร้างอนุภาคละอองลอยที่ขนาด (Size) ความเข้มข้น (Concentration) องค์ประกอบ (Composition) และอื่นๆ ที่ต้องการเพื่อทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอย ปกติใช้หลักการอะตอมไมเซชัน (Atomization) หรือนิวไลเซอร์ (Nebulizer) ในการสร้างอนุภาคละอองลอยดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อได้อนุภาคละอองลอยที่ต้องการแล้วจะถูกจ่ายเข้าไปยังตัวยึดแผ่นกรองที่มีตัวกรองตัวอย่างอยู่ด้านใน การไหลของอนุภาคละอองลอยผ่านตัวยึดแผ่นกรองถูกควบคุมให้คงที่ด้วยตัววัดอัตราการไหล จากนั้นก็ทำการวัดค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่เข้าและออกตัวกรองด้วยเครื่องนับจำนวนอนุภาคและวัดค่าความดันตกคร่อมขณะทดสอบด้วยตัววัดความแตกต่างของความดัน โดยค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของตัวกรองสามารถคำนวณด้วยสมการที่ 1 จากค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่เข้าและออกตัวกรอง

4.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย

มาตรฐาน ASTM F2299 เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นโดยสมาคมการทดลองและวัสดุของสหรัฐอเมริกาหรือ ASTM ชื่อเต็มของมาตรฐานนี้คือ ASTM F2299/F2299M-03 (2017) วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับกำหนดประสิทธิภาพเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในหน้ากากทางการแพทย์เพื่อการทะลุผ่านของอนุภาคโดยใช้ทรงกลมลาเทกซ์ (Standard test method for determining the initial efficiency of materials used in medical face masks to penetration by particulates using latex spheres) เป็นวิธีการทดสอบที่วัดประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเริ่มต้นของวัสดุที่ใช้ในหน้ากากทางการแพทย์โดยการสูดตัวอย่างปริมาตรตัวแทนของความเข้มข้นของละอองทรงกลมลาเทกซ์ก่อนและหลังผ่านหน้ากากในห้องควบคุมการไหลของอากาศ รูปที่ 10 แสดงแผนภาพระบบการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัยตามมาตรฐาน ASTM F2299-03 โดยมีรายละเอียดขอบข่ายการทดสอบดังนี้

- 1) ระบบประกอบด้วย ชุดแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer aerosol generator) ชุดทำให้อนุภาคเป็นกลาง (Aerosol neutralizer) ชุดควบคุมความชื้น (Humidifier) ถังผสม (Mixing chamber) ตัวยึดแผ่นกรอง (Filter holder) ชุดนับจำนวนอนุภาค (Particle counter) ชุดวัดความแตกต่างของความดัน (Differential pressure sensor) แหล่งจ่ายอากาศสะอาด (Filtered air supply) เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ชุดวัดและควบคุมอัตราการไหล (Flow meter and controller) ชุดควบคุมการทำงานและประมวลผล (Controller unit and data processing unit)
- 2) อนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีน ลาเท็กซ์ (Polystyrene Latex) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 0.1 – 5.0 ไมครอน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (Geometric standard deviation, GSD) ไม่เกิน 1.6 % ที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานจากสถาบันแห่งชาติของมาตรฐานและเทคโนโลยี (National Institute of Standards and Technology, NIST) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3) ชุดแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ แหล่งกำเนิดละอองลอยเป็นแบบอะตอมไมเซอร์สามารถสร้างอนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีน ลาเท็กซ์ หรือ PSL แบบขนาดเดี่ยว (Monodispersed aerosol) สัดส่วนของน้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized water) และอนุภาค PSL คือ 1000 : 1 ถึง 10,000 : 1 ได้ในช่วง 0.1 μm ถึง 5 μm ให้ความเข้มข้นของอนุภาคในช่วง $10^7 - 10^8$ particles/ m^3
- 4) ชุดนับจำนวนอนุภาคตัวนับจำนวนอนุภาคแบบโฟโตมิเตอร์กระเจิงแสง (Light scattering photometer) หรือแบบทางแสง (Optical particle counter) หรือเครื่องมือแบบเทียบเคียง (Equivalent instrumentations) ช่วงการวัดความเข้มข้นของอนุภาคเชิงจำนวน 1×10^2 particles/ cm^3 ถึง 2×10^7 particles / cm^3
- 5) ตัวยึดแผ่นกรองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 - 15 cm
- 6) ตัวอย่างวัสดุ (Material specimen) จะอยู่ห่างจากทางเข้าอนุภาค 10 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (Duct diameters) โดยหัวเก็บตัวอย่างอนุภาค (Particle sampling probe) ก่อนแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่างวัสดุ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และหัวเก็บตัวอย่างอนุภาคหลังแผ่นกรองจะห่างจากตัวอย่างวัสดุ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ



รูปที่ 10 แผนภาพระบบการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก
อนามัยตามมาตรฐาน ASTM F2299-03

7) การเก็บตัวอย่างเป็นแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic sampling)

8) ชุดทำให้อนุภาคเป็นกลางตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางให้มีสมดุประจุโบลต์ซมันน์ (Boltzmann equilibrium charge equivalent) จะต้องเป็นแบบการแพร่สองขั้ว (Bipolar diffusion) ใช้หลักการโคโรนาไอออไนเซชัน (Corona ionization) แสง UV หรือโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric) และการแผ่รังสี (Radiation) จากแหล่งกำเนิด α -ray หรือ β -ray ที่ความเร็วด้านหน้าทดสอบได้ในช่วง 0.5 cm/s ถึง 25 cm/s ที่อนุภาคนาโนในช่วง 0.1 μm ถึง 5 μm โดยการกระจายประจุสมดุของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann equilibrium charge distribution) หรือเรียกว่าสถานะคงที่ (Steady-state) คงที่ (Stationary) หรือการกระจายประจุสมดุแบบสองขั้วหรือไบโพลาร์ (Bipolar equilibrium charge distribution) การกระจายประจุสมดุของโบลต์ซมันน์แสดงถึงการกระจายประจุของละอองลอยในสมดุประจุด้วยไอออนแบบสองขั้ว จำนวนขึ้นต่ำของประจุจะน้อยมาก ๆ กับความน่าจะเป็นทางสถิติที่บางอนุภาคจะไม่มีประจุและอนุภาคอื่นๆ จะมีหนึ่งประจุหรือมากกว่าหนึ่งประจุ สำหรับความเข้มข้นที่เท่ากันของไอออนบวกและลบ การประมาณการเศษของอนุภาค (Fraction of particles) สำหรับอากาศปกติ, f_n , ของ

ขนาดที่กำหนดจะมี, n , หน่วยพื้นฐานของประจุ (Elementary units) บวกหรือลบ
คือ

$$f_n = \frac{\exp(K_E n^2 e^2 / d_p kT)}{\sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(K_E n^2 e^2 / d_p kT)} \quad (3)$$

เมื่อ $K_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$; ϵ_0 คือค่าสภาพยอมของอากาศว่าง (Permittivity of free space) มีหน่วยเป็นฟารัดต่อเมตร (F/m) (มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} F/m) n คือ
ค่าจำนวนประจุเฉลี่ย e คือค่าประจุอิเล็กตรอน (มีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} C) d_p ขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค k คือค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann's constant)
มีค่าเท่ากับ 1.380658×10^{-23} J/K T คืออุณหภูมิทำงาน สำหรับอนุภาคที่มีขนาด
ใหญ่กว่า $0.5 \mu\text{m}$ สมการที่ (3) จะเป็นสมการที่แสดงการกระจายปกติ (Normal
distribution) และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายคือ

$$f_n = \left(\frac{K_E e^2}{\pi d_p kT} \right)^{1/2} \exp\left(\frac{-K_E n^2 e^2}{d_p kT} \right) \quad (4)$$

สมการที่ (4) นี้มีค่าความแตกต่างจากสมการที่ (3) ไม่เกิน 7 % สำหรับอนุภาคที่มี
ขนาดใหญ่กว่า $0.02 \mu\text{m}$ และไม่เกิน 0.04% สำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 0.05
 μm สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า $0.05 \mu\text{m}$ ทั้งสมการที่ (5) และ (6) จะประเมิน
ค่าเศษอนุภาคที่มีประจุต่ำกว่าความเป็นจริงและต้องใช้กระบวนการที่ซับซ้อน โดยการ
กระจายประจุจะสมมาตรศูนย์กลางนั้นคือเศษอนุภาคที่มีประจุบวกจะเท่ากับเศษอนุภาคที่มี
ประจุลบ สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$ การกระจายจะประกอบด้วยเศษ
อนุภาคที่ไม่มีประจุและเศษอนุภาคที่มีประจุเดี่ยวที่มีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน โดย
จำนวนประจุเฉลี่ย (Average charge) $\bar{n}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$\bar{n} \approx 2.37 \sqrt{d_p} \quad (5)$$

ซึ่งสมการที่ (5) จะให้ความถูกต้องประมาณ $\pm 5\%$ สำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มากกว่า
 $0.2 \mu\text{m}$ โดยอัตราที่ละอองลอยจะไปสู่การกระจายประจุสมดุลของโบลต์ซมันน์จะ
ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนแบบไบโพลาร์และสามารถหาได้จาก

$$\frac{n(t)}{n_0} = \exp(-4\pi K_E e Z_i N_i t) \quad (6)$$

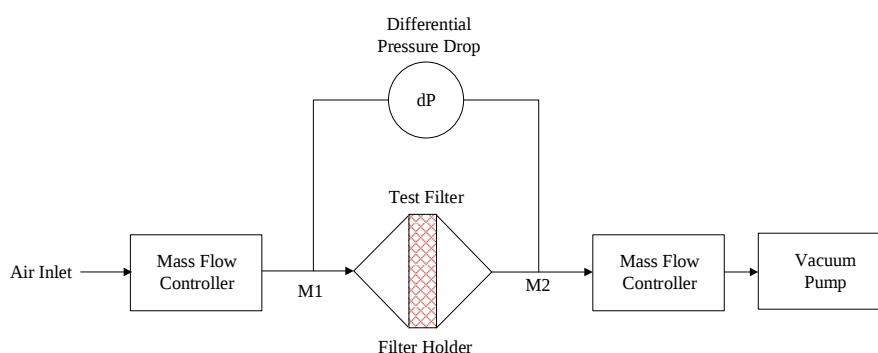
เมื่อ $n(t)$ คือจำนวนประจุบนอนุภาคหลังจากที่ได้รับไอออนแบบไบโพลาร์ที่ความ
เข้มข้น N_i และเวลา t ถ้า n_0 คือประจุที่เวลา $t = 0$ และ Z_i คือความสามารถในการ
เคลื่อนตัวทางไฟฟ้าของไอออน (Ion electrical mobility) ซึ่งเศษอัตราการคาย
ประจุ (Fractional discharge rate) จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคหรือประจุ
เริ่มต้น

9) อุณหภูมิทดสอบ $21 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$

10) ชุดควบคุมความชื้นแบบการแพร่ (Diffusion dryer) หรือหลักการอื่นที่ควบคุม
ความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง $30 - 50 \pm 5 \text{ \%RH}$

- 11) ชุดวัดความแตกต่างของความดัน ความต่างของความดันของแผ่นกรองในหน่วย มิลลิเมตรน้ำ ด้วยมาโนมิเตอร์เซ็นเซอร์ ต้องมีความละเอียดถึง 0.1 mmH₂O มีช่วงของการวัด 0 mmH₂O ถึง 250 mmH₂O
- 12) ชุดวัดและควบคุมอัตราการไหล ตัววัดและควบคุมอัตราการไหลใช้ได้ทั้งแบบระบบการไหลความดันบวกหรือความดันลบ ต้องมีความละเอียดถึง 0.1 L/min มีช่วงการวัด 0 – 100 L/min
- 13) ชุดควบคุมการทำงานและประมวลผล มีจอแสดงผล แสดงค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและสภาวะทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพการกรอง อัตราการไหล ความต่างความดัน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

4.5 การทดสอบความต่างของความดัน



รูปที่ 11 แผนภาพการทดสอบความต่างของความดันของหน้ากากอนามัยตามมาตรฐาน EN14683 และ มอก. 2424-2562

แผนภาพการทดสอบความต่างของความดันของหน้ากากอนามัยตามมาตรฐาน EN14683 และ มอก. 2424-2562 แสดงดังรูปที่ 11 ประกอบด้วย ตัววัดแผ่นกรอง (Filter holder) ตัววัดความดันแตกต่าง (Differential pressure drop) ตัววัดและควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow controller) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ตัววัดแผ่นกรองมีพื้นที่การทดสอบ 4.9 cm² หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวอย่างทดสอบ 2.5 cm อัตราการไหลที่ใช้ทดสอบคงที่ที่ 8±0.2 L/min โดยค่าความต่างของความดันของหน้ากากต่อพื้นที่ $\frac{\Delta P}{\text{cm}^2}$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$\Delta P / \text{cm}^2 = (X_{M1} - X_{M2}) / 4.9 \quad (7)$$

เมื่อ X_{M1} คือค่าความดัน (Pressure) ที่วัดได้ที่มาโนมิเตอร์ M_1 (มีหน่วยเป็น Pa.) X_{M2} คือค่าความดันที่วัดได้ที่มาโนมิเตอร์ M_2 และ 4.9 คือพื้นที่ในการทดสอบของหน้ากากตัวอย่างหน่วยเป็น cm²

4.6 ตัวอย่างเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

ในปัจจุบันการพัฒนาเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัยและหน้ากากกรองอากาศแบบอัตโนมัติมีลักษณะโครงสร้าง เทคนิควิธีการ การทำงาน และราคาแตกต่างกันออกไป เช่น TSI 8130A Automated Filter Tester ของบริษัท TSI ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 12) เป็นเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 แบบอัตโนมัติตามมาตรฐาน 42

CFR 84 สามารถทำเบ็ดอนุภาค PSL, NaCl, Emery Oil, DEHS ช่วงการวัดความ
เข้มข้นของอนุภาค 0.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์
เมตร สามารถปรับอัตราการไหลของอนุภาคทดสอบได้ในช่วง 5 – 90 ลิตรต่อนาที
สามารถวัดความดันแตกต่างได้ 0 – 250 mmH₂O สามารถวัดประสิทธิภาพการ
กรองได้สูงสุด 99.999% ราคาประมาณ 6 ล้านบาท TSI 3610

Automated Filter Tester ของบริษัท TSI ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่
13) เป็นเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัยแบบ
อัตโนมัติตามมาตรฐาน ASTM F2299-03 สามารถทำเบ็ดอนุภาค PSL, NaCl,
Emery Oil, DEHS สามารถวัดประสิทธิภาพการกรองได้สูงสุด 99.999% ราคา
ประมาณ 8 ล้านบาท Automatically Particular Filtration Efficiency Tester
รุ่น G506 ของบริษัท QINSUN/STANDARD ประเทศจีน (รูปที่ 14) เป็นเครื่อง
ทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 แบบอัตโนมัติตาม
มาตรฐาน 42 CFR 84 สามารถทำเบ็ดอนุภาค PSL, NaCl, Emery Oil, DEHS
ช่วงการวัดความเข้มข้นของอนุภาค 0.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 200
มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถปรับอัตราการไหลของอนุภาคทดสอบได้ในช่วง
5 – 90 ลิตรต่อนาที สามารถวัดความดันแตกต่างได้ 0 – 250 mmH₂O สามารถ
วัดประสิทธิภาพการกรองได้สูงสุด 99.999% ราคาประมาณ 2.6 ล้านบาท



รูปที่ 12 TSI 8130A AUTOMATED FILTER TESTER



รูปที่ 13 TSI 3610 AUTOMATED FILTER TESTER



รูปที่ 14 Automatically Particular Filtration Efficiency Tester รุ่น G506

สำหรับในประเทศไทย Asana, V. and Intra, P. (2022) ได้พัฒนาต้นแบบเครื่องทดสอบตัวกรองอัตโนมัติที่ใช้ตัวนับอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองและความดันตกของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ เครื่องต้นแบบได้ออกแบบตามมาตรฐาน มอก.2424-2562 และ มอก.2480-2562 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอยตัวทำให้อนุภาคเป็นกลาง ถังผสม ห้องทดสอบ ตัวนับจำนวนอนุภาค ตัววัดความดันแตกต่าง ตัววัดอากาศ ตัววัดอัตราการไหล และชุดประมวลผลและแสดงผลการทดสอบ สามารถสร้างอนุภาค PSL และ NaCl ในช่วงความเข้มข้นเชิงจำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 20,000 particles/cm³ ที่อัตราการไหลอากาศประมาณ 5 ถึง 100 L/min และประสิทธิภาพการกรองอนุภาควัดได้สูงสุดคือ 99.99% สามารถใช้เป็นเครื่องทดสอบตัวกรองแบบอัตโนมัติได้เทียบเคียงกับเครื่องทดสอบตัวกรองที่ใช้หลักการนับจำนวนอนุภาคแบบกระเจิงแสงที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM F2299-03 และ 42 CFR 84 ได้ รูปที่ 15 แสดงภาพถ่ายต้นแบบเครื่องทดสอบตัวกรองอัตโนมัติที่พัฒนาโดย Asana, V. and Intra, P. (2022)



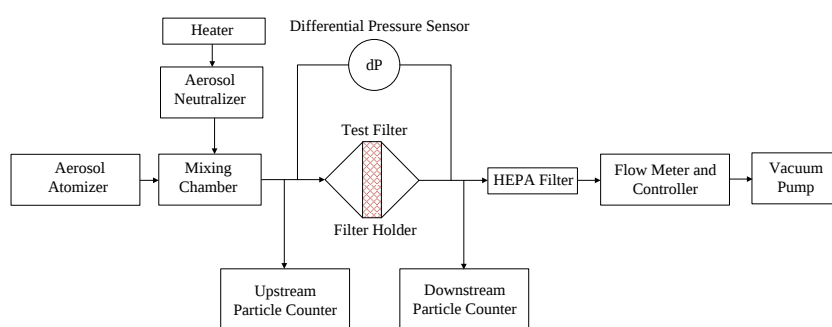
รูปที่ 15 ภาพถ่ายต้นแบบเครื่องทดสอบตัวกรองอัตโนมัติ
ที่พัฒนาโดย Asana, V. and Intra, P. (2022)

5. ผลการวิจัย

5.1 การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากกรองอากาศ

มาตรฐาน 42 CFR 84 เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นโดยสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา หรือ NIOSH สำหรับทดสอบอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ (Respiratory protective devices) ที่รวมถึงหน้ากากกรองอากาศ รูปที่ 16 แสดงแผนภาพการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากกรองอากาศตามมาตรฐาน 42 CFR 84 มีรายละเอียดของหน่วยวิธีการทดสอบดังนี้

1) ชุดแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer aerosol generator) ชุดทำให้อนุภาคเป็นกลาง (Aerosol neutralizer) ชุดให้ความร้อน (Heater) ถังผสม (Mixing chamber) ตัวยึดแผ่นกรอง (Filter holder) ชุดนับจำนวนอนุภาค (Particle counter) ชุดวัดความแตกต่างของความดัน (Differential pressure sensor) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ชุดวัดและควบคุมอัตราการไหล (Flow meter and controller) ชุดควบคุมการทำงานและประมวลผล (Controller unit and data processing unit)



รูปที่ 16 แผนภาพระบบการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัย ตามมาตรฐาน 42 CFR 84

5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากกรองอากาศ

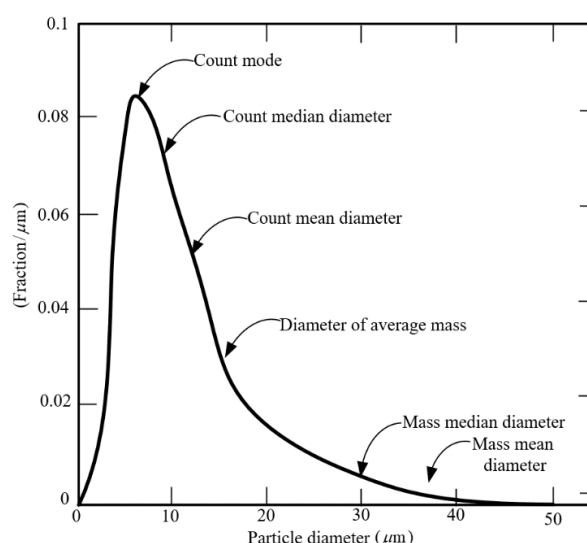
มาตรฐาน 42 CFR 84 เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นโดยสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา หรือ NIOSH สำหรับทดสอบอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ (Respiratory protective devices) ที่รวมถึงหน้ากากกรองอากาศ รูปที่ 9 แสดงแผนภาพการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากกรองอากาศตามมาตรฐาน 42 CFR 84 มีรายละเอียดของหน่วยวิธีการทดสอบดังนี้

1) ชุดแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Atomizer aerosol generator) ชุดทำให้อนุภาคเป็นกลาง (Aerosol neutralizer) ชุดให้ความร้อน (Heater) ถังผสม (Mixing chamber) ตัวยึดแผ่นกรอง (Filter holder) ชุดนับจำนวนอนุภาค (Particle counter) ชุดวัดความแตกต่างของความดัน (Differential pressure sensor) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ชุดวัดและควบคุมอัตราการไหล (Flow meter and controller) ชุดควบคุมการทำงานและประมวลผล (Controller unit and data processing unit)

2) ชุดแหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์สามารถสร้างอนุภาค NaCl แบบกระจายหลายขนาด (Polydisperse) ที่มี CMD เท่ากับ 0.075 ± 0.02 ไมครอน และ MMAD เท่ากับ 0.3 ไมครอน ที่ความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคไม่เกิน 200 mg/m^3 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต ≤ 1.86 โดย CMD ย่อมาจาก

Count Median Diameter คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานจำนวน CMD จะคำนวณจากความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) ที่วัดได้จากเครื่องวัดขนาดอนุภาคเชิงจำนวนหรือ Optical Particle Sizer (OPS) หรือ Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) ส่วน MMAD ย่อมาจาก Mass Median Aerodynamic Diameter คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานมวล MMAD จะคำนวณจากความเข้มข้นเชิงมวล (Mass concentration) ที่วัดได้จากเครื่องวัดขนาดอนุภาคเชิงมวลหรือ Aerodynamic Particle Sizer (APS) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic diameter) เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของอนุภาคในขณะที่อยู่ในอากาศ รูปที่ 17 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคแบบ CMD และ MMAD จากรูปที่ 17 สามารถคำนวณหาค่า MMAD ได้จากค่า CMD คือ

$$\text{MMAD} = \text{CMD} \exp(3[\ln \text{GSD}]^2) \quad (8)$$



รูปที่ 17 การกระจายขนาดอนุภาคแบบ CMD และ MMAD

และรูปที่ 18 แสดงตัวอย่างการวัดการกระจายขนาดอนุภาค NaCl แบบ CMD และ MMAD ถ้าวัดการกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ด้วย OPS หรือ SMPS จะได้ CMD ~ 0.057 ไมครอน และถ้าใช้ APS วัดการกระจายขนาดอนุภาคจะต้องได้ MMAD ~ 0.264 ไมครอน ดังแสดงค่ามัธยฐาน เวลี่ยเรขาคณิต โหมดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิตในตารางที่ 3

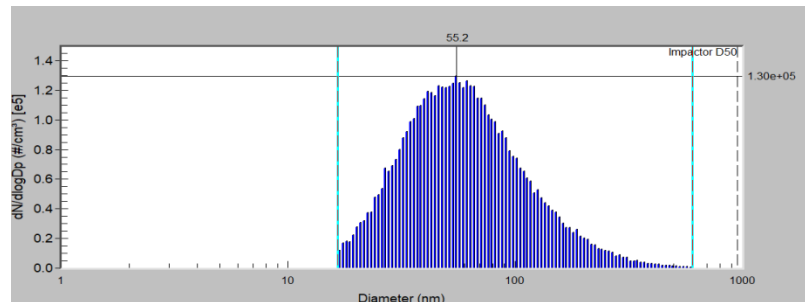
3) อัตราการไหลในทดสอบ 85 ± 4 L/min สำหรับตัวกรองเดี่ยวและอัตราการไหลทดสอบ 42.5 ± 2 L/min สำหรับด้านใดด้านหนึ่งของตัวกรองคู่

4) อนุภาคทำให้มีสมดุลประจุโบลต์ซมันน์ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางที่ใช้หลักการเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในมาตรฐาน ASTM F2299-03 ข้างต้น

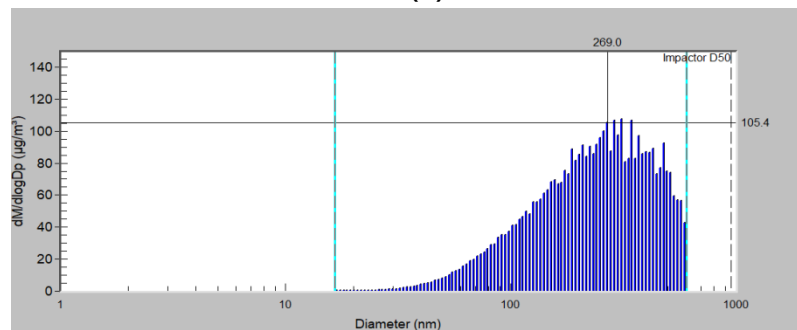
5) ชุดให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบได้ในช่วง 25 ± 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ขณะทดสอบได้ในช่วง 30 ± 10 %RH

ตารางที่ 3 ค่ามัธยฐาน ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต โหมดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทาง
 เรขาคณิต

	CMD	MMAD
ค่ามัธยฐาน (nm)	57.4	264.1
ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (nm)	60.1	224.4
โหมด (nm)	55.2	310.6
ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (nm)	1.83	1.84



(ก) CMD



(ข) MMAD

รูปที่ 18 การกระจายขนาดอนุภาค NaCl แบบ CMD และ MMAD

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของ
มาตรฐาน 42 CFR 84 และ ASTM F2299

รายละเอียดตัวแปร	หน้ากากกรองอากาศ	หน้ากากอนามัย
ทดสอบ	ตามมาตรฐาน 42 CFR 84	ตามมาตรฐาน ASTM F2299
อนุภาคทดสอบ	โซเดียมคลอไรด์ (NaCl), CMD = $0.075 \pm 0.02 \mu\text{m}$ MMAD = $0.3 \mu\text{m}$ GSD $\leq 1.86\%$	อนุภาคทรงกลมชนิดพอลิสไตรีน ลาเท็กซ์ (Polystyrene Latex) ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง $0.1 - 5.0 \mu\text{m}$ GSD $\leq 1.6\%$
ความเข้มข้นของ อนุภาค	ไม่เกิน 200 mg/m^3	ช่วง $10^7 - 10^8 \text{ particles/m}^3$
	$85 \pm 4 \text{ L/min}$ (ตัวกรองเดียว)	
อัตราการไหลทดสอบ	$42.5 \pm 2 \text{ L/min}$ (ด้านใดด้าน หนึ่งตัวกรองคู่)	-
ความเร็วการไหล	10.6 cm/s ที่พื้นที่ทดสอบ (Test Area) 135 cm^2	ช่วง $0.5 - 25 \text{ cm/s}$
ที่ใส่ตัวอย่าง (Specimen holder)	-	มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $5 - 15 \text{ cm}$
การเก็บตัวอย่าง	-	แบบไอโซไคเนติก Isokinetic sampling)
อนุภาคทำให้มีสมมูล ประจุโบลต์ซมันน์ (Boltzmann Equilibrium Charge Equivalent)	ด้วยตัวทำให้ละอองลอย เป็นกลางแบบ	ด้วยตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลางแบบ
ระบบการไหลอากาศ	แรงดันลบด้วยปั๊มสุญญากาศ	แรงดันบวกด้วยเครื่องอัดอากาศ
อุณหภูมิขณะทดสอบ	$25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$	$21 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$
ความชื้นสัมพัทธ์ขณะ ทดสอบ	$30 \pm 10 \text{ \%RH}$	$30 - 50 \pm 5 \text{ \%RH}$

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบเงื่อนไขในการทดสอบหน้ากากกรองอากาศของมาตรฐานต่างๆ

รายละเอียดตัวแปร	N95	FFP2	KN95	P2	Korea	DS2
					1st	
					Class	
มาตรฐาน	42	EN	GB2626-	AS/NZ	KMOEL-	JMHLW/214,
	CFR	149-	2019	1716:2021	2017-64	2018
	84	2001				
ประเทศ	USA	EU	China	Australia/NZ	Korea	Japan
วัสดุอนุภาค	NaCl	NaCl,	NaCl	NaCl	NaCl, Oil	NaCl
		Oil				
ขนาดอนุภาค, CMD	75 nm	20 nm - 2 µm	75 ± 20 nm	20 nm - 2 µm	40 nm - 1 µm	60 nm - 1 µm
ขนาดอนุภาค, MMAD	300 nm	600 nm	300 nm	300 to 600 nm	600 nm	N/A
การกระจายขนาดอนุภาค	GSD < 1.86	N/A	GSD < 1.86	N/A	N/A	GSD < 1.8
อัตราการไหล (L/min)	85	95	85	95 ± 2	95	85
ความต้านการไหล (Pa)	< 245	< 240	< 250	< 120	< 240	< 50
ประจุสมดุล	ใช่	ไม่	ใช่	ไม่	ไม่	ใช่
การวัดอนุภาค	PM mass	PM mass	PM mass	PM mass	PM mass	PM mass
ความชื้น	30 ± 10%	N/A	30 ± 10%	N/A	N/A	N/A
การไหลดมวล	200 mg	120 mg	200 ± 5 mg	N/A	N/A	100 mg

6) ชุดควบคุมการทำงานและประมวผล มีจอแสดงผล แสดงค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและสภาวะทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพการกรอง อัตรา การไหล ความต่างความดัน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากกรองอากาศตามมาตรฐาน 42 CFR 84 และหน้ากากอนามัยตามมาตรฐาน ASTM F2299 และตารางที่ 5 การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบหน้ากากกรองอากาศของมาตรฐานต่างๆ ซึ่งการเปรียบเทียบในตารางที่ 4 – 5 แสดงให้เห็นความแตกต่างของเงื่อนไขในการทดสอบ เช่น ชนิดของอนุภาค ขนาดอนุภาค พื้นที่การทดสอบ อัตราการไหลในการทดสอบ ความชื้นและอุณหภูมิขณะทดสอบ เป็นต้น

5.2 ประโยชน์ระดับนโยบายของผลการเกิด covid 19 ในอนาคต

จากการถอดบทเรียนข้อมูลจากโครงการประเมินเทคโนโลยีและนโยบายด้านสุขภาพ (Health Intervention and Technology Assessment Program: HITAP) โดยทีมวิจัยได้จัดทำเป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย สรุปได้ 5 ข้อ คือ

1. หากประเทศไทยจะผ่อนคลายมาตรการคว่ำอย่างมีกลยุทธ์ โดยผ่อนคลายมาตรการเป็นช่วง ๆ มีระยะเวลาที่ประเมินผลกระทบเชิงลบได้ และอาจพิจารณาเริ่ม

เป็นบางพื้นที่ซึ่งมีอัตราการรับวัคซีนสูงในกลุ่มเสี่ยง เช่น พื้นที่ที่ประชากรกลุ่มเสี่ยง
ได้รับวัคซีนมากกว่าร้อยละ 90 เป็นต้น

2. ประเทศไทยอาจไม่มีความจำเป็นเร่งด่วนในการยกเลิกการสวมหน้ากากอนามัย
เพราะมาตรการดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจของประเทศ ขณะที่มาตรการนี้
ช่วยป้องกันโรคโควิด-19 และโรคติดต่ออื่น ๆ ได้

3. หากมีการยกเลิกมาตรการคัดกรองการติดเชื้อโควิด-19 กระทรวงสาธารณสุข
จำเป็นต้องเพิ่มระดับของการเฝ้าระวังการระบาดในระดับประชากรและการเฝ้าระวัง
เชื้อโรคโควิด-19 สายพันธุ์ใหม่ เพื่อให้มีข้อมูลที่เป็นสัญญาณเตือนภัยล่วงหน้าหากมี
การแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19 สายพันธุ์ใหม่

4. ให้ความสำคัญกับการสื่อสารและหามาตรการเสริม ที่ทำให้ประชาชนยังตระหนัก
ถึงความจำเป็นของการรับวัคซีนโควิด-19

5. เตรียมความพร้อมของระบบสุขภาพที่ต้องรับมือกับโรคติดต่อที่ไม่ได้เกิดจากโค
วิด-19 หลังจากผ่อนปรนมาตรการโควิด-19 และความต้องการบริการสุขภาพจาก
ผู้ป่วยโรคอื่น ๆ ข้อมูลนี้เป็นส่วนหนึ่งของ โครงการวิจัยเพื่อจัดทำชุดข้อเสนอเชิง
นโยบายและขับเคลื่อนระบบสาธารณสุขยุคใหม่ภายหลังการระบาดของโรคโควิด-19
(Post Covid Health System) สนับสนุนโดย สำนักงานบริหารการวิจัยและ
นวัตกรรมสาธารณสุข (สบวส.) สำนักวิชาการสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข ใน
การศึกษานี้ใช้การทบทวนวรรณกรรมจากฐานข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจาก
หลายประเทศทั่วโลกแล้วนำมาสังเคราะห์เพื่อตอบคำถามผู้กำหนดนโยบายภายใต้
คณะกรรมการประมวลสถานการณ์ COVID-19 กระทรวงสาธารณสุข (MOPH
Intelligence Unit หรือ MIU) (“HITAP ถอดบทเรียนนโยบายอยู่กับโควิด-19,”
2022)

6. บทสรุป

จากสถานการณ์การระบาดของโควิด-19 ผล ที่มีผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ
การค้า การทำงาน และปัญหาผลกระทบของฝุ่นละอองลอยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ
และปัญหาการขาดแคลนหน้ากากอนามัยในช่วงระยะเวลาหนึ่งที่ผ่านมา จึงมีการ
ความจำเป็นที่จะต้องเร่งอัตราการผลิตหน้ากากอนามัยขึ้นมาใช้ภายในประเทศ ควบคู่
กับการควบคุมคุณภาพตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการผลิต เป็นต้น

จากโครงสร้างและส่วนประกอบของหน้ากากอนามัยที่มีการใช้งานทั่วไปโดย
แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ 1. หน้ากากกรองอากาศ (Respirators) เป็นหน้ากาก
ที่ใช้ทางการแพทย์ คือหน้ากาก N95 และ P100 เป็นหน้ากากที่มีสมรรถนะการกรอง
สูงที่สุด 2. หน้ากากอนามัย (Surgical masks) และ 3. หน้ากากผ้า

จากการศึกษาวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับคือสามารถเลือกใช้หน้ากากได้อย่าง
ถูกต้องระหว่างหน้ากากทางการแพทย์โดยเฉพาะหน้ากากอนามัย (Surgical
masks) และหน้ากากกรองอากาศ (Respirators) กล่าวคือหน้ากาก P100 กรองอากาศ
(Respirators) สามารถที่จะกรองอนุภาค ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ในอากาศ
ได้อย่างน้อยร้อยละ 95 โดยที่รู้จักกันมากคือหน้ากาก N95 และ P100 โดยหน้ากาก
N95 เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่ผ่านมาตรฐาน N95 ของสถาบันอาชีวอนามัยและ
ความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐ (National Institute for Occupational Safety
and Health: NOISH) และในประเทศไทยจะเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
(มอก) คือ มอก 2424-2562 รองรับ

7. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ
โครงการการพัฒนาเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก
อนามัยและหน้ากา N95 แบบอัตโนมัติตามมาตรฐาน มอก. 2424-2562 และ มอก.
2480-2562 เพื่อเข้าสู่อารยธรรม ISO/IEC 17025:2561 สัญญาเลขที่2566FF061

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] U.S. standards and conformity assessment system, the American National Standards Institute (ANSI). (2017). *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)*. Retrieved from <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmf2299f2299m032>
- [2] Aydin, O., Emon, A., Cheng, S., Hong, L., Chamorro, P. L., Saif, A. M., T. (2020). Performance of fabrics for home - made masks against the spread of COVID-19 through droplets: A quantitative mechanistic study. *Journal of ScienceDirect*, 40, 1-13.
- [3] Department of Disease Control, Ministry of Public Health, Weekly Disease Forecast, (2021). *COVID - 19 situation report*. Retrieved from <https://ddc.moph.go.th/en/index.php>.
- [4] Dugdale, C.M., Walensky, R.P., & MPH, MD. (2020). Filtration Efficiency, Effectiveness, and Availability of N95 Face Masks for COVID-19 Prevention. *Journal of JAMA Internal Medicine*, 180 (12), 1212 – 1613. DOI:10.1001/jamainternmed.2020.4218.
- [5] El-Atab, N., Qaiser, N., Badghaish, H., Shaikh, S.F. & Hussain, M. M. (2020). Flexible Nanoporous Template for the Design and Development of Reusable Anti – COVID - 19. *Journal of National Library of Medicine*, 14 (6), 7656 – 7665. DOI:10.1021/-acsnano.0c03976.
- [6] Fushimi, A., S. Hasegawa, K.Takahashi, Y. Fujitani, K. Tanabe, 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 42(5): 949 –59. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.019.
- [7] Intra, P. 2021. Particulate filter efficiency of Surgical Mask, Cloth Masks and N95/KN95/KF94/FFP1/FFP2 Masks used during COVID-19 outbreak in Thailand 29(5): 949 –59.
- [8] Intra, P. and Siriachawawath T. 2022. Measurements of mass and number concentrations of PM2.5 in the ambient air at Doi Saket site during open burning season in Chiang Mai 30(4): 112-134. doi:10.14456/tstj.2022.4610.1.

- [9] Leiva, G.M.A., D.A. Santibañez, S. Ibarra, P. Matus, and Seguel, R. 2013. A Five - year Study of Particulate Matter (PM2.5) and Cerebrovascular Diseases 181: 1-6.
doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.057.
- [10] O'Dowd, K., K.M. Nair, P. Forouzandeh, S.Mathew, J.Grant, R. Moran, J. Bartlett, J. Bird, and Pillai S.C. 2020. Face Masks and Respirators in the Fight Against the COVID – 19 Pandemic : A Review of Current Materials 13(15): 1-27.
doi: doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104995.
- [11] Rengasamy, S., B. C. Eimer, and Shaffer R.E. 2010. Simple Respiratory Protection - Evaluation of the Filtration Performance of Cloth Masks and Common Fabric Materials Against 20-1000 nm Size Particles 54(7): 789-798.
doi: 10.1093/annhyg/meq044.
- [12] Sickbert - Bennett, E.E., J.M. Samet, P.W. Clapp, H. Chen, J. Berntsen, K.L. Zeman, H. Tong, D.J. Bennett, and Bennett W.D. 2020. Efficiency of Hospital Face Mask Alternatives Available for Use During the COVID-19 Pandemic 180(12): 1607-1612.
doi: 10.1001/jamainternmed.2020.4221.
- [13] Srivastava, A. 2021. COVID - 19 and Air pollution and Meteorology - an Intricate Relationship: A Review1 263 : 1-9.
doi: 10.1001/jamainternmed.2020.4221
- [14] Whiley, H., T.P. Keerthirathne, M.A. Nisar, M.A.F. White, and Ross K.E. 2020. Viral Filtration Efficiency of Fabric Masks Compared with Surgical and N95 Masks 9(9): 762-769.
doi: 10.1001/jamainternmed.2020.4221.
- [15] HITAP ถอดบทเรียนนโยบายอยู่กับโควิด - 19 พ่อนคลายมาตรการแล้วเป็นอย่างไร. (2022, April). from <https://www.hitap.net/news/183399>