

การศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของ หน้ากาก N95 เพื่อการใช้ซ้ำ

กัญญารัตน์ นิธิ ปริยานุช สุตงาม และ พรเทพ จันทร์คุณภาส
สำนักวิจัยและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ถนนพหลโยธิน 11000

บทคัดย่อ การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจ เช่น ไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ โรคอุบัติใหม่ และโรคอุบัติซ้ำ ร่วมกับมลพิษจากฝุ่น PM_{2.5} ส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลนหน้ากาก N95 งานวิจัยนี้ศึกษาขีดจำกัดการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ โดยสุ่มตัวอย่างหน้ากากที่ได้รับความนิยมทั้งรุ่นที่มีลิ้นระบายอากาศ (8210V และ DD02V-N95-2K) และไม่มีลิ้นระบายอากาศ (8110s และ 9105) ฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี ได้แก่ การฉายรังสียูวีซี ความยาวคลื่น 254 nm ความเข้มแสง ไม่น้อยกว่า 400 mW/m² ด้านละ 20 นาที การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 °C เวลา 30 นาที การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60±5 °C เวลา 30 นาที และการแช่น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 10 นาที ประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคตามวิธี 42 CFR 84 ซึ่งกำหนดให้ต้องมีประสิทธิภาพการกรองไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 และทดสอบความกระชับกับใบหน้าตามวิธี 29 CFR 1910.134 โดยกำหนดให้อัตราการรั่วไหลภายในหน้ากากต้องไม่เกินร้อยละ 5 พบว่าการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีซีมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าผ่านเกณฑ์มาตรฐานตลอดการฆ่าเชื้อ 20 รอบ ขณะที่การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคผ่านเกณฑ์ตลอดการฆ่าเชื้อ 20 รอบ แต่ความกระชับกับใบหน้าไม่ผ่านเกณฑ์หลังฆ่าเชื้อ 13 รอบ การแช่น้ำร้อนและน้ำเดือดทำให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าไม่ผ่านเกณฑ์หลังฆ่าเชื้อเพียง 6 และ 4 รอบ ตามลำดับ ดังนั้นการฉายรังสียูวีซีเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากาก

คำสำคัญ: ขีดจำกัดในการใช้ซ้ำ, หน้ากาก N95, การฆ่าเชื้อ, ประสิทธิภาพการกรอง

Corresponding author E-mail: Kanyarat.n@dmsc.mail.go.th

Received: 9 February 2026

Revised: 11 June 2026

Accepted: 15 June 2026

บทนำ

โรคติดเชื้อทางเดินหายใจตามฤดูกาลเป็นปัญหาสาธารณสุขที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีการระบาดซ้ำทุกปี และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรและทรัพยากรทางการแพทย์⁽¹⁾ ในช่วงฤดูฝนของประเทศไทยพบการระบาดของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะโรคไข้หวัดใหญ่ (influenza: flu) โรคติดเชื้อไวรัสซิกาเชื้อระบบทางเดินหายใจ (respiratory syncytial virus infection: RSV infection) โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (coronavirus disease 2019: COVID-19) และโรคทางเดินหายใจอื่นๆ ซึ่งสามารถติดต่อผ่านละอองฝอยจากการไอหรือจาม ส่งผลให้จำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กเล็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว⁽²⁾ นอกจากนี้ในช่วงฤดูหนาวและช่วงเปลี่ยนฤดู ปัญหามลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก (particulate matter with an aerodynamic diameter $\leq 2.5 \mu\text{m}$: PM2.5) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจมีความไวต่อการติดเชื้อและเกิดอาการรุนแรงได้ง่ายขึ้น ภาวะเหล่านี้ส่งผลให้ความต้องการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (personal protective equipment: PPE) โดยเฉพาะหน้ากาก N95 เพิ่มขึ้น⁽³⁾

หน้ากาก N95 (N95 respirator) เป็นหน้ากากกรองอากาศประเภทใช้แล้วทิ้งชนิดหนึ่งตามมาตรฐานคุณภาพการกรองจากสถาบันความปลอดภัยและอนามัยในการทำงานแห่งชาติ (The National Institute of Occupational Safety and Health: NIOSH) ของประเทศสหรัฐอเมริกา⁽⁴⁾ สามารถจำแนกตามลักษณะรูปทรงได้หลากหลายแบบ เช่น แบบทรงถ้วย (cup-shaped type) แบบพับ (flat-fold type) แบบสามพับ (three-panel flat-fold type) และแบบปากเป็ด (duckbill type) ซึ่งหน้ากากแต่ละรูปทรงมีจุดเด่นที่ตอบโจทย์การใช้งานต่างกัน⁽⁵⁾ โดยหน้ากากแบบทรงถ้วยมีโครงสร้างที่แข็งแรงและคงรูปได้ดีกว่าหน้ากากแบบพับ เนื่องจากมีโครงสร้างตาข่ายพลาสติกช่วยพยุงตัวหน้ากาก ขณะที่หน้ากากแบบพับมีความยืดหยุ่นและสะดวกต่อการพกพา อีกทั้งสามารถให้ความสบายในการสวมใส่มากกว่าหน้ากากแบบทรงถ้วย

เนื่องจากมีแรงกดทับบริเวณใบหน้าน้อยกว่า⁽⁶⁾ สำหรับหน้ากากแบบสามพับมีความกระชับกับใบหน้าและความสบายในการสวมใส่มากกว่าหน้ากากแบบทรงถ้วยและแบบพับ เนื่องจากสามารถปรับเข้ากับรูปหน้าได้ดี⁽⁷⁾ ส่วนหน้ากากแบบปากเป็ดเป็นหน้ากากที่มีพื้นที่ภายในหน้ากากมาก ช่วยเพิ่มความสะดวกในการหายใจระหว่างการสวมใส่ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าหน้ากากรูปทรงนี้มีอัตราการไม่ผ่านการทดสอบความกระชับกับใบหน้าสูงกว่ารูปทรงอื่นๆ⁽⁸⁾ นอกจากลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกันแล้ว โดยทั่วไปโครงสร้างของหน้ากาก N95 ประกอบด้วย ชั้นกรอง 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นในสุด (inner layer) ทำจากโพลีโพรพิลีนแบบไม่ทอ (spunbond nonwoven polypropylene) มีคุณสมบัติช่วยดูดซับความชื้นจากการหายใจ ชั้นกลาง (structural support layer) ประกอบด้วย วัสดุที่มีความหนาแน่นประมาณ 250 กรัมต่อตารางเมตร เพื่อช่วยให้หน้ากากคงรูปและมีความทนทาน ชั้นกรองหลัก (filter layer) ทำจากเส้นใยโพลีโพรพิลีนที่ขึ้นรูปด้วยการเป่าลมร้อนให้เป็นเส้นใยขนาดเล็กระดับไมโครเมตรจนเป็นแผ่น (melt blown process) ทำหน้าที่เป็นชั้นกรองโดยอาศัยกลไกการกรองเชิงกล (mechanical filtration) และชั้นนอกสุด (outer layer) ทำจากวัสดุประเภทเดียวกับชั้นในสุด มีคุณสมบัติป้องกันความชื้นและฝุ่นละอองจากภายนอก โครงสร้างชั้นกรองของหน้ากาก N95 ดังแสดงในภาพที่ 1⁽⁹⁾ โครงสร้างหลายชั้นนี้ทำให้หน้ากาก N95 สามารถกรองอนุภาคที่ไม่ใช่น้ำมัน ขนาด 0.1 ถึง 0.3 ไมครอนได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95⁽¹⁰⁾

จากการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจร่วมกับมลพิษจากฝุ่น PM2.5 ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของหน้ากาก N95 ต่อบุคลากรทางการแพทย์และประชาชนกลุ่มเสี่ยง อย่างไรก็ตามความต้องการที่พุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในภาวะวิกฤตส่งผลให้หน้ากาก N95 มีราคาสูงขึ้นและจัดซื้อได้ยาก ประกอบกับข้อจำกัดด้านฐานการผลิตภายในประเทศที่ยังไม่สามารถผลิตหน้ากาก N95 ได้อย่างเพียงพอ จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก ซึ่งมีความเสี่ยงจากปัญหาด้านการขนส่งหรือนโยบายระงับการส่งออกของประเทศต้นทาง⁽¹¹⁾ แม้ปัจจุบันยังไม่พบ

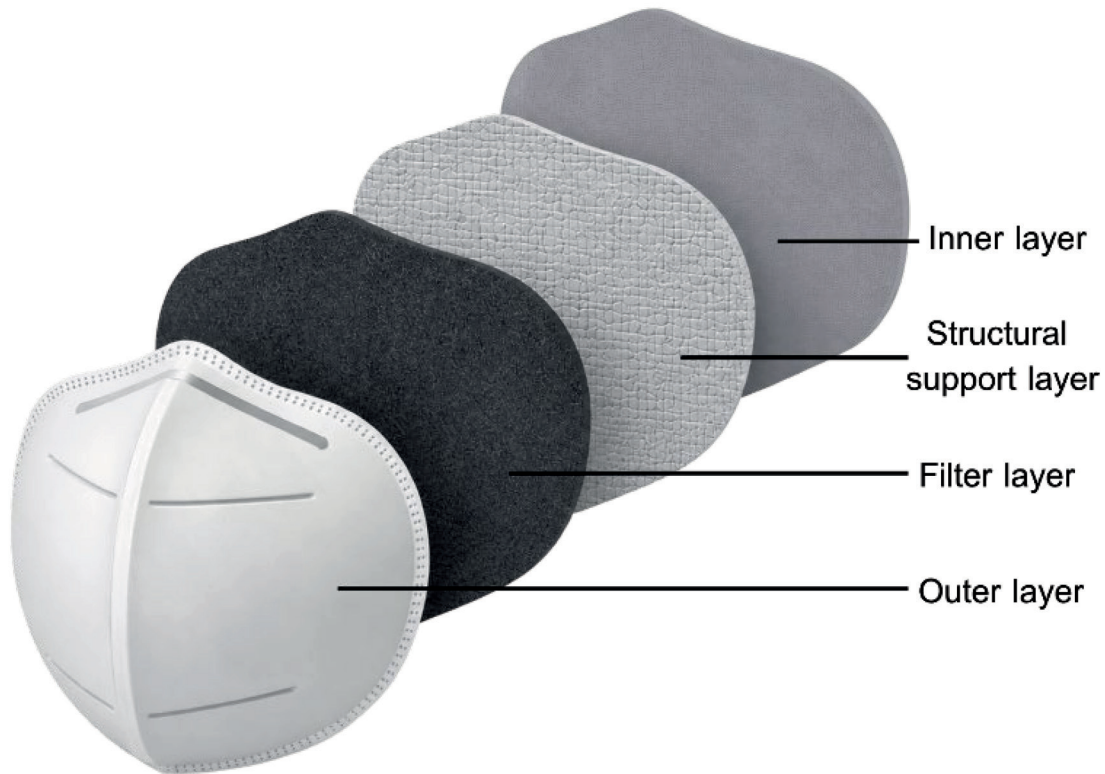
ปัญหาการขาดแคลนหน้ากาก N95 แต่การเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับความเป็นไปได้ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตยังคงมีความจำเป็น โดยหนึ่งในแนวทางที่อาจช่วยลดความเสี่ยงจากภาวะขาดแคลน คือ การนำหน้ากาก N95 กลับมาใช้ซ้ำหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม การใช้ซ้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่ถูกต้องอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเชื้อโรคและนำไปสู่การติดเชื้อได้ นอกจากนี้อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (particle filtration efficiency) และความกระชับกับใบหน้า (fit check) ทำให้หน้ากากไม่สามารถคุณสมบัติตามมาตรฐานกำหนด^(12,13) โดยมาตรฐาน NIOSH กำหนดให้หน้ากาก N95 ต้องมีค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (%filtration efficiency) ของอนุภาคที่ไม่ใช่น้ำมัน ขนาด 0.3 ไมครอนได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95⁽¹⁴⁾ และมีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากาก (%leakage rate) ไม่เกินร้อยละ 5⁽¹⁵⁾ วิธีการฆ่าเชื้อบนหน้ากาก N95 สามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในวิธีที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง คือ การฆ่าเชื้อด้วยการฉายรังสียูวีซี (UVC Irradiation: UVC) โดยมีงานวิจัยระบุว่า การใช้รังสียูวีซีที่มีความยาวคลื่น 260 ถึง 285 นาโนเมตร สามารถทำลายเชื้อไวรัสและแบคทีเรียบนพื้นผิวหน้ากากได้โดยไม่ลดประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากาก N95⁽¹⁶⁾ อีกหนึ่งวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (heat sterilization) ซึ่งสามารถทำได้หลายรูปแบบ อาทิ การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน การแช่น้ำร้อน การแช่น้ำเดือด การนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ และการใช้ไอน้ำจากไมโครเวฟ เป็นต้น^(13,17,18) นอกจากนี้มีวิธีการฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี (chemical decontamination) เช่น การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบไอระเหย (vaporized hydrogen peroxide) เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) เอทานอล (ethanol) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) เป็นต้น แม้ว่าวิธีทางเคมีเหล่านี้จะสามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่บางวิธีอาจทิ้งสารตกค้างหรือส่งผลต่อโครงสร้างของหน้ากาก ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการนำกลับมาใช้ซ้ำอย่างปลอดภัย^(19,20) จากการทบทวนงานวิจัย

ที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีวิธีการฆ่าเชื้อที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง ได้แก่ การฉายรังสียูวีซี การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน การแช่น้ำร้อน และการแช่น้ำเดือด ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก⁽²¹⁾ แม้ว่าจะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะยืนยันว่าวิธีฆ่าเชื้อทั้ง 4 วิธี มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อเพื่อการนำกลับมาใช้ซ้ำ แต่งานวิจัยดังกล่าวมีการทดสอบการฆ่าเชื้อซ้ำเพียง 3 รอบ จึงขาดข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนรอบสูงสุดของการฆ่าเชื้อซ้ำที่ยังสามารถรักษาประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากากได้ นอกจากนี้ขาดการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธีดังกล่าว ระหว่างหน้ากาก N95 รุ่นที่มีลิ้นระบายอากาศ และรุ่นที่ไม่มีลิ้นระบายอากาศ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขีดจำกัดของการฆ่าเชื้อบนหน้ากาก N95 เพื่อรองรับการนำกลับมาใช้ซ้ำ โดยดำเนินการสุ่มตัวอย่างหน้ากาก N95 จำนวน 4 รุ่น ที่ได้รับความนิยมในการใช้งานทั้งในหน่วยงานทางการแพทย์และภาคอุตสาหกรรม รวมถึงมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด ทั้งรุ่นที่มีลิ้นระบายอากาศ และรุ่นที่ไม่มีลิ้นระบายอากาศมาทำการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี ได้แก่ การฉายรังสียูวีซีด้วยตู้ปราศจากเชื้อแบบคลาส II ประเภท A2 ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ความเข้มแสงไม่น้อยกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ฉายรังสีด้านละ 20 นาที การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และการแช่น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นประเมินประสิทธิภาพการป้องกันด้วยการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคตามมาตรฐาน NIOSH 42 CFR part 84 ข้อ 84.174 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหน้ากากใช้ครั้งเดียวชนิด N95 (มอก.2480-2562)⁽²²⁾ ซึ่งกำหนดให้หน้ากากต้องมีค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาคไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 และทดสอบความกระชับกับใบหน้าตามมาตรฐานสำนักงานความปลอดภัยและสุขภาพในการทำงาน (Occupational Safety and Health Administration: OSHA) ตามข้อกำหนด 29 CFR 1910.134 subpart I โดยกำหนดให้ค่าร้อยละอัตรา

การรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากต้องไม่เกินร้อยละ 5 ทั้งนี้ การฆ่าเชื้อและการทดสอบซ้ำจะดำเนินการต่อเนื่องสูงสุด 20 รอบ หรือจนกว่าหน้ากากจะไม่ผ่านเกณฑ์

ที่มาตรฐานกำหนด เพื่อระบุวิธีการฆ่าเชื้อที่ปลอดภัย และสามารถรักษาคูณสมบัติของหน้ากากตามมาตรฐาน NIOSH



ภาพที่ 1 โครงสร้างและองค์ประกอบของหน้ากาก N95

วัสดุและวิธีการ

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือ: ตู้ปราศจากเชื้อแบบคลาส II ประเภท A2 (รุ่น 1384, Thermo Fisher Scientific, USA), เตาอบลมร้อน (รุ่น TS8136, Termaks, Norway), เตาให้ความร้อน (รุ่น C-MAG HS7, IKA, Germany), เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วใส่ปรอท (รุ่น SK, SATO, Taiwan), เครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 (รุ่น G506, QINSUN, China), ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (รุ่น ZXMP-R1150, Labwit Scientific, Australia),

เครื่องทดสอบความกระชับกับใบหน้า (รุ่น MT-05U, SIBATA, Japan) และเครื่องฟั่นละอองแบบอัลตราโซนิค (รุ่น Y2, Unbranded, China)

วัสดุ: หน้ากาก N95 แบบทรงถ้วยไม่มีลิ้นระบายอากาศ (รุ่น 8110s, 3M™, Thailand), หน้ากาก N95 แบบพับไม่มีลิ้นระบายอากาศ (รุ่น 9105, VFlex™, Thailand), หน้ากาก N95 แบบทรงถ้วยมีลิ้นระบายอากาศ (รุ่น 8210V, 3M™, Thailand) และหน้ากาก N95 แบบพับมีลิ้นระบายอากาศ (รุ่น DD02V-N95-2K, SHIGEMATSU, Japan) ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก)-(ง) ตามลำดับ



ภาพที่ 2 หน้ากาก N95 ที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาขีดจำกัดการฆ่าเชื้อ (ก) รุ่น 8110s⁽²³⁾, (ข) รุ่น 9105⁽²⁴⁾, (ค) รุ่น 8210V⁽²⁵⁾ และ (ง) รุ่น DD02V-N95-2K⁽²⁶⁾ (ที่มา: (ก) บริษัท ซาย แอนด์ เทคโนโลยี เซอร์วิส จำกัด, (ข) บริษัท 3M ประเทศไทย, (ค) บริษัท 3M ประเทศไทย และ (ง) Instocking Co., Ltd., China)

สารเคมี: โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, Supelco, USA) และเม็ดโซเดียมคลอไรด์ ขนาด 100 มิลลิกรัม (sodium chloride tablets 100 mg, First Lab International Inc., Canada)

การฆ่าเชื้อของหน้ากาก N95

การศึกษานี้ได้ทำการเตรียมหน้ากาก N95 จำนวน 4 รุ่น รุ่นละ 40 ชิ้น รวมเป็น 160 ชิ้น ประกอบด้วย รุ่น 8210V, DD02V-N95-2K, 8110s และ 9105 โดยหน้ากากแต่ละรุ่น แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น หน้ากากแต่ละกลุ่ม ประกอบด้วย ชุดสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค จำนวน 5 ชิ้น และชุดสำหรับการทดสอบความกระชับกับใบหน้า จำนวน 5 ชิ้น การศึกษานี้ประเมินประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากาก N95 จาก 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันระบบทางเดินหายใจตามแนวทางมาตรฐานของ NIOSH โดยหน้ากากที่

ผ่านเกณฑ์มาตรฐานต้องมีค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาคไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 และมีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากไม่เกินร้อยละ 5 ก่อนเริ่มกระบวนการฆ่าเชื้อนำหน้ากากทั้ง 4 กลุ่ม ไปทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้า ต่อมาหน้ากากแต่ละกลุ่มจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี ได้แก่ การฉายรังสีวิธี การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน การแช่น้ำร้อน และการแช่น้ำเดือด หลังจากผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อในแต่ละรอบ หน้ากากในแต่ละกลุ่มจะถูกนำกลับมาทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าอีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลประสิทธิภาพการป้องกันระหว่างก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ การฆ่าเชื้อและการทดสอบซ้ำจะดำเนินต่อเนื่องโดยใช้หน้ากากชุดเดิมทดสอบซ้ำจนครบ 20 รอบ (การฆ่าเชื้อซ้ำด้วย จำนวน 20 รอบ ถือเป็นระดับที่สูงกว่าการใช้งานซ้ำโดยทั่วไป อีกทั้งเพียงพอสำหรับประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบของวิธีการฆ่าเชื้อทั้ง 4 วิธีต่อประสิทธิภาพ

การป้องกันของหน้ากาก) หรือจนกว่าผลการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากากในกลุ่มนั้นจะไม่ใช่ไปตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยในกรณีที่หน้ากากไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานก่อนครบจำนวน 20 รอบ หน้ากากกลุ่มดังกล่าวจะถูกยุติการทดสอบในรอบถัดไป

การฉายรังสียูวีซี (UVC irradiation)⁽²⁷⁾ นำหน้ากาก N95 แต่ละกลุ่มวางเรียงบนพื้นตู้ปราศจากเชื้อแบบคลาส II ที่ผ่านการสอบเทียบและมีความเข้มรังสี UVC ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร โดยจัดวางให้เว้นระยะห่างระหว่างชั้นของหน้ากากประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นทำการปิดบานกระจกหน้าต่างให้สนิท และเริ่มเปิดหลอด UVC เพื่อฉายรังสีบนผิวด้านนอกของหน้ากากเป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบเวลาหลอด UVC จะถูกปิด และหน้ากากจะถูกกลับด้านเพื่อฉายรังสีบนผิวด้านในของหน้ากาก เป็นเวลา 20 นาที

การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (dry heat by hot air oven)⁽²⁸⁾ ตั้งค่าอุณหภูมิเตาอบลมร้อนที่ผ่านการสอบเทียบให้มีอุณหภูมิ 75 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำหน้ากาก N95 ของแต่ละรุ่นจำนวน 10 ชิ้น ประกอบด้วยชุดสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคจำนวน 5 ชิ้น และชุดสำหรับการทดสอบความกระชับกับใบหน้า จำนวน 5 ชิ้น ไปแขวนกับตะแกรงโดยใช้ลวดหนีบ และนำไปอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาให้นำหน้ากาก N95 ออกมาจากเตาอบลมร้อน และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที

การแช่น้ำร้อน (hot water)⁽²⁹⁾ เตรียมน้ำร้อนโดยเทน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 1,800 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร และให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาให้ความร้อนและสังเกตอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วใส่ปรอท จากนั้นนำหน้ากาก N95 ลงไปแช่น้ำร้อนครั้งละ 1 ชิ้น เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้แท่งแก้วกดหน้ากากให้จมอยู่ในน้ำร้อนตลอดการทดสอบ เมื่อครบเวลาให้นำหน้ากากออกและปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง

การแช่น้ำเดือด (boiling water)⁽¹³⁾ เตรียมน้ำเดือดโดยเทน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 1,800 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร และให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อนจนน้ำภายในบีกเกอร์เดือด แล้วทำการแช่หน้ากาก N95 ในน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที การทดสอบจะทำการแช่หน้ากากครั้งละ 1 ชิ้น และใช้แท่งแก้วกดหน้ากากให้จมอยู่ในน้ำเดือดตลอดการทดสอบ เมื่อครบเวลาให้นำหน้ากากออกและปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง

การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

การทดสอบดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 42 CFR part 84 ข้อ 84.174 และ มอก. 2480-2562 โดยหน้ากาก N95 ถูกนำไปปรับสภาพที่อุณหภูมิ 38.0 ± 2.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85.5 ± 5.0 เป็นเวลา 25 ± 1 ชั่วโมง ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จากนั้นนำหน้ากาก N95 ที่ผ่านการปรับสภาพไปวางบนแท่นทดสอบของเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยควบคุมสภาวะที่ใช้ในการทดสอบให้มีอุณหภูมิ เท่ากับ 25 ± 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 30 ± 10 และใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากโซเดียมคลอไรด์ละลายในน้ำปราศจากไอออน เพื่อสร้างละอองทดสอบ (test aerosols) ที่มีขนาดเชิงจำนวน (count median diameter: CMD) เท่ากับ 0.075 ± 0.02 ไมครอน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (geometric standard deviation: GSD) น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 1.8 เป็นอนุภาคมาตรฐานที่ใช้จำลองอนุภาคขนาดเล็กในบรรยากาศ การทดสอบดำเนินการภายใต้อัตราการไหลของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เจือปนในอากาศ เท่ากับ 85 ± 4 ลิตรต่อนาที บนพื้นที่ผิวของหน้ากากประมาณ 135 ตารางเซนติเมตร โดยเครื่องจะตรวจวัดความเข้มข้นของละอองลอยโซเดียมคลอไรด์ที่ผ่านด้านบนและด้านล่างของหน้ากาก และรายงานผลเป็นค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาค



ภาพที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคด้วยเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 รุ่น G506 (ที่มา: สำนักวิจัยและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์)

การทดสอบความกระชับกับใบหน้า

การทดสอบดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน OSHA ข้อกำหนด 29 CFR 1910.134 โดยหน้ากาก N95 ถูกนำไปเจาะรูบริเวณตรงกลางเพื่อติดตั้งตัวเชื่อมต่อ และเชื่อมต่อหน้ากากเข้ากับเครื่องทดสอบความกระชับกับใบหน้าผ่านท่อสายยาง จากนั้นสวมหน้ากาก N95 ที่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวบนหุ่นจำลองใบหน้าให้แนบสนิท เพื่อจำลองสภาพการสวมใส่จริง ดังแสดงในภาพที่ 4(ก) ต่อมาเปิดเครื่องฟองละอองแบบอัลตราโซนิกที่บรรจุสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร (เตรียมจากเม็ดโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำ

ปราศจากไอออน) และจัดวางเครื่องฟองละอองไว้ด้านหน้าหุ่นจำลอง เพื่อให้มีปริมาณละอองทดสอบเพียงพอต่อการจำลองสภาวะการรั่วไหลที่เลวร้ายที่สุด (worst-case scenario) ดังแสดงในภาพที่ 4(ข) จากนั้นกดปุ่ม start บนเครื่องทดสอบความกระชับกับใบหน้า เครื่องทดสอบจะทำการวัดปริมาณของละอองโซเดียมคลอไรด์ทั้งภายนอกและภายในหน้ากาก เป็นเวลา 25 วินาที พร้อมทั้งคำนวณสัดส่วนการรั่วไหลเข้าสู่หน้ากาก และแสดงผลในรูปของค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากาก ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความกระชับของหน้ากากอนามัยกับใบหน้า ดังแสดงในภาพที่ 4(ค)

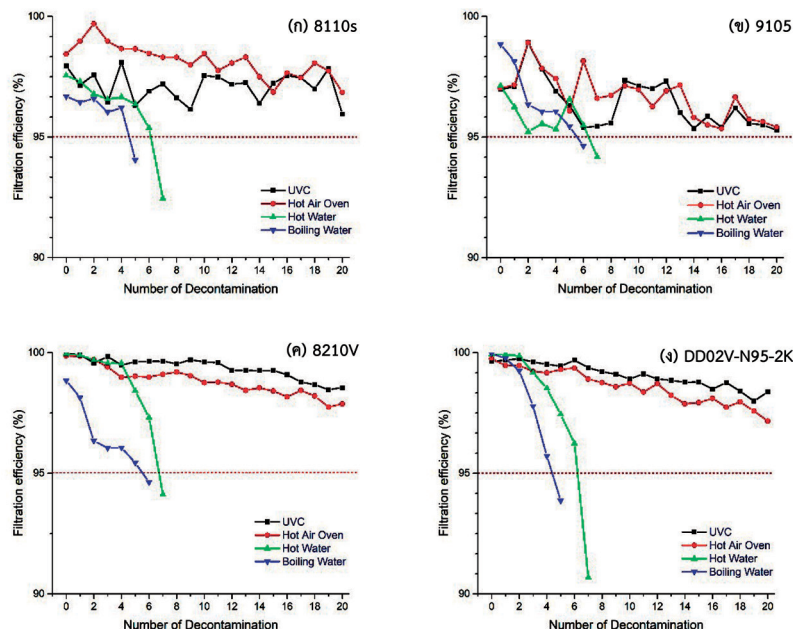


ภาพที่ 4 การทดสอบความกระชับกับใบหน้า (ก) การเชื่อมต่อหน้ากาก N95 เข้ากับเครื่องทดสอบความกระชับใบหน้า (ข) การสร้างละอองโซเดียมคลอไรด์ในบรรยากาศระหว่างการทดสอบความกระชับกับใบหน้า (ค) การแสดงผลการทดสอบบนหน้าจอเครื่องทดสอบความกระชับกับใบหน้า (ที่มา: สำนักวิจัยและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์)

ผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 ทั้งรุ่นที่มีลิ้นระบายอากาศ (8210V และ DD02V-N95-2K) และรุ่นที่ไม่มีลิ้นระบายอากาศ (8110s และ 9105) ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก)-(ง) พบว่าหน้ากาก N95 ทุกรุ่นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการกรองอนุภาคในทิศทางเดียวกัน โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างรุ่นของหน้ากาก เมื่อพิจารณาวิธีการฆ่าเชื้อเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการฆ่าเชื้อ พบว่าการฉายรังสียูวีซีและการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนสามารถคงประสิทธิภาพการกรองอนุภาคให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานโดยมีค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาคมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 95 ตลอดการทดสอบ ซึ่งภายหลังการฆ่าเชื้อรอบที่ 20 หน้ากาก N95 รุ่น 8110s, รุ่น 9105, รุ่น 8210V และ รุ่น DD02V-N95-2K ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการฉายรังสียูวีซีมีค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาค เท่ากับ 95.95 ± 0.73 , 95.28 ± 0.42 , 98.54 ± 0.66 และ 98.37 ± 1.01 ตามลำดับ ขณะที่การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนมีค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาค เท่ากับ 96.85 ± 0.60 ,

95.41 ± 0.19 , 97.87 ± 1.22 และ 97.16 ± 0.99 ตามลำดับ ซึ่งยังคงมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามการแช่น้ำร้อนและการแช่น้ำเดือดส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคลดลงอย่างชัดเจนเมื่อจำนวนรอบการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น โดยภายหลังการฆ่าเชื้อด้วยการแช่น้ำร้อน 7 รอบ หน้ากาก N95 รุ่น 8110s, รุ่น 9105, รุ่น 8210V และ รุ่น DD02V-N95-2K มีค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาค เท่ากับ 92.46 ± 4.53 , 94.18 ± 0.37 , 94.13 ± 0.79 และ 90.68 ± 0.99 ตามลำดับ ขณะที่การแช่น้ำเดือดภายหลังการฆ่าเชื้อ 5 รอบ พบว่าหน้ากาก N95 รุ่น 8110s, รุ่น 8210V และรุ่น DD02V-N95-2K มีค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเท่ากับ 94.05 ± 2.31 , 90.24 ± 2.79 และ 93.86 ± 0.99 ตามลำดับ ส่วนหน้ากาก รุ่น 9105 มีค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาค เท่ากับ 94.62 ± 0.38 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 6 รอบ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 95 และไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 ก่อนและภายหลังการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 ทั้ง 4 รุ่น (ก) 8110s, (ข) 9105, (ค) 8210V และ (ง) DD02V-N95-2K ภายหลังการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี ได้แก่ การฉายรังสียูวีซี (UVC) การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) การแช่น้ำร้อน (Hot Water) และการแช่น้ำเดือด (Boiling Water)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 ภายหลังการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี

วิธีฆ่าเชื้อ	รุ่น	จำนวนรอบ การฆ่าเชื้อสุดท้าย	ค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาค	
			ก่อนการฆ่าเชื้อ	หลังการฆ่าเชื้อ รอบสุดท้าย
UVC	8110S	20	97.94±0.08	95.95±0.73
	9105	20	96.97±0.26	95.28±0.42
	8210V	20	99.95±0.02	98.54±0.66
	DD02V-N95-2K	20	99.63±0.44	98.37±1.01
Hot Air Oven	8110S	20	98.44±0.32	96.85±0.60
	9105	20	97.02±0.61	95.41±0.19
	8210V	20	99.87±0.18	97.87±1.22
	DD02V-N95-2K	20	99.75±0.38	97.16±0.99
Hot Water	8110S	7	97.54±0.17	92.46±4.53
	9105	7	97.12±0.12	94.18±0.37
	8210V	7	99.95±0.06	94.13±0.79
	DD02V-N95-2K	7	99.92±0.05	90.68±0.99
Boiling Water	8110S	5	96.68±1.24	94.05±2.31
	9105	6	98.84±0.08	94.62±0.38
	8210V	5	99.95±0.04	90.24±2.79
	DD02V-N95-2K	5	99.96±0.02	93.86±0.99

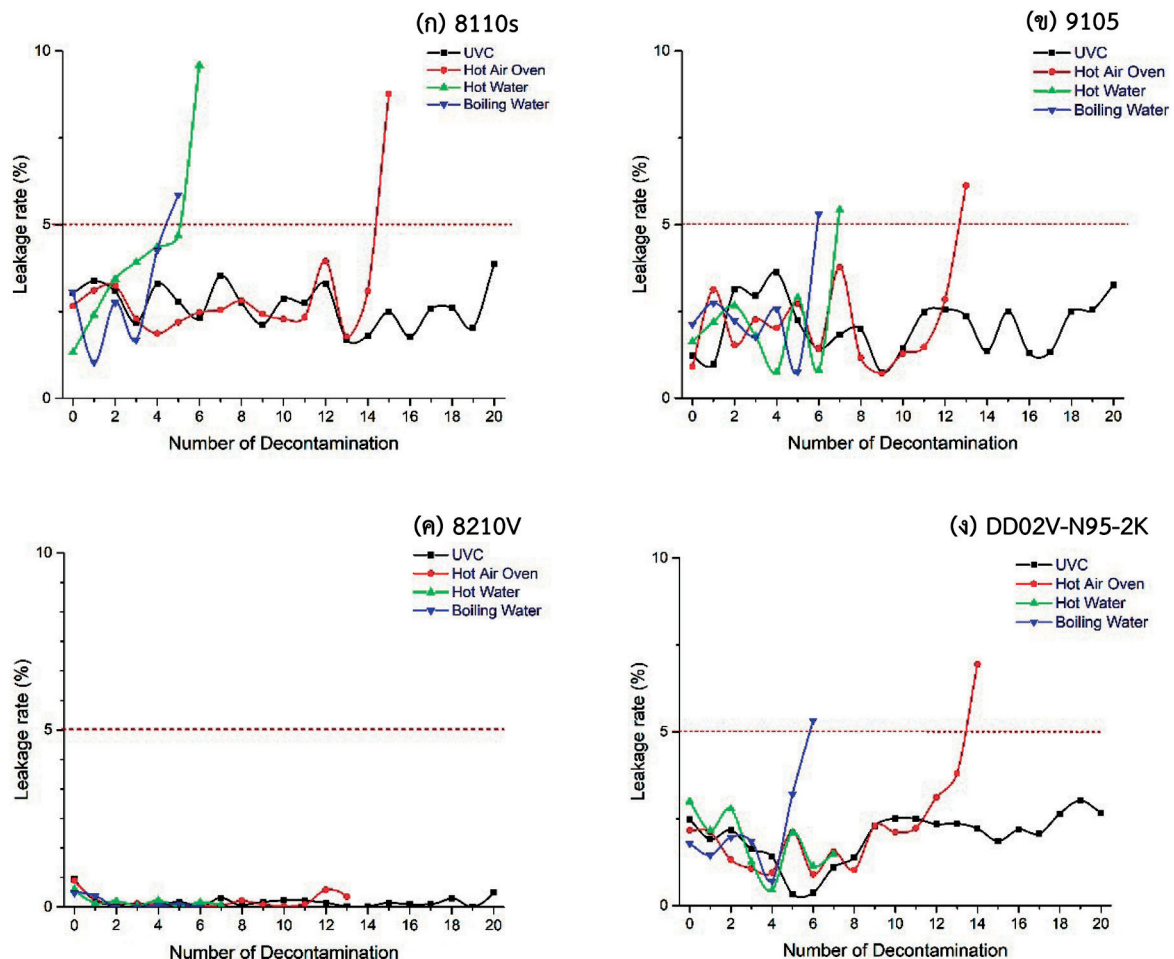
หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) โดยกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาคต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 95

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากาก N95 ทั้ง 4 รุ่น ภายหลังการฆ่าเชื้อ ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก)-(ง) โดยกำหนดเกณฑ์การยอมรับให้หน้ากากต้องมีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากไม่เกินร้อยละ 5 พบว่าหน้ากาก N95 ทั้ง 4 รุ่น มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาผลการทดสอบโดยจำแนกตามวิธีการฆ่าเชื้อ พบว่าการฉายรังสียูวีซีสามารถรักษาค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ตลอดการทดสอบ จำนวน 20 รอบ โดยหน้ากาก N95 รุ่น 8110s, รุ่น 9105, รุ่น 8210V และรุ่น DD02V-N95-2K มีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากรอบสุดท้าย เท่ากับ 3.86 ± 0.74 , 0.42 ± 0.11 , 3.26 ± 1.08 และ 2.67 ± 0.90 ตามลำดับ ขณะที่การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน พบว่า

หน้ากาก N95 รุ่น 8110s, รุ่น 9105 และ รุ่น DD02V-N95-2K มีแนวโน้มค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น โดยมีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากรอบสุดท้าย เท่ากับ 8.76 ± 3.05 (รอบที่ 15), 6.12 ± 3.34 (รอบที่ 13) และ 6.94 ± 2.88 (รอบที่ 14) ตามลำดับ ยกเว้นหน้ากากรุ่น 8210V ซึ่งมีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ต้องยุติการทดสอบในรอบที่ 14 เนื่องจากสายรัดศีรษะเกิดการชำรุด ส่วนการแช่น้ำร้อนและการแช่น้ำเดือดส่งผลให้ค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากาก เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเกินเกณฑ์มาตรฐานในจำนวนรอบการฆ่าเชื้อน้อยกว่าการฉายรังสียูวีซีและการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน โดยภายหลังการฆ่าเชื้อด้วยการแช่น้ำร้อนหน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ รุ่น 9105 ซึ่งเป็นหน้ากากแบบไม่มีลิ้นระบายอากาศมี

ค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากาก รอบสุดท้ายเกินเกณฑ์มาตรฐานภายหลังการฆ่าเชื้อ จำนวน 6 และ 7 รอบ โดยมีค่าเท่ากับ 9.97 ± 0.72 และ 5.42 ± 4.3 ตามลำดับ แม้ว่าหน้ากาก N95 แบบมีลิ้นระบายอากาศ รุ่น 8210V และ รุ่น DD02V-N95-2K จะมีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากาก เท่ากับ 0.05 ± 0.01 และ 1.50 ± 1.09 ตามลำดับ ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่าร้อยละประสิทธิภาพการกรองอนุภาคภายหลังการฆ่าเชื้อมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 95 ในการฆ่าเชื้อรอบที่ 7 จึงยุติการทดสอบความกระชับกับใบหน้าในรอบดังกล่าว สำหรับการแช่น้ำเดือด พบว่าหน้ากาก N95 รุ่น 9105 หน้ากากแบบพับไม่มีลิ้นระบายอากาศ และรุ่น DD02V-N95-2K หน้ากากแบบพับมี

ลิ้นระบายอากาศ มีค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากเกินเกณฑ์มาตรฐานในรอบที่ 6 มีค่าเท่ากับ 5.30 ± 2.45 และ 5.33 ± 1.17 ตามลำดับ ในขณะที่หน้ากาก N95 แบบทรงถ้วยทั้งรุ่นที่ไม่มีลิ้นระบายอากาศ รุ่น 8110s และรุ่นที่มีลิ้นระบายอากาศ รุ่น 8210V แม้ว่าค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากาก จะยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 2.12 ± 1.69 และ 0.00 ± 0.00 ตามลำดับ แต่ต้องยุติการทดสอบการฆ่าเชื้อในรอบที่ 5 เนื่องจากประสิทธิภาพการกรองอนุภาคภายหลังการฆ่าเชื้อมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 95 ผลการทดสอบความกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก N95 ก่อนและภายหลังการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากของหน้ากาก N95 ทั้ง 4 รุ่น (ก) 8110s, (ข) 9105, (ค) 8210V และ (ง) DD02V-N95-2K ภายหลังการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี ได้แก่ การฉายรังสียูวีซี (UVC) การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) การแช่น้ำร้อน (Hot Water) และการแช่น้ำเดือด (Boiling Water)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก N95 ภายหลังการฆ่าเชื้อด้วย 4 วิธี

วิธีฆ่าเชื้อ	รุ่น	จำนวนรอบ การฆ่าเชื้อสุดท้าย	ค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอย ภายในหน้ากาก	
			ก่อนการฆ่าเชื้อ	หลังการฆ่าเชื้อ รอบสุดท้าย
UVC	8110S	20	3.03±0.40	3.86±0.74
	9105	20	1.23±1.04	3.26±1.08
	8210V	20	0.78±1.12	0.42±0.11
	DD02V-N95-2K	20	2.48±0.53	2.67±0.90
Hot Air Oven	8110S	15	2.66±0.75	8.76±3.05
	9105	13	0.91±0.60	6.12±3.34
	8210V	13	0.75±0.53	0.29±0.73
	DD02V-N95-2K	14	2.17±0.92	6.94±2.88
Hot Water	8110S	6	1.43±0.67	9.97±0.72
	9105	7	1.63±1.49	5.42±4.33
	8210V	7	0.50±0.17	0.05±0.01
	DD02V-N95-2K	7	3.00±0.56	1.50±1.09
Boiling Water	8110S	5	3.05±0.70	2.12±1.69
	9105	6	2.13±0.83	5.30±2.45
	8210V	6	0.40±0.48	0.00±0.00
	DD02V-N95-2K	6	1.78±0.39	5.33±1.17

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) โดยกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่าร้อยละอัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากไม่เกินร้อยละ 5

การประเมินประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากาก N95 ภายหลังการฆ่าเชื้อด้วยวิธีต่างๆ พิจารณาร่วมกันระหว่างผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้า พบว่าหน้ากาก N95 ทุกรุ่นทั้งชนิดที่มีลิ้นระบายอากาศและรุ่นที่ไม่มีลิ้นระบายอากาศสามารถคงประสิทธิภาพการป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ครบ 20 รอบ เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการฉายรังสียูวีซี ขณะที่การฆ่าเชื้อด้วยการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน หน้ากากทั้ง 4 รุ่น สามารถคงประสิทธิภาพการป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ในช่วง 12-14 รอบ โดยหน้ากากรุ่น 8110s สามารถรักษาประสิทธิภาพการป้องกันได้สูงสุด 14 รอบ ขณะที่รุ่น 9105 สามารถคงประสิทธิภาพการป้องกันได้ 12 รอบ ส่วนหน้ากากรุ่น 8210V และ DD02V-N95-2K เป็นหน้ากากแบบมีลิ้นระบายอากาศสามารถรักษาประสิทธิภาพ

การป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหลังผ่านการฆ่าเชื้อ 13 รอบ ในส่วนของการแช่น้ำร้อน พบว่าหน้ากากสามารถคงประสิทธิภาพการป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ 5-6 รอบ โดยหน้ากากรุ่น 8110s คงประสิทธิภาพการป้องกันได้ 5 รอบ ขณะที่หน้ากาก N95 รุ่น 8210V DD02V-N95-2K และ 9105 สามารถรักษาประสิทธิภาพการป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ 6 รอบ กรณีการแช่น้ำเดือดแสดงให้เห็นว่า หน้ากาก N95 สูญเสียประสิทธิภาพการป้องกันเร็วกว่าวิธีอื่น โดยสามารถคงประสิทธิภาพการป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอยู่ในช่วง 4-5 รอบ ทั้งในกลุ่มหน้ากากที่มีลิ้นระบายอากาศและไม่มีลิ้นระบายอากาศ โดยผลการประเมินจำนวนรอบการฆ่าเชื้อที่หน้ากาก N95 ยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้า ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนรอบการฆ่าเชื้อที่หน้ากาก N95 ยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ชนิดหน้ากาก N95	รุ่น	จำนวนรอบการฆ่าเชื้อ							
		UVC		Hot Air Oven		Hot Water		Boiling Water	
		PFE	FC	PFE	FC	PFE	FC	PFE	FC
ไม่มีลิ้นระบายอากาศ	8110s	20	20	20	14	6	5	4	5*
	9105	20	20	20	12	6	6	5	6
มีลิ้นระบายอากาศ	8210V	20	20	20	13	6	7*	4	5*
	DD02V-N95-2K	20	20	20	13	6	7*	4	5

หมายเหตุ: PFE คือ ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค, FC คือ ความกระชับกับใบหน้า และ * คือ ยุติการทดสอบเนื่องจากค่าร้อยละ ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคต่ำกว่าร้อยละ 95

วิจารณ์

การศึกษานี้เลือกวิธีการฆ่าเชื้อ 4 วิธี ได้แก่ การฉายรังสียูวีซี การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน การแช่น้ำร้อน และการแช่น้ำเดือด เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย มีต้นทุนต่ำ และมีการนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 เพื่อการใช้ซ้ำทั้งในหน่วยงานทางการแพทย์ และในประชาชนทั่วไป โดยวิธีการฆ่าเชื้อด้วยการฉายรังสียูวีซีและการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนเป็นวิธีที่ถูกใช้ในหน่วยงานทางการแพทย์และสถานพยาบาล⁽³⁰⁾ ขณะที่การแช่น้ำร้อนและการแช่น้ำเดือดเป็นวิธีที่ประชาชนทั่วไปนิยมใช้ในการฆ่าเชื้อหน้ากากในช่วงที่เกิดการขาดแคลนหน้ากากอนามัยจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด 19⁽³¹⁾ นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้ที่สนับสนุนการใช้วิธีการฆ่าเชื้อดังกล่าวในการนำหน้ากาก N95 กลับมาใช้ซ้ำ อย่างไรก็ตามแม้งานวิจัยก่อนหน้านี้จะมีการศึกษาการฆ่าเชื้อของหน้ากาก N95 เพื่อการใช้ซ้ำอย่างแพร่หลาย แต่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเป็นหลักหรือศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันเฉพาะหน้ากากบางรูปทรง ขณะที่การศึกษารังสียูวีซีได้ประเมินประสิทธิภาพการป้องกันร่วมกันทั้งประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก N95 ทั้งชนิดที่มีลิ้นระบายอากาศและไม่มีลิ้นระบายอากาศ และครอบคลุมหน้ากากทั้งแบบทรงถ้วยและแบบพับ ซึ่งเป็นรูปแบบหน้ากากที่มีจำหน่ายทั่วไปและนิยมใช้งานทั้งในภาคประชาชน

ภาคอุตสาหกรรม และหน่วยงานทางการแพทย์ กระบวนการทดสอบดำเนินการในห้องปฏิบัติการที่เปิดให้บริการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก N95 โดยอ้างอิงวิธีทดสอบและสภาวะที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน NIOSH และ OSHA โดยในแต่ละวิธีการฆ่าเชื้อได้ใช้หน้ากาก N95 สำหรับการทดสอบแต่ละพารามิเตอร์จำนวน 5 ชิ้นต่อรุ่น และทำการวิเคราะห์ผลซ้ำขึ้นละ 5 ครั้ง เพื่อประเมินแนวโน้มและวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบ ซึ่งจำนวนดังกล่าวเพียงพอสำหรับการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากาก N95 ภายหลังจากการฆ่าเชื้อ และสามารถใช้เปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการฆ่าเชื้อแต่ละวิธีได้ จากการประเมินความแปรปรวนของผลการทดสอบ พบว่าข้อมูลบางส่วนมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพและความกระชับกับใบหน้าของหน้ากากแต่ละชิ้นก่อนเริ่มการทดสอบ อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลการทดสอบภายหลังจากการฆ่าเชื้อยังเป็นไปในทิศทางใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาขีดจำกัดของวิธีการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 ทั้งแบบไม่มีลิ้นระบายอากาศ (รุ่น 8110s และ 9105) และแบบมีลิ้นระบายอากาศ (รุ่น 8210V และ DD02V-N95-2K) พบว่าการฆ่าเชื้อด้วยการฉายรังสียูวีซีเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพการป้องกันสูงสุด โดย

หน้ากากทุกรุ่นสามารถรักษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าได้ต่อเนื่องถึง 20 รอบ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการฉายรังสียูวีซีไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของหน้ากากแม้จะมีการนำกลับมาใช้ซ้ำหลายรอบ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งได้ระบุว่ารังสียูวีซีในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมสามารถทำลายเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยโพลิโพรพิลีนที่ใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตหน้ากาก⁽²⁷⁾ ซึ่งการที่หน้ากากทั้งแบบมีลิ้นระบายอากาศและไม่มีลิ้นระบายอากาศให้ผลการทดสอบในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสียูวีซีมีความเหมาะสมต่อการฆ่าเชื้อในหน้ากากหลากหลายรูปแบบ นอกจากนี้ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fischer RJ และคณะ ซึ่งพบว่าการฉายรังสียูวีซีสามารถคงประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก N95 ได้ดีกว่าวิธีการฆ่าเชื้อที่ใช้ความร้อนหรือความชื้น การใช้ความร้อนขึ้นมักส่งผลให้โครงสร้างและส่วนประกอบของหน้ากากเสื่อมสภาพเร็วขึ้นเมื่อมีการนำกลับมาใช้ซ้ำหลายรอบ⁽³²⁾

การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนขึ้นทั้งการแช่น้ำร้อนและการแช่น้ำเดือด ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากาก โดยหน้ากากเริ่มเสื่อมสภาพจนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานภายหลังการฆ่าเชื้อเพียง 4-6 รอบ เนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้โครงสร้างและชั้นกรองของหน้ากากเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ผลการทดสอบความแนบกระชับกับใบหน้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วยังชี้ให้เห็นว่า ความร้อนขึ้นทำให้โครงสร้างของหน้ากากเกิดการเสียรูปทรงทางกายภาพ (Structural Deformation) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแนบสนิทกับใบหน้านลดลงและไม่สามารถกลับคืนรูปทรงเดิมได้ การฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 ด้วยการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนหรือการใช้ความร้อนแห้ง แม้จะสามารถคงประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากากได้ดีกว่าการใช้ความร้อนขึ้น แต่ผลการศึกษพบว่า การสะสมของความร้อนเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของส่วนประกอบบางส่วนของหน้ากาก โดยเฉพาะสายรัดศีรษะ ซึ่งมีการสูญเสียความยืดหยุ่นส่งผล

กระทบโดยตรงต่อความกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก ผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ South JT และคณะ ซึ่งระบุว่า การสัมผัสความร้อนอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของยางและวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นองค์ประกอบของหน้ากาก N95⁽³²⁾ การเสื่อมสภาพของส่วนประกอบเหล่านี้อาจนำไปสู่การลดลงของความแนบกระชับกับใบหน้า และส่งผลให้ประสิทธิภาพการป้องกันโดยรวมไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน แม้ประสิทธิภาพการกรองของแผ่นกรองจะยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ก็ตาม นอกจากนี้ NIOSH ระบุว่า การประเมินความปลอดภัยของหน้ากากกรองอากาศจำเป็นต้องพิจารณาความสมบูรณ์ของระบบโดยรวม ไม่ใช่เพียงประสิทธิภาพของชั้นกรองเท่านั้น⁽³⁴⁾ เนื่องจากหากสายรัดเกิดการชำรุดหรือคลายตัวจะทำให้อัตราการรั่วไหลของละอองฝอยภายในหน้ากากเพิ่มสูงขึ้น

การนำหน้ากาก N95 กลับมาใช้ซ้ำควรพิจารณาร่วมกันระหว่างประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลชีพและประสิทธิภาพการป้องกันภายหลังการฆ่าเชื้อ ควรดำเนินการภายใต้กระบวนการที่มีการควบคุมอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 ด้วยการฉายรังสียูวีซี การควบคุมปริมาณรังสียูวีซี ระยะเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ และตำแหน่งการวางหน้ากากเพื่อให้รังสียูวีสามารถส่องผ่านได้อย่างทั่วทั้งชิ้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ ดังนั้นวิธีการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีซีในหน้ากาก N95 เพื่อการนำกลับมาใช้ซ้ำจึงเหมาะสมสำหรับหน่วยงานทางการแพทย์หรือสถานพยาบาลที่มีความเชี่ยวชาญและมีระบบควบคุมที่ปลอดภัยมากกว่าการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคประชาชนทั่วไป

สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของหน้ากาก N95 เพื่อการใช้ซ้ำ โดยใช้วิธีฆ่าเชื้อ 4 วิธี ได้แก่ การฉายรังสียูวีซี การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน การแช่น้ำร้อน และการแช่น้ำเดือด จากการประเมินประสิทธิภาพการป้องกันด้วยการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคร่วมกับการทดสอบความกระชับกับใบหน้า พบว่า

การฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีซีมีประสิทธิภาพการกรองและความกระชับกับใบหน้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แม้ผ่านการฆ่าเชื้อ 20 รอบ ส่วนการอบแห้งด้วยเตาลมร้อนสามารถรักษาประสิทธิภาพการกรองให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหลังการฆ่าเชื้อ 20 รอบ แต่ความกระชับกับใบหน้าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานหากฆ่าเชื้อมากกว่า 12 รอบ เนื่องจากสายรัดศีรษะเกิดการชำรุด การแช่น้ำร้อน และแช่น้ำเดือดส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองและความกระชับกับใบหน้าลดลงต่ำกว่ามาตรฐานหลังการฆ่าเชื้อเพียง 6 และ 4 รอบ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า หน้ากาก N95 ทั้งแบบมีลิ้นระบายอากาศและแบบไม่มีลิ้นระบายอากาศให้ผลการทดสอบใกล้เคียงกัน ดังนั้น หน้ากาก N95 สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ โดยการฉายรังสียูวีซีเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการป้องกันของหน้ากาก ซึ่งเหมาะสำหรับหน่วยงานทางการแพทย์หรือสถานพยาบาลที่มีระบบควบคุมความปลอดภัย อย่างไรก็ตามการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคประชาชนทั่วไปยังมีข้อจำกัด เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางและควบคุมสภาวะการฉายรังสียูวีซีอย่างเหมาะสมเพื่อให้การฆ่าเชื้อมีประสิทธิภาพ

การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์

การศึกษานี้ไม่มีการนำปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการเรียบเรียงเนื้อหาทางวิชาการ การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปผลของบทความ ทั้งนี้เนื้อหาในบทความเป็นผลงานของผู้เขียนทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักรังสีและเครื่องมือแพथวิทยาการแพทย์ สำหรับการสนับสนุนงบประมาณและสถานที่ในการดำเนินการทดลอง และขอขอบคุณ บุคลากรกลุ่มเครื่องมือแพथวิทยาการแพทย์ สำนักรังสีและเครื่องมือแพथวิทยาการแพทย์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะตลอดการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Iuliano AD, Roguski KM, Chang HH, Muscatello DJ, Palekar R, Tempia S, et al. Estimates of global seasonal influenza-associated respiratory mortality: a modelling study. *Lancet* 2018; 391(10127): 1285-300.
2. สำนักสื่อสารความเสี่ยงและพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ กรมควบคุมโรค. กรมควบคุมโรค เตือนเข้าสู่ฤดูฝน หวั่นเด็กเล็กป่วยโรคติดเชื้อไวรัสอาร์เอสวี (RSV). [ออนไลน์]. 2567; [สืบค้น 24 ต.ค. 2568]; [1 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=44084&deptcode=brc&news_views=3504.
3. Luangwilai T, Ong-Artborirak P, Manomaipiboon B, Ruamtawee W, Kunno J. PM2.5 risk perception and associated with sociodemographic factors in urban Thailand. *Sci Rep* 2025; 15(1): 32283. (9 pages).
4. Centers for Disease Control and Prevention. NIOSH-approved N95 respirators. [online]. 2024; [cited 2025 Oct 26]; [5 screens]. Available from: URL: <https://www.cdc.gov/niosh/ppe/niosh-approved-respirators/index.html>.
5. Ng I, Kave B, Begg F, Bodas CR, Segal R, Williams D. N95 respirators: quantitative fit test pass rates and usability and comfort assessment by health care workers. *Med J Aust* 2022; 217(2): 88-93.
6. Niezgoda G, Kim JH, Roberge RJ, Benson SM. Flat fold and cup-shaped N95 filtering facepiece respirator face seal area and pressure determinations: a stereophotogrammetry study. *J Occup Environ Hyg* 2013; 10(8): 419-24.
7. Wangsan K, Sapbamrer R, Sirikul W, Kiratipaisarl W, Ongprasert K, Assavanopakun P, et al. Evaluating the fit and performance of flat-fold, cup, and three-panel respirators

- among Thai healthcare personnel. *Front Public Health* 2025; 13: 1561571. (11 pages).
8. Degesys NF, Wang RC, Kwan E, Fahimi J, Noble JA, Raven MC. Correlation between N95 extended use and reuse and fit failure in an emergency department. *JAMA* 2020; 324(1): 94–6.
 9. Das S, Sarkar S, Das A, Das S, Chakraborty P, Sarkar J. A comprehensive review of various categories of face masks resistant to Covid-19. *Clin Epidemiol Glob Health* 2021; 12: 100835. (16 pages).
 10. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. Fact sheet การเลือกและการใช้หน้ากาก N95 ที่ถูกต้อง: ความรู้สำหรับประชาชน. [ออนไลน์]. 2563; [สืบค้น 26 ต.ค. 2568]; [3 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: https://nih.dmhc.moph.go.th/data/data/fact_sheet/2_62.pdf.
 11. World Health Organization. Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide. [online]. 2020; [cited 2026 May 2]; [1 screen]. Available from: URL: <https://www.who.int/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide>.
 12. Faridi-Majidi R, Norouz F, Boroumand S, Nasrollah Tabatabaei S, Faridi-Majidi R. Decontamination assessment of nanofiber-based N95 masks. *Environ Sci Pollut Res Int* 2022; 29(53): 80411–21.
 13. Juang PSC, Tsai P. N95 respirator cleaning and reuse methods proposed by the inventor of the N95 mask material. *J Emerg Med* 2020; 58(5): 817–20.
 14. National Archives and Records Administration. 84.174 Filter efficiency level determination test—non-powered series N, R, and P filtration. [online]. 2020; [cited 2025 Oct 28]; [2 screens]. Available from: URL: <https://www.ecfr.gov/on/2020-04-14/title-42/section-84.174>.
 15. Occupational Safety and Health Administration. 29 CFR Part 1910.134: respiratory protection. [online]. 2016; [cited 2025 Oct 28]; [1 screen]. Available from: URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134AppA>.
 16. N95Decon. Technical report for UV-C-based N95 reuse risk management. [online]. 2020; [cited 2025 Oct 28]; [20 screens]. Available from: URL: https://static1.squarespace.com/static/5e8126f89327941b9453eeef/t/5f39ec50d689050994c07338/1597631576383/20200826_N95DECON_UVC_technical_report_v2_1.pdf.
 17. Yuen JG, Marshlok AC, Benziger PT, Yan S, Cello J, Stackhouse CA, et al. Dry heat sterilization as a method to recycle N95 respirator masks: the importance of fit. *PLoS ONE* 2022; 17(1): e0257963. (15 pages).
 18. Viscusi DJ, Bergman MS, Eimer BC, Shaffer RE. Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg* 2009; 53(8): 815–27.
 19. Liao L, Xiao W, Zhao M, Yu X, Wang H, Wang Q, et al. Can N95 respirators be reused after disinfection? How many times? *ACS Nano* 2020; 14(5): 6348–56.
 20. Smith JS, Hanseler H, Welle J, Rattray R, Campbell M, French T, et al. Effect of various decontamination methods on filtration efficiency of N95 respirators. *J Hosp Infect* 2020; 105(4): 663–9.
 21. ปรียานุช บุตรมี, กัญญารัตน์ นิตี, พรเทพ จันทร์คุณภาส. การประเมินวิธีการจัดสิ่งปนเปื้อนของหน้ากาก N95 เพื่อการใช้งานซ้ำจากประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับ. *ว กรมวิทย์ พ* 2567; 66(4): 486–99.

22. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 2480-2562 หน้ากากใช้ครั้งเดียวชนิด N95 ลดความเสี่ยงการติดเชื้อทางการแพทย์. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 พิเศษ 70 ง. [ออนไลน์]. 2563; [สืบค้น 19 ต.ค. 2568]; [13 หน้า]. เข้าถึงได้จาก: URL: <https://a.tisi.go.th/t>.
23. บริษัท ซาย แอนด์ เทคโนโลยี เซอร์วิส จำกัด. 3M 8210 N95 หน้ากากกันฝุ่น ละออง PM2.5 และ PM10. [ออนไลน์]. 2568; [สืบค้น 7 ก.พ. 2569]; [1 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: <https://www.safety-market.com/product/3m-8210-n95>.
24. 3M ประเทศไทย. 3M™ VFlex™ 9105 หน้ากากป้องกันฝุ่นละอองแบบพับได้ N95. [ออนไลน์]. 2568; [สืบค้น 7 ก.พ. 2569]; [1 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: https://www.3m.co.th/3M/th_TH/p/d/v000070763.
25. 3M ประเทศไทย. 3M™ 8210V หน้ากากป้องกันฝุ่น ละออง ฟูมโลหะแบบมีวาล์ว N95. [ออนไลน์]. 2568; [สืบค้น 7 ก.พ. 2569]; [1 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: https://www.3m.co.th/3M/th_TH/p/d/v000202511.
26. N95instock Professional N95 Mask Supplier. DD02V-N95-2K Shigematsu N95 mask made in Japan. [online]. 2024; [cited 2026 Feb 7]; [1 screen]. Available from: URL: <https://n95instock.com/dd02v-n95-2-k-shigematsu-n95-mask-made-in-japan>.
27. Ontiveros CC, Sweeney CL, Smith C, MacIsaac S, Bennett JL, Munoz S, et al. Assessing the impact of multiple ultraviolet disinfection cycles on N95 filtering facepiece respirator in-tegrity. Sci Rep 2021; 11(1): 12279. (9 pages).
28. Xiang Y, Song Q, Gu W. Decontamination of surgical face masks and N95 respirators by dry heat pasteurization for one hour at 70°C. Am J Infect Control 2020; 48(8): 880-2.
29. Mackenzie D. Reuse of N95 masks. Engineering 2020; 6(6): 593-6.
30. Thai NAPCI. ผลการวิจัยการฆ่าเชื้อด้วยการอบร้อนและฉายรังสี UV-C เพื่อนำหน้ากาก N95 และหน้ากากอนามัยกลับมาใช้ซ้ำ. [ออนไลน์]. 2564; [สืบค้น 17 พ.ค. 2569]; [59 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: <https://www.thainapci.org/2021/wp-content/uploads/2021/05/ผลการวิจัยการฆ่าเชื้อด้วยการอบร้อน-และฉา.pdf>.
31. Wang D, Sun BC, Wang JX, Zhou YY, Chen ZW, Fang Y, et al. Can masks be reused after hot water decontamination during the COVID-19 pandemic? Engineering. 2020; 6(10): 1115-21.
32. Fischer RJ, Morris DH, van Doremalen N, Sarchette S, Matson MJ, Kamrud KI, et al. Effectiveness of N95 respirator decontamination and reuse against SARS-CoV-2 virus. Emerg Infect Dis 2020; 26(9): 2253-5.
33. South JT, Case SW, Reifsnider KL. Effects of thermal aging on the mechanical properties of natural rubber. Rubber Chem Technol 2003; 76(4): 785-802.
34. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH guide to the selection and use of particulate respirators certified under 42 CFR 84. [online]. 2020; [cited 2026 Jan 7]; [34 screens]. Available from: URL: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-101/default.html>.

A Study of Decontamination Efficacy on N95 Respirators for Reuse

Kanyarat Nitee, Preeyanut Sutngam, and Pornthep Chancunapas

Bureau of Radiation and Medical Devices, Department of Medical Sciences, Nonthaburi 11000, Thailand

ABSTRACT The outbreak of respiratory diseases, including novel influenza viruses as well as emerging and re-emerging infectious diseases, combined with PM_{2.5} air pollution, may lead to shortages of N95 respirators. The aim of this study was to evaluate the decontamination limits of N95 respirators to ensure their safe reuse. Popular N95 respirators with exhalation valves (8210V and DD02V-N95-2K) and without exhalation valves (8110s and 9105) were randomly selected. Four decontamination methods were evaluated, namely UVC irradiation at a wavelength of 254 nm with a light intensity of at least 400 mW/m² for 20 minutes on each side, dry heat by using hot air oven at 75°C for 30 minutes, immersion in hot water at 60±5°C for 30 minutes, and immersion in boiling water at 100°C for 10 minutes. Protective performance was assessed by measuring particle filtration efficiency testing according to 42 CFR 84, requiring a filtration efficiency of at least 95%, and evaluating fit check of mask according to 29 CFR 1910.134, with a maximum allowable leakage rate of 5%. The results showed that UVC irradiation maintained both particle filtration efficiency and fit check performance within standard criteria throughout 20 decontamination cycles. Dry heat treatment maintained acceptable particle filtration efficiency for 20 cycles; however, fit check performance failed after 13 cycles. Hot water and boiling water immersion reduced particle filtration efficiency and fit check performance below standard limits after only 6 and 4 cycles, respectively. Therefore, UVC irradiation was the most effective decontamination method and did not adversely affect the protective performance of N95 respirators.

Keywords: Reuse limits, N95 respirators, Decontamination, Filtration efficiency