

■ Research Article



การประเมินการรั่วของหน้ากากอนามัยชนิดต่างๆ ขณะสวมใส่ด้วยการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคและการนับจำนวนอนุภาค

Assessment of Leakages of Different Types of Masks while Wearing by Observing Particle Motion and Particle Counting

วิสาขน์ภัสร์ รัตนจันทร์¹, วิสูตร อาสนวิจิตร^{1*}, พานิช อินต๊ะ¹,
ปพน สะอาดยวง², สิริพร รรมมอภิล³, กิรณา ดุลยประพันธ์³,
สมพล ต๊ะชัย⁴

¹ หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 98 ต.ป่าป้อง อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ 50220

² ภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี 321 ถนนนารายณ์มหาราช ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000

³ บริษัท เอสซีซี เคมิคอลส์ จำกัด (มหาชน) จ.กรุงเทพฯ 10800

⁴ บริษัท ที แอนด์ พี อินโนเวชั่น จำกัด จ.ลำพูน 51000

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อประเมินการรั่วของหน้ากากอนามัยชนิดต่างๆ ขณะสวมใส่ด้วยการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคและการนับจำนวนอนุภาคละอองลอยที่สร้างจาก Emery Oil ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 ไมครอน ที่ความเข้มข้นของอนุภาคไม่ต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้วิธีการไหลทดสอบประมาณ 6 ลิตรต่อนาที โดยสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่รั่วออกจากหน้ากากด้วยวิธีการถ่ายภาพและถ่ายวิดีโอทีละวินาทีเป็นเวลา 10-15 วินาที ประเมินการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากากใช้วิธี OSHA Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134 กับหัวหุ่นทดสอบซึ่งมีโครงหน้าตามขนาดของคนไทย ตัวอย่างหน้ากากในการทดสอบมีจำนวน 8 ตัวอย่าง คือ 1) หน้ากากอนามัย 2) หน้ากากผ้า 3) หน้ากาก Varogard สายปกติ 4) หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) 5) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย 6) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard 7) หน้ากาก N95 และ 8) หน้ากาก KN95 Thailand โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดสอบโดยการหายใจเข้าและออกปกติเป็นเวลา 60 วินาที ผลการทดสอบพบว่า การรั่วไหลออกของอนุภาคจากหน้ากากมีจุดรั่วหลัก 2 จุด คือ บริเวณดั้งจมูกและบริเวณข้างแก้ม การรั่วเข้าด้านในผ่านหน้ากากอนามัยร้อยละ 43.50 หน้ากากผ้า ร้อยละ 62.80 หน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit) ร้อยละ 29.59 หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) ร้อยละ 23.45 หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย ร้อยละ 23.67 หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard ร้อยละ 13.44 หน้ากาก N95 ร้อยละ 0.91 และหน้ากาก KN95 Thailand ร้อยละ 7.30 พบว่าความพอดีของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า หน้ากาก Varogard สายปกติ หน้ากาก Varogard สายสั้นลง 1.5 เซนติเมตร หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard หน้ากาก N95 และหน้ากาก KN95 Thailand เท่ากับ 2.30, 1.60, 3.38, 4.26, 4.22, 7.45, 110.22 และ 13.69 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพรวมของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า หน้ากาก Varogard สายปกติ หน้ากาก Varogard สายสั้นลง 1.5 เซนติเมตร หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard และหน้ากาก N95 เท่ากับร้อยละ 53.83, -9.52, 69.30, 75.21, 75.11, 85.79, 98.69 และ 92.27 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การนับจำนวนอนุภาค เครื่องทดสอบการรั่ว หน้ากากอนามัย การรั่ว ประสิทธิภาพการกรอง

Received:

29 November 2022

Revised:

16 December 2022

Accepted:

26 December 2022

Published:

28 December 2022

*Corresponding

Author:

iamvisut@gmail.com

+66 85-040-1595

Copyright:

© Rajamangala

University of

Technology Lanna.

All right reserved

ISSN

Print: 2586-8500

Electronic: 2586-8632

Abstract

The aim of this paper to evaluate the inward and outward leakages of various types of surgical masks, fabric masks and respirators while wearing by observing the behavior of particle motion and the particle counting. Leak test with aerosol particles generated from Emery Oil. The particle size range is approximately 0.01 to 10 μm at a particle concentration of not less than 200 mg/m^3 . Using a test flow rate of approximately 6 L/min, the motion behavior of particles leaking out of the mask was observed by photographing and recording a video clip of approximately 10-15 seconds. The total inward leak assessment of masks was based on testing methods from OSHA Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134 with a test mannequin head, which selected a face shape according to the size of an Asian person for testing. Each sample was tested with normal inhalation and exhalation for 60 seconds. There were 8 mask samples in this test: 1) surgical masks 2) fabric masks 3) Varogard masks normal strap 4) Varogard masks with shorter straps (Extra fit) 5) cloth masks overlaid with masks 6) cloth masks overlaid. Varogard Mask 7) N95 Mask and 8) Mask KN95 Thailand. The results of the leak test of the mask while wearing revealed that there are 2 main leak points in the mask, which are the nose bridge and the cheek area. It was found that the inward leakage through the mask is about 43.50%, cloth mask about 62.80%, Varogard mask, normal strap (Comfort fit) about 29.59%, Varogard mask, short strap (Extra fit) about 23.45%, cloth mask overlapped with a mask, about 23.67% Fabric mask overlaid with Varogard mask approximately 13.44%, N95 mask approximately 0.91% and KN95 Thailand mask approximately 7.30. It was found that the fit factor of hygienic masks, fabric masks, Varogard masks, normal straps, Varogard masks, shorter straps 1.5 cm, fabric masks stacked with hygienic masks. Fabric masks overlaid with Varogard masks, N95 masks and KN95 Thailand masks approximately 2.30, 1.60, 3.38, 4.26, 4.22, 7.45, 110.22 and 13.69, respectively. The overall efficiency of masks, fabric masks, Varogard masks, normal strap, Varogard mask, shorter strap 1.5 cm, fabric mask stacked with masks Cloth masks overlap the Varogard mask and N95 mask approximately 53.83%, -9.52%, 69.30%, 75.21%, 75.11%, 85.79%, 98.69% and 92.27%, respectively.

Keywords: Particle Counting, Leakage Tester, Surgical Mask, Leakage, Filtration Efficiency

1. บทนำ

การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ในทุกภูมิภาคของโลกทำให้มีจำนวนผู้ป่วยสะสมสูงถึง 632,334,249 ราย และเสียชีวิตสะสมสูงถึง 6,599,916 ราย สำหรับประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อสะสม 4,692,448 ราย และเสียชีวิตสะสม 32,955 ราย ข้อมูล จากกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข Department of Disease Control (2022) ณ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2565 ซึ่งที่ผ่านมาทำให้มีความต้องการหน้ากากอนามัยประเภทใช้ครั้งเดียว (Disposable surgical masks) หน้ากากผ้า (Fabric masks) และหน้ากาก N95 (N95 masks) ใช้ป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโควิด-19 จากละอองฝอยหรือสารคัดหลั่งจากการไอจามและการดักจับละอองของเหลวและละอองลอยแบคทีเรียจากปากและจมูก Whiley *et al.* (2020) และจากสถานการณ์ในประเทศไทยเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2565 แพทย์เฉพาะทางด้านโรคระบบการหายใจ โรงพยาบาลวิชัยยุทธ Bangkokbiznews (2022) ได้รายงานว่าได้พบผู้ป่วยปอดติดเชื้อจากการหายใจสปอร์เชื้อราในเมล็ดข้าวโพด ซึ่งเกิดจากการทำงานอาชีพรับซื้อขายข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และขายปุ๋ยเคมีมาเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นว่าในการเลือกและการใช้หน้ากากจำเป็นต้องพิจารณาเลือกชนิดและระดับการป้องกันของหน้ากากให้เหมาะสมกับการใช้งานและระดับความเสี่ยง เลือกขนาดหน้ากากให้เหมาะสมกับใบหน้าเพื่อการสวมใส่ที่กระชับพอดีกับใบหน้า หน้ากากต้องมีมาตรฐานการผลิต เช่น ISO 13485 หมายถึง ระบบมาตรฐานการจัดการด้านคุณภาพซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ พัฒนา ผลิตและขาย เครื่องมือทางการแพทย์ ถ้าเป็นหน้ากากนำเข้าต้องผ่านการทดสอบตาม 42 CFR 84, KMOEL 2017-64, GB 2626-2019, EN149:2001 เป็นต้น มีเอกสารรับรองผลการทดสอบประสิทธิภาพจากห้องปฏิบัติการที่น่าเชื่อถือและรายละเอียดแสดงถึงประสิทธิภาพ เลือกซื้อจากร้านค้าที่เชื่อถือได้

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศถูกกำหนดโดย 2 ส่วนคือ 1) ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (Particle filtration efficiency) และ 2) ความพอดี (Fit) หรือการรั่ว (Leakage) โดยศูนย์ควบคุมโรคติดต่อสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control and Prevention; CDC) ได้มีคำแนะนำเกี่ยวกับการใส่หน้ากากเพื่อป้องกันการแพร่เชื้อโควิด-19 เกี่ยวกับการรั่วขณะสวมใส่หน้ากากมีความเสี่ยงในการติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ จากรายงานของ (Konda *et al.*, 2020; Aydin *et al.*, 2020) พบว่าการรั่วของหน้ากากในขณะหายใจเข้าทำให้ผู้ใช้มีความเสี่ยงในการติดเชื้อได้ และการรั่วขณะหายใจออกผู้ใช้ที่มีเชื้อทั้งแสดงและไม่แสดงอาการก็มีโอกาสแพร่เชื้อไปสู่ผู้อื่นผ่านอากาศที่หายใจออกได้ ดังนั้นหน้ากากสำหรับการใช้งานทางการแพทย์จำเป็นต้องมีการตรวจสอบการรั่วเข้ารวม (Total inward leakage ; TIL) ของหน้ากากขณะใส่ ตามมาตรฐาน EN149:2001 และ GB 2626-2019 ได้กำหนดให้ผู้ผลิตทดสอบการรั่วเข้ารวมของหน้ากากกรองอากาศแบบ FFP2 และ KN95 ต้องมีค่า TIL ไม่เกิน 8% ส่วนมาตรฐานหน้ากาก N95 ตาม 42 CFR 84 ของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติสหรัฐ (National Institute for Occupational Safety and Health ; NIOSH) และหน้ากากอนามัยตามมาตรฐาน ASTM F2100 ไม่ได้กำหนดให้ผู้ผลิตต้องทดสอบความพอดี (Fit test) หรือ TIL อย่างไรก็ตาม การทดสอบความพอดีหรือ TIL ของหน้ากาก N95 เป็นข้อกำหนดของบริษัทเองไม่ใช่สำหรับการรับรองของ NIOSH อย่างไรก็ตาม สำหรับการใช้งานเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration ; OSHA) จะเป็นผู้กำหนดค่าความพอดีสำหรับหน้ากาก N95 คือไม่ต่ำกว่า 100 หรือขณะใส่ต้องรั่วได้ไม่มากกว่า 1% ซึ่ง OSHA ถือว่าการทดสอบความพอดีหน้ากากเป็นการทดสอบเฉพาะบุคคล

ปัจจุบันได้มีการใช้งานหน้ากากอนามัยทางการแพทย์และหน้ากากกรองอากาศในการป้องกันเชื้อโควิด-19 และโรคติดต่อทางเดินหายใจหลากหลายแบบ เช่น หน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากากกรองอากาศ N95/KN95/KF94/FFP อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้หน้ากากเพื่อป้องกันเชื้อโควิดเกิดความกังวล ยังขาดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการรั่วเข้าของหน้ากากที่สวมใส่แต่ละแบบว่ามีการรั่วแตกต่างการอย่างไร ซึ่งรายงานการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพของหน้ากากส่วนใหญ่จะเป็นการรายงานผลประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (Sickbert-Bennett *et al.*, 2020; Dugdale and Walensky, 2020; Rengasamy *et al.*, 2010) ส่วนการรั่วเข้าของหน้ากากได้มีการรายงานแต่ยังไม่ครอบคลุมชนิดหน้ากากและ

ตรงกับการใช้งานของผู้ใช้งานในประเทศไทยปัจจุบันที่มีการใช้งานหน้ากากที่มีการใส่ซ้อนทับกันมากกว่า 1 ชั้นและมีการซ้อนทับด้วยหน้ากากที่ต่างชนิดกันเพื่อความมั่นใจในการป้องกัน ซึ่งในงานวิจัยของ Intra et al. (2021) ได้ประเมินการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากากและตัวซิลหน้ากาก โดยผลงานวิจัยได้รายงานเพียงค่าร้อยละการรั่วเท่านั้นไม่สามารถทราบได้ว่าการรั่วที่จุดได้ชัดเจน ดังนั้นการศึกษาการรั่วของหน้ากากด้วยวิธีการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเป็นวิธีที่ทำให้เข้าใจเรื่องของการรั่วของหน้ากากได้ดีขึ้นช่วยให้ทราบตำแหน่งที่รั่วชัดเจน วิธีการทดสอบไม่ซับซ้อนและมีราคาไม่สูง ไม่จำเป็นต้องทดสอบกับคนจริง ในการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอประเมินการรั่วเข้าและออกของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและหน้ากากกรองอากาศ N95/KN95 ขณะสวมใส่ด้วยวิธีการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคและการนับจำนวนอนุภาค เป็นประโยชน์สำหรับผู้ผลิตหน้ากากอนามัยในการปรับปรุงคุณภาพของหน้ากากและผู้ใช้หน้ากากในการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานและระดับความเสี่ยง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อประเมินการรั่วเข้าและออกขณะสวมใส่หน้ากากอนามัยชนิดต่างๆ ประกอบด้วย 1) หน้ากากอนามัย 2) หน้ากากผ้า 3) หน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit) 4) หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) 5) หน้ากากผ้าซ้อนทับหน้ากากอนามัย 6) หน้ากากผ้าซ้อนทับหน้ากาก Varogard 7) หน้ากาก N95 และ 8) หน้ากาก KN95 Thailand โดยการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคและการนับจำนวนอนุภาค

2.2 เพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้ให้หน้ากากในการพิจารณาเลือกใช้หน้ากากให้เหมาะสมกับการใช้งานและระดับความเสี่ยง

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากาก N95 จะถูกกำหนดโดย 2 ส่วน คือ ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (Particle Filtration efficiency) และความพอดี (Fit) หรือการรั่ว (Leakage) โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคบอกความสามารถของอนุภาคของหน้ากากในช่วงขนาดที่กำหนดได้ดีขนาดไหน ซึ่งรวมถึงไวรัส (Virus) และอนุภาคขนาดเล็กระดับซับไมครอน (Submicron particles) อื่นๆ ส่วนความพอดีหรือการรั่วในขณะสวมใส่บอกความสามารถในการป้องกันการรั่วของหน้ากากบริเวณใบหน้าได้ดีขนาดไหน โดยในงานวิจัยนี้ได้นำสมการต่างๆ มาใช้สำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

ประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศรวม (Total efficiency) η_{total} คำนวณได้จากสมการที่ 1 (Rengasamy et al., 2014; Rengasamy et al., 2018)

$$\eta_{total} = \eta_{filtration} - TIL \quad (1)$$

เมื่อ $\eta_{filtration}$ คือประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศ และ TIL คือการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศ และค่าประสิทธิภาพความพอดี (Fit efficiency; FTT) โดยปัจจัยความพอดีคำนวณได้จากสมการที่ 2 (Rengasamy et al., 2014; Rengasamy et al., 2018)

$$FTT = \frac{C_{outside}}{C_{inside}} \quad (2)$$

เมื่อ $C_{outside}$ คือค่าความเข้มข้นจำนวนอนุภาคภายนอกหน้ากากและ C_{inside} คือค่าความเข้มข้นจำนวนอนุภาคภายในหน้ากาก และคำนวณค่าประสิทธิภาพความพอดี η_{fit} จากสมการที่ 3 (Rengasamy et al., 2014; Rengasamy et al., 2018)

$$\eta_{fit} = \frac{c_{outside} - c_{inside}}{c_{outside}} \times 100 \quad (3)$$

และการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศหาได้จากสมการที่ 4 (Rengasamy *et al.*, 2014; Rengasamy *et al.*, 2018)

$$TIL = 100 - \eta_{fit} \quad (4)$$

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ได้มีการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ

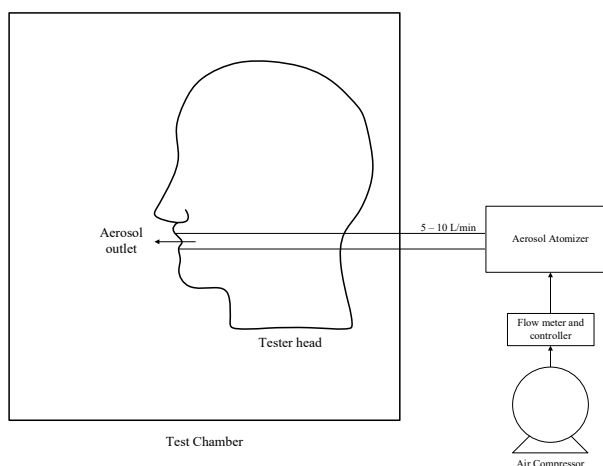
การทดสอบที่ 1 ประเมินการรั่วออกของหน้ากากขณะสวมใส่ด้วยการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยกับหัวหุ่นทดสอบซึ่งมีโครงหน้าตามขนาดของคนเอเชียกับหน้ากากตามกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจำนวน 8 ตัวอย่าง คือ 1) หน้ากากอนามัย 2) หน้ากากผ้า 3) หน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit) 4) หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) 5) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย 6) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard 7) หน้ากาก N95 และ 8) หน้ากาก KN95 Thailand

การทดสอบที่ 2 ประเมินการรั่วเข้าของหน้ากากจำนวน 8 ตัวอย่างด้วยการนับจำนวนอนุภาค โดยใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (Condensation Particle Counters) (Model 3788, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบจาก OSHA Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134 ซึ่งประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความพอดีหรือการรั่วเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากกรองอากาศรวม โดยประสิทธิภาพการกรองอนุภาคบอกความสามารถกรองอนุภาคของหน้ากากในช่วงขนาดที่กำหนดซึ่งรวมถึงไวรัส (Virus) และอนุภาคขนาดเล็กระดับซับไมครอน (Submicron particles) อื่นๆ ส่วนความพอดีหรือการรั่วในขณะสวมใส่บอกความสามารถป้องกันการรั่วของหน้ากากบริเวณใบหน้า

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือสำหรับงานวิจัยแบ่งเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

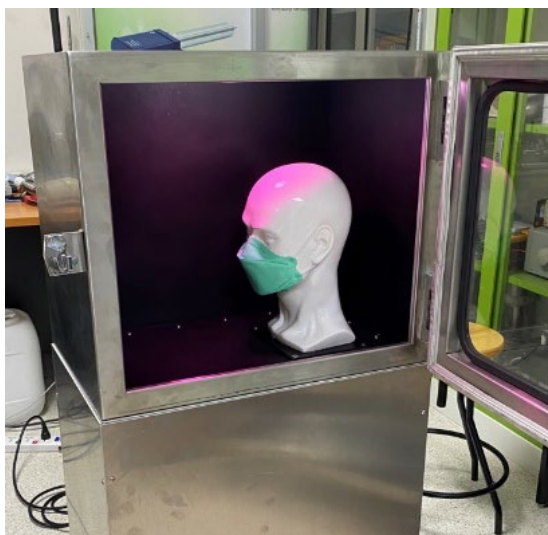
1. การทดสอบประเมินการรั่วออกของหน้ากากขณะสวมใส่ด้วยวิธีการสังเกตพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอนุภาค

รูปที่ 1 แผนภาพชุดทดสอบการรั่วออกของหน้ากากขณะสวมใส่ สามารถทดสอบการรั่วของหน้ากากอนามัย หน้ากาก N95/KN95 และหน้ากากผ้าขณะสวมใส่โดยวิธีการสังเกตการรั่วไหลออกด้วยตาเปล่าจากรูปแบบการเคลื่อนที่ของอนุภาคอนุภาคละอองลอย โดยชุดทดสอบประกอบด้วย แหล่งกำเนิดอนุภาคละอองลอย ห้องทดสอบ ตัวอัดอากาศ ตัววัดอัตราการไหล และหัวหุ่นทดสอบมีรูปโครงหน้าตามขนาดของคนเอเชียสามารถกำเนิดอนุภาค PSL, NaCl, Emery Oil ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 ไมครอน ในช่วงความเข้มข้นของอนุภาค 0.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถปรับอัตราการไหลอนุภาคทดสอบได้ในช่วง 5-10 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 1 แผนภาพชุดทดสอบการรั่วของหน้ากากขณะสวมใส่

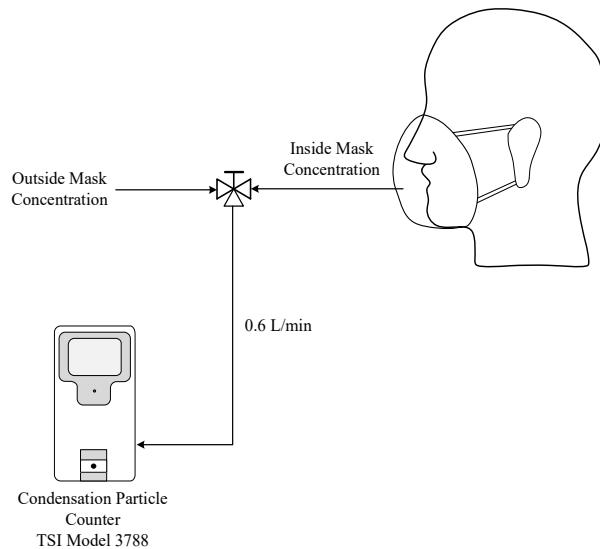
รูปที่ 2 ภาพถ่ายชุดทดสอบการรั่วของหน้ากากขณะสวมใส่ การทำงานของเครื่องเริ่มต้นโดยการใส่หน้ากากตัวอย่างที่หัวหุ่นทดสอบให้กระชับจากนั้นทำการจ่ายอนุภาคละอองลอยที่สร้างจาก Emery Oil ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 ไมครอน ที่ความเข้มข้นของอนุภาคไม่ต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้อัตราการไหลทดสอบประมาณ 6 ลิตรต่อนาที ซึ่งเทียบเท่ากับอัตราการไหลของการหายใจปกติของมนุษย์ขณะพัก



รูปที่ 2 ภาพถ่ายชุดทดสอบการรั่วของหน้ากากขณะสวมใส่

2. การประเมินการรั่วเข้าของหน้ากากด้วยการนับจำนวนอนุภาค

รูปที่ 3 แผนภาพการประเมินการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากาก โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบจาก OSHA Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134 กับหัวหุ่นทดสอบซึ่งได้เลือกรูปโครงหน้าตามขนาดของคนเอเชียมาใช้สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 3 แผนภาพการประเมินการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากากและตัวซิลหน้ากาก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (Condensation Particle Counters) (Model 3788, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) ในการนับความเข้มข้นเชิงจำนวนอนุภาคภายในและภายนอกหน้ากากที่อัตราการไหล 1.5 ลิตรต่อนาที เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่นเป็นเครื่องนับจำนวนอนุภาคที่ใช้หลักการทางแสง (Optical technique) สามารถนับจำนวนอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 2.5 นาโนเมตร ถึง 3 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นจำนวนสูงสุด 400,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเวลาการตอบสนอง 0.8 วินาที โดยเครื่องมือนี้ได้มีการสอบเทียบ (Calibration) ประจำปีจากบริษัท TSI Inc., St. Paul, MN, USA (Serial Number: 3788180801) โดยทดสอบกับค่า Concentration Reference เท่ากับ $y=0.9845x-396.26$ และ Capillary flow rate ที่ $y=0.8342x+2159.2$ ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) $R^2 = 0.9999$

4.2 วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดสอบที่ 1 การทดสอบประเมินการรั่วออกของหน้ากากขณะสวมใส่ด้วยวิธีการสังเกตพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอนุภาค ในการวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างที่หัวหุ่นทดสอบจากเครื่องที่ชุดทดสอบการรั่วของหน้ากาก ซึ่งได้เลือกรูปโครงหน้าตามขนาดของคนเอเชียมาใช้สำหรับการทดสอบโดยการสังเกตพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอนุภาคที่รั่วออกจากหน้ากากด้วยวิธีการถ่ายภาพและถ่ายวิดีโอเป็นเวลา 10-15 วินาที จะทำให้เห็นจุดหรือตำแหน่งของการรั่วของหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่าง ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

การทดสอบที่ 2 การประเมินการรั่วเข้าของหน้ากากด้วยการนับจำนวนอนุภาค โดยได้ใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (Condensation Particle Counters) (Model 3788, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) ในการนับความเข้มข้นเชิงจำนวนอนุภาคภายในและภายนอกหน้ากากที่อัตราการไหล 1.5 ลิตรต่อนาที ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการขนาด 3×3 เมตร ที่มีการควบคุมปริมาณอนุภาคละอองลอยในอากาศให้คงที่โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดสอบโดยการหายใจเข้าและออกปกติเป็นเวลา 60 วินาที และทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ 3 การทดสอบ ทำการทดสอบความเข้มข้นเชิงจำนวนอนุภาคภายในและภายนอกหน้ากากใช้คำนวณหาค่าปัจจัยความพอดี (Fit factor)

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดสอบที่ 1 การทดสอบการรั่วของหน้ากากขณะสวมใส่ ทำการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่รั่วออกจากหน้ากากด้วยการถ่ายภาพและถ่ายวิดีโอเป็นเวลา 10-15 วินาที เพื่อจะให้ได้จุดตำแหน่งของการรั่วของหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่าง

ในการทดสอบที่ 2 หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้ครบตามจำนวนตัวอย่างที่ต้องการไปวิเคราะห์ โดยจะทำการหาค่าประสิทธิภาพรวมของหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่าง จากสมการที่ (1) คือ $\eta_{total} = \eta_{filtration} - TIL$ ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากกับการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากาก โดยมีค่าเป็นร้อยละ จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่า

ปัจจัยความพอดีจากสมการที่ (2) คือ $FTT = \frac{C_{outside}}{C_{inside}}$ ซึ่งเป็นสัดส่วนของค่าความเข้มข้น

จำนวนอนุภาคภายนอกหน้ากากต่อค่าความเข้มข้นจำนวนอนุภาคภายในหน้ากาก โดยจะไม่มีหน่วยแสดง เมื่อได้ค่าแล้วจึงทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพความพอดีของหน้ากากจาก

สมการที่ (3) คือ $\eta_{fit} = \frac{C_{outside} - C_{inside}}{C_{outside}} \times 100$ ซึ่งเป็นการนำค่าของสัดส่วนของค่าความ

เข้มข้นจำนวนอนุภาคภายนอกหน้ากากต่อค่าความเข้มข้นจำนวนอนุภาคภายในหน้ากาก มาทำการหาค่าร้อยละ และนำค่าประสิทธิภาพความพอดีของหน้ากากที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าการรั่วเข้าด้านในรวมของของหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่าง จากสมการที่ (4) คือ $TIL = 100 - \eta_{fit}$ โดยผลที่ได้มีค่าเป็นร้อยละ จากนั้นนำผลของการคำนวณที่ได้ทั้งหมดทำการบันทึกผลโดยแสดงในรูปแบบของตาราง

5. ผลการวิจัย

รูปที่ 4 ภาพถ่ายลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่างที่ประกอบด้วย 1) หน้ากากอนามัย 2) หน้ากากผ้า 3) หน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit) 4) หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) 5) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย 6) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard 7) หน้ากาก N95 และ 8) หน้ากาก KN95 Thailand ตามลำดับ



(ก) หน้ากากอนามัย



(จ) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย



(ข) หน้ากากผ้า



(ฉ) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard



(ค) หน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit)



(ช) หน้ากาก N95



(ง) หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit)



(ซ) หน้ากาก KN95 Thailand

รูปที่ 4 ภาพถ่ายลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มข้นภายนอกและภายในของหน้ากาก การรั่วไหลภายในทั้งหมด ความพอดี ประสิทธิภาพการกรอง และประสิทธิภาพรวมของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าและ หน้ากากกรองอากาศทั้ง 8 แบบ คือ 1) หน้ากากอนามัย 2) หน้ากากผ้า 3) หน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit) 4) หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) 5) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย 6) หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard 7) หน้ากาก N95 และ 8) หน้ากาก KN95 Thailand ในการวิจัยนี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค ของหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่างด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM International (2019) ASTM F2100 และมาตรฐาน 42 CFR 84 (Intra, 2021a; 2021b) เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้น ภายนอกและภายในของหน้ากาก สำหรับนำมาใช้วิเคราะห์ผลทดสอบแสดงตามตารางที่ 1 ซึ่ง ผลจากการคำนวณ พบว่าการรั่วเข้าด้านในรวมผ่านหน้ากากอนามัยร้อยละ 43.50 หน้ากากผ้า ร้อยละ 62.80 หน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit) ร้อยละ 29.59 หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) ร้อยละ 23.45 หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัยร้อยละ 23.67 หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard ร้อยละ 13.44 หน้ากาก N95 ร้อยละ 0.91 และ หน้ากาก KN95 Thailand ร้อยละ 7.30 พบว่าความพอดีของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า หน้ากาก Varogard สายปกติ หน้ากาก Varogard สายสั้นลง หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก อนามัย หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard หน้ากาก N95 และ หน้ากาก KN95 Thailand เท่ากับ 2.30, 1.60, 3.38, 4.26, 4.22, 7.45, 110.22 และ 13.69 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นภายนอกและภายในของหน้ากาก การรั่วไหลภายในทั้งหมด ความพอดี ประสิทธิภาพการกรอง และ ประสิทธิภาพรวมของหน้ากากทั้ง 8 ตัวอย่าง

ลำดับ	ชนิด	ความเข้มข้น ภายนอก ของหน้ากาก (อนุภาคต่อ ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	ความเข้มข้น ภายใน ของหน้ากาก (อนุภาคต่อ ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	การรั่วไหล ภายใน ทั้งหมด (ร้อยละ)	ความพอดี	ประสิทธิภาพ การกรอง (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพ รวม (ร้อยละ)
1	หน้ากากอนามัย	2060.00	896.00	43.50	2.30	97.33	53.83
2	หน้ากากผ้า	2070.00	1300.00	62.80	1.60	53.28	-9.52
3	หน้ากากVarogard สายปกติ (Comfort fit)	7604.00	2250.00	29.59	3.38	98.89	69.30
4	หน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit)	7640.00	1792.00	23.45	4.26	98.66	75.21
5	หน้ากากผ้าซ้อนกับ หน้ากากอนามัย	2110.00	500.00	23.67	4.22	98.78	75.11
6	หน้ากากผ้าซ้อนกับ หน้ากาก Varogard	7572.00	1017.40	13.44	7.45	99.23	85.79
7	หน้ากาก N95	2050.00	18.60	0.91	110.22	99.60	98.69
8	หน้ากาก KN95 Thailand	2041.00	149.00	7.30	13.69	98.57	92.27

จากผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัยร้อยละ 97.33 หน้ากากผ้าร้อยละ 53.28 หน้ากาก Varogard สายปกติร้อยละ 98.89 หน้ากาก Varogard สายสั้นลง 1.5 เซนติเมตร ร้อยละ 98.66 หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัยร้อยละ 98.78 หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard ร้อยละ 99.23 หน้ากาก N95 ร้อยละ 99.60 และ หน้ากาก KN95 Thailand ร้อยละ 98.57 โดยประสิทธิภาพรวมที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) ของหน้ากากอนามัย, หน้ากากผ้า, หน้ากาก Varogard สายปกติ, หน้ากาก Varogard สายสั้นลง, หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัย, หน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard หน้ากาก N95 และ หน้ากาก KN95 Thailand ร้อยละ 53.83, -9.52, 69.30, 75.21, 75.11, 85.79, 98.69 และ 92.27 ตามลำดับ โดยจะพบว่าค่าประสิทธิภาพรวมจะมีผลร้อยละที่เป็นบวกและร้อยละที่เป็นลบ ซึ่งผลร้อยละที่เป็นบวกเป็นดั่งบ่งชี้ให้ทราบว่าการสวมใส่หน้ากากได้เหมาะสมมีการรั่วน้อย และผลร้อยละที่เป็นลบจะเป็นดั่งบ่งชี้ให้ทราบว่าการสวมใส่หน้ากากไม่เหมาะสมกับใบหน้าจึงมีการรั่วมาก

6. การอภิปรายผล

จากผลการทดสอบรูปที่ 4 (ก) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากากอนามัยจากรูปสังเกตเห็นได้ชัดว่ามีการรั่วสูงบริเวณแถบดั่งจุกและตรงข้างแก้มทั้งซ้ายและขวาเนื่องจากรูปทรงของหน้ากากอนามัยไม่ได้ออกแบบมาให้กระชับพอดีกับใบหน้าจึงทำให้มีจุดที่ไม่แนบสนิทกับใบหน้าบริเวณดั่งจุกและข้างแก้มจึงทำให้เกิดการรั่วสูงได้ รูปที่ 4 (ข) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากากผ้าจากรูปสังเกตเห็นชัดเจนถึงการรั่วสูงบริเวณดั่งจุกแต่เมื่อเทียบกับหน้ากากอนามัยแล้ว หน้ากากผ้าจะมีการรั่วบริเวณข้างแก้มน้อยกว่าหน้ากากอนามัยเนื่องจากมีการออกแบบให้มีความกระชับกับใบหน้ามากกว่า รูปที่ 4 (ค) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากาก Varogard สายปกติ (Comfort fit) จากรูปสังเกตเห็นได้ชัดว่ามีการรั่วบริเวณแถบดั่งจุกและตรงข้างแก้มทั้งซ้ายและขวาเมื่อเทียบกับหน้ากากอนามัยแล้วยังถือว่าการรั่วที่ต่ำกว่าทั้งสองบริเวณเนื่องจากหน้ากาก Varogard สายปกติมีการออกแบบให้มีความกระชับกับใบหน้ามากกว่าหน้ากากอนามัย รูปที่ 4 (ง) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากาก Varogard สายสั้นลง (Extra fit) จากรูปสังเกตเห็นได้ชัดว่ามีการรั่วส่วนหนึ่งบริเวณแถบดั่งจุกเท่านั้นซึ่งแสดงว่าเมื่อมีการปรับแต่งสายคล้องหูหรืออาจทำให้เป็นสายคล้องศีรษะให้สามารถรัดได้แน่นขึ้นเพื่อให้กระชับพอดีกับใบหน้าบริเวณดั่งจุก คางและแก้มมากขึ้นจึงทำให้เกิดการรั่วไหลออกต่ำกว่าสายแบบปกติ รูปที่ 4 (จ) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัยจากรูปสังเกตเห็นได้ชัดว่ามีการรั่วส่วนหนึ่งบริเวณแถบดั่งจุกเท่านั้น ส่วนรูปที่ 4 (ฉ) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากาก Varogard ซึ่งทำให้เห็นการรั่วออกของอนุภาคละอองลอยบริเวณดั่งจุกส่วนหนึ่งซึ่งคล้ายกับการนำหน้ากากผ้าซ้อนกับหน้ากากอนามัยเนื่องจากการซ้อนกับหน้ากากยังทำให้หน้ากากมีความกระชับพอดีกับใบหน้ามากขึ้นจึงทำให้ค่าการรั่วโดยรวมต่ำลงและมีความกระชับพอดีขึ้น รูปที่ 4 (ซ) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากาก N95 และรูปที่ 4 (ฅ) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยรั่วออกจากหน้ากาก KN95 Thailand จากรูปจะเห็นการรั่วไหลออกของอนุภาคส่วนน้อยในบริเวณดั่งจุก จากผลการทดลองในรูปที่ 4 จะสังเกตเห็นจุดรั่วหลักของหน้ากาก 2 จุดคือบริเวณดั่งจุกและแก้มซึ่งบริเวณข้างแก้มสามารถแก้ไขได้โดยการปรับแต่งสายให้สามารถรัดได้แน่นและกระชับพอดีขึ้นหรือการใช้สายแบบรัดศีรษะจะช่วยให้มีความกระชับพอดีในขณะที่สวมใส่ช่วยลดการรั่วเข้าหรือออกขณะสวมใส่ได้ ส่วนการรั่วบริเวณดั่งจุกสามารถแก้ไขได้โดยใช้วัสดุประเภทโฟมหรือฟองน้ำที่มีความพรุนต่ำพรุนเล็กติดเสริมบริเวณแถบดั่งจุกจะช่วยให้น้ำหนักแนบสนิทกับใบหน้าบริเวณดั่งจุกและร่องแก้มมากขึ้นทำให้การรั่วต่ำลงได้

จากผลการทดสอบในตารางที่ 1 มีความสอดคล้องกับผลการทดลองการสังเกตพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยในรูปที่ 4 และทำให้ทราบว่า การนำเอาหน้ากากมาซ้อนทับกันทำให้มีค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคสูงขึ้นเนื่องจากวัสดุกรองมีความหนาเพิ่มขึ้นและการซ้อนทับหน้ากากยังทำให้หน้ากากมีความกระชับพอดีกับใบหน้ามากขึ้นจึงทำให้ค่าการรั่วโดยรวมและความกระชับพอดีมีค่าดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การนำเอาหน้ากากมา

ซ้อนทับกันทำให้มีการระบายความร้อนและไอน้ำไม่ดีเนื่องจากมีความหนาเพิ่มขึ้นทำให้ระบายความร้อนและไอน้ำภายในหน้ากากไม่ดี มีการซึมผ่านของอากาศต่ำทำให้รู้สึกอึดอัดหายใจไม่สะดวก ซึ่งการซึมผ่านของอากาศผ่านวัสดุกรองต่ำนั้น ทำให้ลมหายใจและละอองฝอยมีโอกาสรั่วซึมตามขอบหน้ากากได้ เนื่องจากมีค่าความต่างของความดันที่สูงขึ้นจึงทำให้อากาศไหลผ่านแผ่นกรองได้ยากขึ้นขณะหายใจเข้าและออก โดยการลดการรั่วเข้าของหน้ากากสามารถทำได้โดยการปรับปรุงหรือปรับแต่งสายคล้องหูหรืออาจทำให้เป็นสายคล้องศีรษะให้สามารถรัดได้แน่นขึ้นเพื่อให้กระชับพอดีกับใบหน้าบริเวณดั้งจมูก คางและแก้มมากขึ้น และควรมีการทดสอบความพอดีกับใบหน้ารายบุคคลก่อนใช้งานเพื่อที่จะได้ทราบถึงค่าการรั่วเข้ารวมของหน้ากากที่ใช้ โดยจุดเด่นของผลงานวิจัยนี้สามารถบอกได้ทั้งจุดรั่วและเปอร์เซ็นต์การรั่วของหน้ากากได้ โดยข้อมูลที่ได้จากเครื่องนี้เป็นประโยชน์สำหรับผู้ผลิตในการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของการผลิตหน้ากากและผู้ใช้หน้ากากในการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานและระดับความเสี่ยงได้ ทั้งนี้ในปัจจุบันคณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการประกอบอาชีพ Occupational Safety and Health Administration (2006) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดค่ามาตรฐานของปัจจัยความพอดีมีค่าเท่ากับ 100 สำหรับหน้ากาก N95 และหน้ากาก Half-face และค่าปัจจัยความพอดีเท่ากับ 500 สำหรับหน้ากาก Full-face ตาม OSHA Respiratory Protection Standard 29CFR1910.134 ประกาศเมื่อวันที่ 8 มกราคม ค.ศ.1998 นอกจากนี้ทางมาตรฐาน Testex (2009) GB2626-2019 และ มาตรฐาน KMOEL-2017-64 จากประเทศเกาหลี ได้กำหนดให้การรั่วเข้าด้านในรวมผ่านหน้ากาก KN95 และ KF94 ต้องไม่เกิน 8% สำหรับการใช้งานทั่วไป

7. บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประเมินการรั่วของหน้ากากอนามัยชนิดต่างๆ ขณะสวมใส่ด้วยการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคและการนับจำนวนอนุภาค จำนวน 8 ตัวอย่าง โดยมีการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ การทดสอบที่ 1 ประเมินการรั่วออกของหน้ากากขณะสวมใส่ด้วยการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคละอองลอยกับหัวหุ่นทดสอบซึ่งมีโครงหน้าตามขนาดของคนไทย การทดสอบที่ 2 ประเมินการรั่วเข้าของหน้ากากด้วยการนับจำนวนอนุภาค โดยใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (Condensation Particle Counters) (Model 3788, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบจาก OSHA Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134 กับหัวหุ่นทดสอบซึ่งมีโครงหน้าตามขนาดของคนไทยจะทำการทดสอบการหายใจเข้าและออกปกติเป็นเวลา 60 วินาที จากการทดสอบที่ 1 พบว่าการรั่วไหลออกของอนุภาคจากหน้ากากมีจุดรั่วหลัก 2 จุดชัดเจน คือบริเวณดั้งจมูกและบริเวณข้างแก้ม ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ 2 ของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า หน้ากาก Varogard สายปกติ หน้ากาก Varogard สายสั้นลง หน้ากากผ้าซ้อนทับหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้าซ้อนทับหน้ากาก Varogard หน้ากาก N95 และหน้ากาก KN95 Thailand พบว่าการรั่วเข้าด้านในรวมร้อยละ 43.50, 62.80, 29.59, 23.45, 23.67, 13.44, 0.91 และ 7.30 ตามลำดับ พบว่าความพอดีของหน้ากากเท่ากับ 2.30, 1.60, 3.38, 4.26, 4.22, 7.45, 110.22 และ 13.69 ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพรวมของหน้ากาก ร้อยละ 53.83, -9.52, 69.30, 75.21, 75.11, 85.79, 98.69 และ 92.27 ตามลำดับ โดยจะพบว่าค่าประสิทธิภาพรวมจะมีผลร้อยละที่เป็นบวกและร้อยละที่เป็นลบ ซึ่งผลร้อยละที่เป็นบวกเป็นดั่งบ่งชี้ให้ทราบว่าการสวมใส่หน้ากากได้เหมาะสมมีการรั่วน้อย และผลร้อยละที่เป็นลบจะเป็นดั่งบ่งชี้ให้ทราบว่าการสวมใส่หน้ากากไม่เหมาะสมกับใบหน้าจึงมีการรั่วมาก ซึ่งผลทดสอบมีความสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Asanavijit and Intra (2022) เกี่ยวกับการประเมินการรั่วเข้าด้านในรวมของหน้ากากและตัวซิลหน้ากาก และผลทดสอบงานวิจัยเครื่องทดสอบแผ่นกรองอัตโนมัติที่ใช้ตัวนับอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากากอนามัยและหน้ากาก N95 ข้อมูลจากการทดลองนี้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้บริโภคในการเลือกใช้หน้ากากแต่ละแบบให้เหมาะกับระดับการป้องกันต่อไปได้

สำหรับข้อเสนอแนะจากกรมอนามัย การสวมหน้ากากเพียงชั้นเดียวที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการป้องกันโควิด-19 หากสวมอย่างถูกวิธี โดยไม่จำเป็นต้องสวมทับสองชั้นแต่ต้องสวมให้แนบกระชับกับใบหน้า สำหรับหน้ากากผ้าควรเป็นชนิดที่เย็บสองชั้นขึ้นไป และควร

เปลี่ยนหน้ากาก ทุกๆ 6-8 ชั่วโมง หากหน้ากากเปียกชื้น สกปรก หรือเมื่อออกจากสถานที่แออัด กรณีต้องเดินทาง โดยขนส่งสาธารณะที่ไม่สามารถดำเนินการเว้นระยะห่าง หรือการระบายอากาศไม่ดี ควรสวมหน้ากากตลอดเวลา ลดการพูดคุย จดกินอาหารและเครื่องดื่ม ขณะเดินทาง ร่วมกับการปฏิบัติให้มีสุขอนามัยที่ดี เช่น ล้างมือด้วยเจลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ และเปลี่ยนหน้ากากทันทีเมื่อออกจากสถานที่นั้นๆ นอกจากนี้ในปัจจุบัน ยังไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ว่าการสวมใส่หน้ากากซ้อนทับสองชั้นจะได้ประโยชน์เมื่อเทียบกับข้อด้อยที่เกิดขึ้น เช่น ทำให้รู้สึกอึดอัดมากขึ้น หายใจไม่สะดวก และมีโอกาสสัมผัสใบหน้าได้มากขึ้น ข้อมูลจากการทดลองนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ใช้และผู้สนใจในการเลือกหน้ากากแต่ละแบบให้เหมาะกับระดับการป้องกัน

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย ขอขอบคุณหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบ และผู้วิจัยขออุทิศส่วนบุญส่วนกุศลจากผลงานวิจัยนี้ให้กับนางเฮีย กันต๊ะ ผู้ล่วงลับ

9. เอกสารอ้างอิง

- Department of Disease Control. 2022. COVID-19 situation report. Available Source: <https://covid19.ddc.moph.go.th/>, November 7, 2022. (in Thai).
- Whiley, H. Keerthirathne, T.P. Nisar, M.A. White, M.A.F and Ross. K.E. 2020. Viral Filtration Efficiency of Fabric Masks Compared with Surgical and N95 Masks. *Pathogens*. 9(9):762-769.
- Bangkokbiznews. 2022. Health News "Doctor Manu" warns of lung infection from breathing fungal spores in corn kernels. Available Source: <https://www.bangkokbiznews.com/health/well-being/1034729>, October 28, 2022. (in Thai).
- Konda, A. Prakash, A. Moss, G.A. Schmoldt, M. Grant, G.D and Guha. S. 2020. Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. *ACS Nano*. 14(5): 6339-6347.
- Aydin, O. Emon, B. Cheng, S. Hong, L. Chamorro, L. P and Saif. M. T. A. 2020. Performance of Fabrics for Home-made Masks Against the Spread of COVID-19 through Droplets: A Quantitative Mechanistic Study. *Extreme Mechanics Letters*. 40:100924.
- Sickbert-Bennett, E.E. Samet, J.M. Clapp, P.W. Chen, H. Berntsen, J. Zeman, K.L. Tong, H. Bennett, D.J and Bennett. W.D. 2020. Filtration Efficiency of Hospital Face Mask Alternatives Available for Use During the COVID-19 Pandemic. *JAMA Internal Medicine*. 180(12): 1607-1612.
- Dugdale, C.M and Walensky. R.P. 2020. Filtration Efficiency, Effectiveness, and Availability of N95 Face Masks for COVID-19 Prevention. *JAMA Internal Medicine*. 180(12): 1612-1613.
- Rengasamy, S. Eimer, B and Shaffer. R.E. 2010. Simple Respiratory Protection Evaluation of the Filtration Performance of Cloth Masks and Common Fabric Materials Against 20-1000 nm Size Particles. *The Annals of Occupational Hygiene*. 54(7): 789-798.
- Intra, P. Asanavijit, V and Rattanachan. W. 2021. Assessment of the Total Inward Leakage Through Face Masks and Mask Sealers. *Vajira Nursing Journal*. 23(2): 1-13. (in Thai). Retrieved from <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/vnj/article/view/254276>.

- Rengasamy, S. Walbert, G.F. Newcomb, W.E. Faulkner, K. Rengasamy, MM. Brannen, JJ and Szalajda. JV. 2014. Total inward leakage measurement of particulates for N95 filtering facepiece respirators--a comparison study. *Ann Occup Hyg*.58(2):206-216.
- Rengasamy, S. Zhuang, Z. Niezgoda, G. Walbert, G. Lawrence, R. Boutin, B. Hudnall, J. Monaghan, WP. Bergman, M. Miller, C. Harris, J and Coffey. C. 2018. A comparison of total inward leakage measured using sodium chloride (NaCl) and corn oil aerosol methods for air-purifying respirators. *J Occup Environ Hyg*. 15(8): 616-627.
- ASTM F2100-19e1. 2019. Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks. ASTM International. West Conshohocken. PA.
- Intra, P. 2021a. Filtration Efficiency of Surgical Masks, Fabric Masks and N95 /KN95 /FFP1/FFP2 Masks Available for Use during the COVID-19 Pandemic in Thailand. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*. 29(5): 904-918. (in Thai).
- Intra, P. 2021b. Evaluation of the filtration efficiency of common fabric materials against 0.3 μm size particle. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*. 29(6): 1056-1071. (in Thai).
- Occupational Safety and Health Standards. 2006. Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134. Available Source: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>
- Testex. Protective Face Masks. 2009. GB 2626-2019 and EN 149:2001 +A1: 2009, Standards Comparison. Available Source: <https://www.testextextile.com/protective-face-masks-gb-2626-2019-and-en-149-2001-a1-2009-standards-comparison/>.
- Asanavijit, V and Intra. P. 2022. An Automated Filter Tester Based on an Electrostatic Particle Counter for Testing the Particle Filtration Efficiency of Surgical Masks and N95 Masks. *Ladkrabang Engineering Journal*, 39(3): 147-166. (in Thai).