

การประเมินวิธีกำจัดสิ่งปนเปื้อนของหน้ากาก N95 เพื่อการใช้งานซ้ำจากประสิทธิภาพการกรองอนุภาค และความกระชับ

ปริยานุช บุตรมี กัญญารัตน์ นิธิ และ พรเทพ จันทรคุณภาส
สำนักวิจัยและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ถนนพหลโยธิน 11000

บทคัดย่อ หน้ากาก N95 เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่ใช้สำหรับป้องกันเชื้อโรคเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจในช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด 19 บุคลากรทางการแพทย์จำเป็นต้องนำหน้ากาก N95 มาใช้ซ้ำ เนื่องจากสภาวะขาดดุลระหว่างอุปสงค์กับอุปทาน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก N95 เพื่อเป็นฐานข้อมูลรองรับการบริหารจัดการในภาวะขาดแคลนหน้ากาก N95 กรณีเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ โรคติดต่ออุบัติใหม่หรืออุบัติซ้ำ โดยทำการศึกษาวิธีกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี ได้แก่ การใช้แสงยูวี ความร้อนแบบแห้ง (อบลมร้อน) ความร้อนแบบเปียก (แช่น้ำร้อน แช่น้ำเดือด และหม้อนึ่งความดันไอน้ำ) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) ความเข้มข้นร้อยละ 70 (สเปรย์ละอองและจุ่มแช่ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์) และน้ำสบู่ โดยใช้หน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ 9105 เป็นตัวแทนในการศึกษา ประเมินผลโดยตรวจสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับกับใบหน้า พบว่าการใช้แสงยูวี อบลมร้อน แช่น้ำร้อน และแช่น้ำเดือดเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก เนื่องจากไม่พบการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและความกระชับของหน้ากากทั้ง 2 รุ่น ในขณะที่การใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ สเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ แช่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ และน้ำสบู่ ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากพบการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเส้นใยหน้ากากที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งาน

คำสำคัญ: หน้ากาก N95, การกำจัดสิ่งปนเปื้อน, ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค, ความกระชับกับใบหน้า, การใช้ซ้ำ

Corresponding author E-mail: preeyanut.b@dmasc.mail.go.th

Received: 24 July 2024

Revised: 5 November 2024

Accepted: 13 November 2024

บทนำ

หน้ากาก N95 เป็นอุปกรณ์ช่วยป้องกันการแพร่กระจายและการปนเปื้อนฝุ่นละออง สารเคมี ไอระเหย เชื้อแบคทีเรีย หรือเชื้อไวรัส ผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ การออกแบบของตัวกรองที่สามารถกรองฝุ่นละอองและเชื้อโรคขนาด 0.1–0.3 ไมครอน ทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) และสามารถกรองละอองเชื้อไวรัสโควิด 19 ที่มีขนาดประมาณ 0.1 ไมครอน⁽¹⁾ โดยทั่วไปหน้ากาก N95 ผลิตจากโพลีโพรพิลีน (polypropylene) ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการถักทอ (non-woven fabric) ประกอบด้วย 3 ชั้น โดยชั้นที่อยู่ตรงกลางจะทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ซึ่งมีเส้นใยที่เล็กละเอียดระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร เรียกว่า polypropylene melt-blown non-woven fabric ถูกทำให้มีความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าภายในหรือบนพื้นผิว (electrostatic property) ประจุไฟฟ้าสถิตบนเส้นใยของหน้ากากเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยดักจับแบคทีเรียหรือไวรัสได้⁽²⁾ ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2563–2565 ทั่วโลกต้องรับมือกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด 19 ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (personal protective equipment; PPE) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน้ากาก N95 ซึ่งมีคุณสมบัติดังที่กล่าวข้างต้นและมีลักษณะที่สามารถครอบลงบริเวณปากและจมูกอย่างมิดชิด จึงทำให้เชื้อไวรัสไม่สามารถลอดผ่านได้ ป้องกันการแพร่กระจายของละอองไปยังผู้สวมใส่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽³⁾ หน้ากากอนามัยชนิดอื่นๆ ได้แก่ หน้ากากกันฝุ่นทั่วไป หน้ากากทางการแพทย์ หน้ากากผ้า และหน้ากากฟองน้ำ ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเช่นกัน เนื่องจากหาซื้อง่ายและมีราคาถูกกว่าหน้ากาก N95 แต่ประสิทธิภาพในการป้องกันฝุ่นละอองหรือเชื้อไวรัสต่ำกว่าหน้ากาก N95 และต้องใส่ 2 ชั้นซ้อนกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันเชื้อโรค ขณะที่หน้ากากแบบมีวาล์วมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับหน้ากาก N95 แต่ไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคได้ เนื่องจากเมื่อมีการไอ จาม หรือหายใจ ละอองน้ำลายสามารถออกมาตามวาล์วที่อยู่ด้านหลังได้ ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานในช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส

โควิด 19⁽⁴⁾ จากประสิทธิภาพการป้องกันเชื้อไวรัสของหน้ากากดังกล่าว ส่งผลให้ความต้องการใช้หน้ากาก N95 มีมากกว่าหน้ากากชนิดอื่น โดยขณะนั้นบริษัทผู้ผลิตหรือนำเข้าหน้ากาก N95 มี 13 บริษัท⁽⁵⁾ ทำให้ไม่สามารถผลิตหรือนำเข้าหน้ากาก N95 ได้ตามความต้องการ อีกทั้งเกิดสถานการณ์ขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตหน้ากาก ทำให้เกิดปัญหาการกักตุนหน้ากากและราคาพุ่งสูงขึ้นมากกว่าปกติ 2–3 เท่า รวมทั้งมีการผลิตและจำหน่ายหน้ากากที่ไม่ได้มาตรฐาน^(6,7)

ปัญหาการขาดแคลนหน้ากาก N95 ในช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อโควิด 19 ทำให้บุคลากรทางการแพทย์ต้องนำหน้ากาก N95 มาใช้ซ้ำ (reused) การใช้หน้ากากซ้ำจะทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันลดลงและอาจมีเชื้อไวรัสสะสมที่หน้ากาก⁽⁸⁾ ส่งผลให้บุคลากรทางการแพทย์มีความเสี่ยงในระหว่างปฏิบัติหน้าที่ จึงนำมาสู่การหาวิธีการฆ่าเชื้อไวรัสเพื่อนำหน้ากากมาใช้ซ้ำ แต่การฆ่าเชื้อวิธีนี้อาจทำให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (filtration efficiency) และความกระชับกับใบหน้า (fit check) ของหน้ากากไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากคุณสมบัติของแผ่นกรองเสื่อมสภาพ เกิดการรั่วซึม ทำให้ไม่สามารถป้องกันละอองของเชื้อไวรัสได้^(9,10) มาตรฐานสากลของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา (National Institute for Occupational Safety and Health; NIOSH) ระบุว่า หน้ากาก N95 ต้องมี filtration efficiency ที่ไม่ใช้น้ำมันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 ไมครอน ในอากาศได้อย่างน้อยร้อยละ 95⁽¹¹⁾ และ fit check ต้องมีค่าอัตราการรั่วของละอองฝอยภายในหน้ากาก (leakage rate) น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 5⁽¹²⁾

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวิธีการกำจัดการปนเปื้อนเพื่อให้สามารถฆ่าเชื้อโรคบนหน้ากาก N95 และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยยังคงมีประสิทธิภาพการป้องกันละอองของเชื้อโรคเป็นไปตามมาตรฐานและเป็นแนวทางสำหรับรองรับการบริหารจัดการในภาวะขาดแคลนหน้ากาก N95 ถึงแม้ปัจจุบันโรคโควิด 19 จัดเป็นโรคประจำถิ่นและสถานการณ์ขาดแคลนหน้ากาก N95 ลดลง แต่อาจเกิดกรณีโรคอุบัติซ้ำขึ้นเนื่องมาจากการกลายพันธุ์ของโรคจนเกิดความรุนแรงหรือ

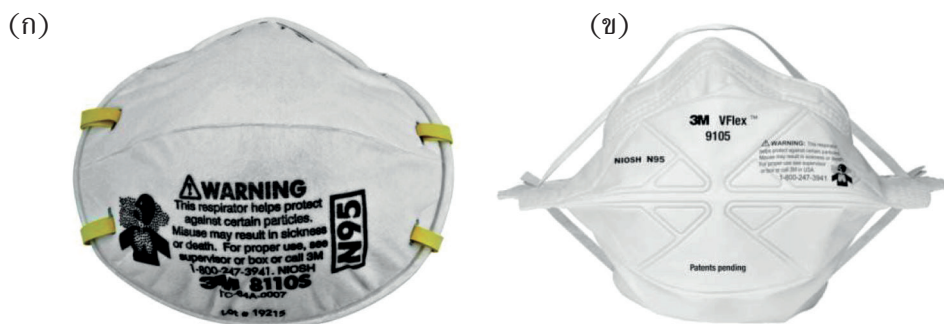
โรคอุบัติใหม่ที่จะเกิดการแพร่ระบาดในวงกว้าง นอกจากนี้การเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ เช่น แผ่นดินไหว ไฟไหม้ อาจทำให้เกิดฝุ่นละอองหรือมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้หน้ากาก N95 อาจไม่เพียงพอประชาชนอาจจำเป็นต้องใช้หน้ากาก N95 ซ้ำในการป้องกันตนเอง จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า การกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก N95 เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้มีหลายวิธี ได้แก่ การใช้แสงยูวี การใช้ความร้อนแบบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เตามาโครเวฟ หรือหม้อหุงข้าว การใช้ความร้อนแบบเปียกด้วยน้ำร้อน น้ำเดือด หรือหม้อนึ่งความดันไอน้ำ การใช้สารทำความสะอาด เช่น สบู่หรือผงซักฟอก และการใช้สารเคมี เช่น ethyl alcohol, ethylene oxide, isopropanol, sodium hypochlorite, chlorine dioxide หรือไอระเหยของ hydrogen peroxide^(13,14) การใช้สารเคมีในการฆ่าเชื้อโรคบนหน้ากากอาจ

ทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีที่เป็นพิษหรือก่อมะเร็งได้⁽¹⁵⁾ การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการประเมินวิธีการกำจัดการปนเปื้อนที่มีความปลอดภัย 8 วิธี ซึ่งประชาชนสามารถทำได้ที่บ้านหรือใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการหรือสถานพยาบาล ได้แก่ การใช้แสงยูวี อบลมร้อน แขน้ำร้อน แขน้ำเดือด หม้อนึ่งความดันไอน้ำ สเปรย์สารละลาย ethyl alcohol แขน้ำละลาย ethyl alcohol และแขน้ำสบู่ โดยประเมินจากการตรวจสอบ filtration efficiency และ fit check ใช้หน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ 9105 เป็นตัวแทนในการศึกษา

วัสดุและวิธีการ

วัสดุ

หน้ากาก N95 รุ่น 8110s (3M™, Thailand) และหน้ากาก N95 รุ่น 9105 (VFlex™, Thailand) ดังแสดงในภาพที่ 1(ก) และ (ข) ตามลำดับ



ภาพที่ 1 หน้ากาก N95 (ก) รุ่น 8110s และ (ข) รุ่น 9105

เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องมือ: เครื่องทดสอบ filtration efficiency ของหน้ากาก N95 (G506, QINSUN, China), เครื่องทดสอบ fit check (MT-05U, SIBATA, Japan), ตู้ปราศจากเชื้อ (A2, Thermo Fisher Scientific, USA), ตู้อบลมร้อน (TS 8136, Termaks, Norway), ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (ZXMP-R1150, Labwit Scientific, Australia), เต้าให้ความร้อน (C-MAG HS7, IKA, Germany) และเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อแบบ autoclave (Autoclave, SX-500, Tomy, Japan)

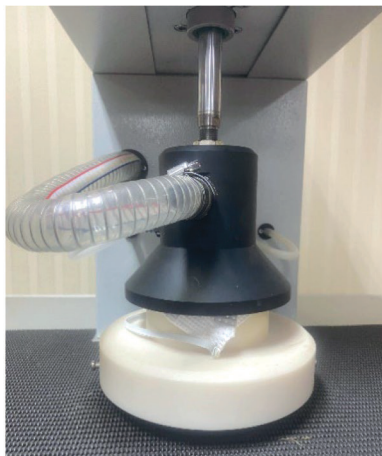
สารเคมี: NaCl (Supleco, USA), NaCl tablets (USP 100 mg tablets) (SIBATA, Japan) และ ethyl alcohol (EtOH, 99.9% absolute anhydrous, ACS) (Carlo Erba, Italy)

การทดสอบ filtration efficiency

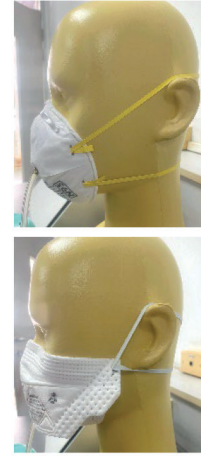
ดำเนินการทดสอบหน้ากาก N95 ทั้ง 2 รุ่น ตามวิธีมาตรฐาน 42 CFR 84⁽¹⁶⁾ subpart K (air-purifying particulate respiration) ข้อ 84.174 (filter efficiency level determination test-non-powdered series N, R, and P filtration) โดยนำหน้ากาก N95 ใส่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ที่อุณหภูมิ

38 ± 2.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ $85 \pm 5\%RH$ เป็นเวลา 25 ± 1 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบเตรียมสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร จากผง NaCl ที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 0.1–0.3 ไมโครเมตร จากนั้นเตรียมสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 ± 5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ $30 \pm 10\%RH$ นำหน้ากาก N95 วางบนเครื่องทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2(ก) กวาดโดยตั้งค่าการปล่อยอนุภาคของสารละลาย NaCl เจือปนในอากาศที่มีการไหล เท่ากับ 85 ลิตรต่อนาที ผ่านหน้ากากอย่างต่อเนื่อง เครื่องจะตรวจวัดความเข้มข้นของละอองฝอย NaCl ที่ผ่านด้านบนและด้านล่างของหน้ากาก เป็นเวลา 5 นาที และแสดงผลเป็นค่าร้อยละของ filtration efficiency

(ก)



(ข)



ภาพที่ 2 (ก) การวัด filtration efficiency และ (ข) การวัด fit check ของหน้ากาก N95

วิธีกำจัดการปนเปื้อนของหน้ากาก

เตรียมหน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ 9105 รุ่นละ 8 ชุดทดสอบ โดยใช้จำนวน 5 ชิ้นต่อชุด จากนั้นตรวจสอบ filtration efficiency และ fit check ของหน้ากากทั้งหมด ได้ผลการทดสอบก่อนผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (treatment cycle ที่ 0) จากนั้นนำหน้ากากแต่ละชุดไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ 8 วิธี และตรวจสอบ filtration efficiency และ fit check ได้ผลการทดสอบหลังผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อนครั้งที่ 1 (treatment cycle ที่ 1) หากผลการทดสอบผ่านเกณฑ์นำหน้ากากชุดเดิมผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและตรวจวัด filtration

การทดสอบ fit check

ดำเนินการทดสอบหน้ากาก N95 ทั้ง 2 รุ่น ตามวิธีมาตรฐาน 29 CFR 1910.134⁽¹⁷⁾ subpart I (OSHA-accepted fit test protocols) appendix A หัวข้อ C (quantitative fit test protocols; QNFT) โดยเตรียมสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร จากเม็ด NaCl ที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 0.1–0.3 ไมโครเมตร จากนั้นเลียบสายยางเชื่อมต่อระหว่างรูที่เจาะบริเวณตรงกลางของหน้ากากกับเครื่องทดสอบ นำตัวอย่างหน้ากาก N95 สวมเข้าในหุ่นจำลองให้พอดีบริเวณใบหน้า ดังแสดงในภาพที่ 2(ข) ควบคุมความชื้นของห้องทดสอบให้ต่ำกว่า 50%RH จากนั้นพ่นฝอยของละออง NaCl จากเม็ด NaCl เป็นเวลา 5 นาที ก่อนกวาด เครื่องจะวัดปริมาณ NaCl ข้างในเปรียบเทียบกับข้างนอกหน้ากาก และแสดงผลเป็นค่าร้อยละของ leakage rate

efficiency และ fit check อีกครั้ง ได้ผลการทดสอบครั้งที่ 2 (treatment cycle ที่ 2) และ 3 (treatment cycle ที่ 3) ตามลำดับ โดยวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี ดังแสดงในภาพที่ 3

การใช้แสงยูวี (Ultraviolet C; UVC)⁽¹⁸⁾: นำหน้ากาก N95 วางในตู้ปราศจากเชื้อที่ผ่านการสอบเทียบ จากนั้นเปิดระบบการทำงาน ปิดบานกระจกลงมาต่ำสุด แล้วกดเปิดหลอดไฟยูวี ซึ่งมีความยาวคลื่นที่ 254 นาโนเมตร และความเข้มแสงบนพื้นผิวที่วางหน้ากากไม่น้อยกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ฉายแสงยูวีบนหน้ากากฝั่งละ 20 นาที

การอบลมร้อน (hot air oven)⁽¹⁹⁾: เปิดตู้อบลมร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างหน้ากาก N95 เข้าตู้และอบ เป็นเวลา 30 นาที

การแช่น้ำร้อน (hot water)⁽²⁰⁾: เติมน้ำกลั่นในบีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร จากนั้นวางบนเตาให้ความร้อนแบบดิจิทัล โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 60 ± 5 องศาเซลเซียส วัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทที่ผ่านการสอบเทียบ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิตามที่ตั้งค่าไว้ นำหน้ากากแช่ลงในน้ำ เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 12 ชั่วโมง

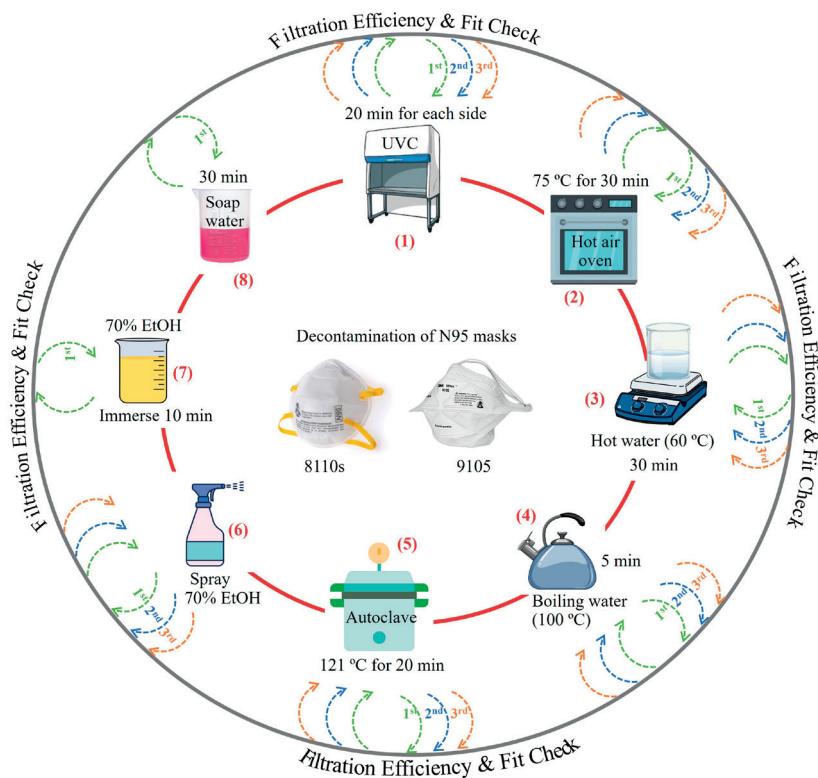
การแช่น้ำเดือด (boiling water)⁽²¹⁾: ต้มน้ำกลั่นด้วยกาต้มน้ำให้เดือด จากนั้นใส่บีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร แช่หน้ากากในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 12 ชั่วโมง

การใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)⁽²²⁾: นำตัวอย่างหน้ากาก N95 ใส่ในเครื่อง autoclave ที่ผ่านการสอบเทียบ ตั้งค่าอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำงานเท่ากับ 20 นาที เมื่อครบเวลานำหน้ากากออก แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 12 ชั่วโมง

การใช้สเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ (spray EtOH)⁽²³⁾: เตรียมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 จากสารเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 99.9 จากนั้นใส่ในขวดสเปรย์พลาสติก แล้วฉีดใส่ตัวอย่างหน้ากากให้ชุ่มทั้งสองด้าน ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 12 ชั่วโมง

การแช่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ (immerse EtOH)⁽²⁴⁾: เตรียมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 จากสารเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 99.9 จากนั้นเทสารละลายที่เตรียมได้ใส่บีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร และนำตัวอย่างหน้ากากลงแช่ เป็นเวลา 10 นาที ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 12 ชั่วโมง

การแช่น้ำสบู่ (soap water)⁽²⁵⁾: เตรียมน้ำสบู่โดยชั่งน้ำหนักของสบู่ก้อน Ivory ปริมาณ 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นแช่ตัวอย่างหน้ากากในน้ำสบู่ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลานำหน้ากากออก แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 12 ชั่วโมง



ภาพที่ 3 วิธีการกำจัดการปนเปื้อน 8 วิธี

ผล

ดำเนินการศึกษา filtration efficiency ของหน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ 9105 หลังผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 1 ศึกษาโดยใช้หน้ากาก จำนวน 5 ชิ้น อ้างอิงจำนวนจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) เลขที่ 2480-2562⁽²⁶⁾ มีความเที่ยงสูง เนื่องจากพบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ในช่วงร้อยละ 0.1-1.9 ผลการศึกษาพบว่าหน้ากากรุ่น 8110s มีค่า filtration efficiency มากกว่าร้อยละ 95 หลังผ่านการทำซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง ด้วยแสงยูวี อบลมร้อน แขน้ำร้อน แขน้ำเดือด และสเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ ขณะที่ filtration efficiency ลดลงเรื่อยๆ หลังการใช้หมอนึ่งความดันไอน้ำ โดยมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 95 ในการทำซ้ำครั้งที่ 3

นอกจากนี้พบว่าการแช่ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ และแขนน้ำสบู่มิมีผลต่อตัวกรองของหน้ากากรุ่น 8110s ทำให้ filtration efficiency ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 95 ในครั้งแรก ส่วนหน้ากากรุ่น 9105 พบว่า filtration efficiency มีค่ามากกว่าร้อยละ 95 หลังผ่านการทำซ้ำทั้ง 3 ครั้ง ด้วยวิธีการใช้แสงยูวี อบลมร้อน แขน้ำร้อน แขน้ำเดือด และหมอนึ่งความดันไอน้ำ ในขณะที่ filtration efficiency ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานหลังจากสเปรย์ด้วยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ครั้งที่ 2 นอกจากนี้ผลการศึกษาสอดคล้องกับหน้ากากรุ่น 8110s ที่พบว่าการแช่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์และแขนน้ำสบู่ ส่งผลให้ filtration efficiency ไม่ผ่านเกณฑ์หลังการใช้วิธีดังกล่าวในครั้งแรก

ตารางที่ 1 ค่า filtration efficiency ของหน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ 9105 หลังผ่านวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี

วิธี	หน้ากากรุ่น 8110s				หน้ากากรุ่น 9105			
	0*	1 [#]	2 [#]	3 [#]	0*	1 [#]	2 [#]	3 [#]
แสงยูวี	97.9±0.1	97.1±0.2	97.6±0.3	96.4±1.0	99.0±1.3	97.1±0.2	97.9±0.5	97.8±0.2
อบลมร้อน	98.4±0.3	98.9±0.5	99.7±0.1	98.9±0.1	97.0±1.6	97.2±0.1	98.9±0.5	97.8±1.1
แขนน้ำร้อน	97.5±0.2	97.3±0.7	96.4±1.2	96.6±0.5	97.1±1.1	96.2±0.3	95.2±0.1	95.6±1.2
แขนน้ำเดือด	95.5±0.2	96.4±1.1	95.8±1.4	95.4±1.1	98.8±1.1	98.1±0.4	96.3±0.8	96.0±1.4
หมอนึ่งความดันไอน้ำ	98.2±0.2	96.4±0.9	95.3±0.8	88.6±1.3	95.9±1.4	95.2±0.1	95.2±0.2	95.9±1.3
สเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์	97.5±0.1	95.8±0.4	96.9±0.8	95.9±0.7	96.5±0.2	96.2±0.6	94.8±0.7	94.4±0.4
แช่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์	97.6±0.2	91.6±1.7	ND	ND	95.1±0.4	93.9±0.5	ND	ND
แขนน้ำสบู่	95.8±0.6	88.2±1.7	ND	ND	96.4±0.5	80.9±0.9	ND	ND

หมายเหตุ: ND คือ ไม่ได้ศึกษา เนื่องจากประสิทธิภาพของหน้ากากไม่ผ่านเกณฑ์ตั้งแต่การทดสอบครั้งแรก

* คือ ผลการทดสอบก่อนผ่านการฆ่าเชื้อ

[#] คือ ผลการทดสอบหลังผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ผลการศึกษา fit check ของหน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ 9105 หลังผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า leakage rate ของหน้ากากรุ่น 8110s มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 หลังผ่านการทำซ้ำทั้ง 3 ครั้ง ด้วยแสงยูวี อบลมร้อน แขน้ำร้อน แขน้ำเดือด และสเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ ขณะที่ leakage rate เกินเกณฑ์หลังจากใช้หมอนึ่งความดันไอน้ำซ้ำในครั้งที่ 3 นอกจากนี้พบว่า leakage rate ของหน้ากากเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจากแช่ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ในครั้งแรก แต่การแขนน้ำสบู่

ไม่ส่งผลกระทบต่อ fit check ของหน้ากากรุ่น 8110s สำหรับหน้ากากรุ่น 9105 พบว่า leakage rate ของหน้ากากมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 หลังผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี อบลมร้อน แขน้ำร้อน แขน้ำเดือด และหมอนึ่งความดันไอน้ำ ในขณะที่การสเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์สามารถทำซ้ำได้เพียง 2 ครั้ง และผลที่ได้สอดคล้องกับหน้ากากรุ่น 8110s ซึ่งพบว่าการแช่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ทำให้ leakage rate ของหน้ากากเกินเกณฑ์มาตรฐานในครั้งแรก แต่การแขนน้ำสบู่ไม่ส่งผลกระทบต่อ fit check ของหน้ากากรุ่น 9105

ตารางที่ 2 ค่า leakage rate จากการฝึกหัด fit check ของหน้ากาก N95 รุ่น 8110s และ 9105 หลังผ่านวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี

วิธี	หน้ากากรุ่น 8110s				หน้ากากรุ่น 9105			
	0 [*]	1 [#]	2 [#]	3 [#]	0 [*]	1 [#]	2 [#]	3 [#]
แสงยูวี	3.9±0.4	3.2±1.0	2.9±1.3	2.0±0.6	1.3±0.2	0.5±0.2	3.0±1.0	2.7±0.2
อบลมร้อน	2.9±0.7	3.1±1.13	3.2±0.7	2.3±0.7	0.8±0.3	3.3±0.6	1.3±0.6	2.2±0.9
แช่น้ำร้อน	1.3±0.4	2.4±0.08	3.4±0.5	3.6±0.6	1.8±0.7	2.2±1.1	3.0±0.8	1.6±0.7
แช่น้ำเดือด	2.7±0.07	1.3±0.6	2.9±1.0	1.9±0.9	2.2±0.9	2.5±0.8	2.3±1.1	1.8±0.5
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	1.8±0.8	4.2±1.1	3.2±1.5	6.2±1.6	2.4±0.8	2.9±0.4	0.7±0.2	3.1±0.8
สเปรย์สารละลาย	1.7±0.6	0.8±0.3	3.3±0.6	2.8±1.1	1.5±0.6	1.5±0.7	1.0±0.4	5.3±0.3
เอทิลแอลกอฮอล์								
แช่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์	2.3±1.0	13.8±1.9	ND	ND	1.0±0.5	6.2±1.0	ND	ND
แช่น้ำสบู่	1.5±0.7	3.6±1.4	ND	ND	2.5±0.9	4.2±0.9	ND	ND

หมายเหตุ: ND คือ ไม่ได้ศึกษา ตามผลการทดสอบ filtration efficiency (ตารางที่ 1)

* คือ ผลการทดสอบก่อนผ่านการฆ่าเชื้อ

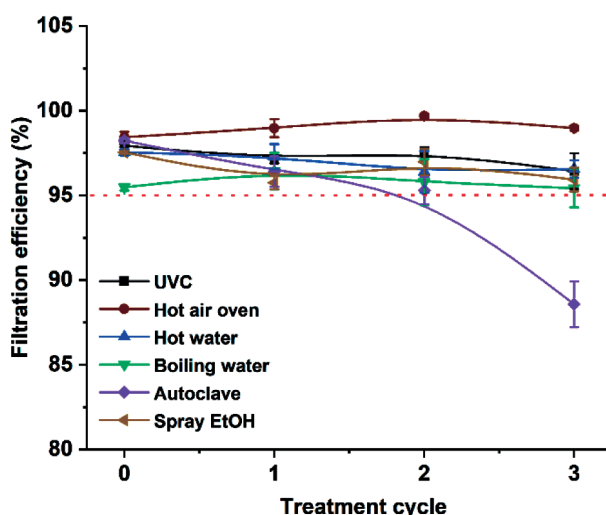
คือ ผลการทดสอบหลังผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากผลการฝึกหัด filtration efficiency ของหน้ากากทั้ง 2 รุ่น สามารถแบ่งกลุ่มได้ว่าการใช้แสงยูวี อบลมร้อน แช่น้ำร้อน แช่น้ำเดือด หม้อนึ่งความดันไอน้ำ และสเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ สามารถนำมาใช้ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก N95 เพื่อการใช้งานซ้ำได้ อีกทั้งสามารถทำซ้ำได้ถึง 3 ครั้ง ยกเว้นการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำกับหน้ากากรุ่น 8110s สามารถใช้ซ้ำได้ 2 ครั้ง และการสเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์กับหน้ากากรุ่น 9105 สามารถทำซ้ำได้เพียงครั้งเดียว ดังแสดงในภาพที่ 4(ก) และ 4(ข) ผลที่แตกต่างกันของ

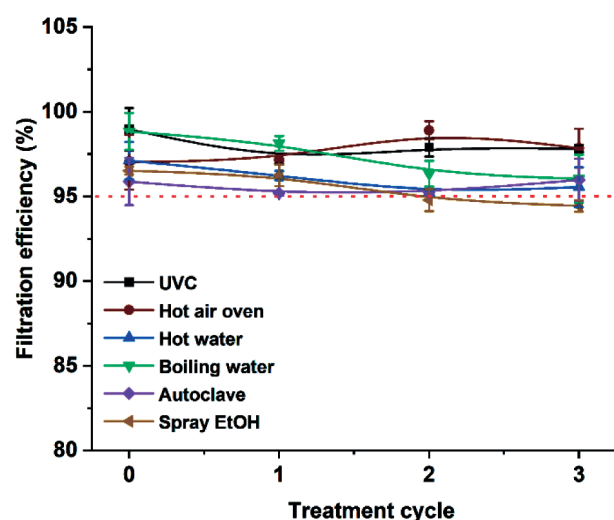
หน้ากากทั้งสองรุ่นอาจเป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของหน้ากากแต่ละชนิด นอกจากนี้ผลของความกระชับกับใบหน้าสอดคล้องกัน ดังแสดงในภาพที่ 4(ค) และ 4(ง)

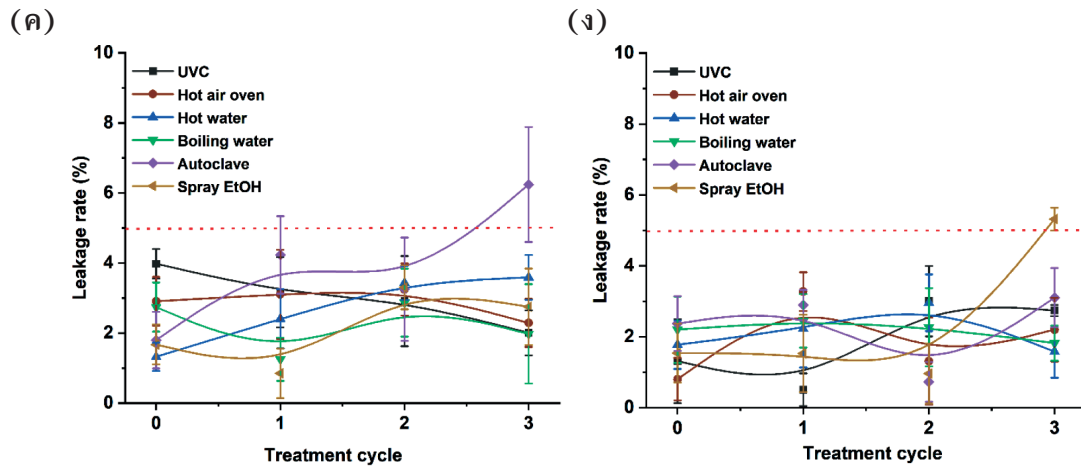
การแช่หน้ากากในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ และแช่น้ำสบู่เป็นวิธีที่ไม่ควรนำมาประยุกต์ใช้สำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก N95 เนื่องจาก filtration efficiency และ fit check ของหน้ากากรุ่น 8110s และ 9105 ต่ำกว่าเกณฑ์หลังการใช่วิธีดังกล่าวในครั้งแรก ดังแสดงในภาพที่ 5

(ก)

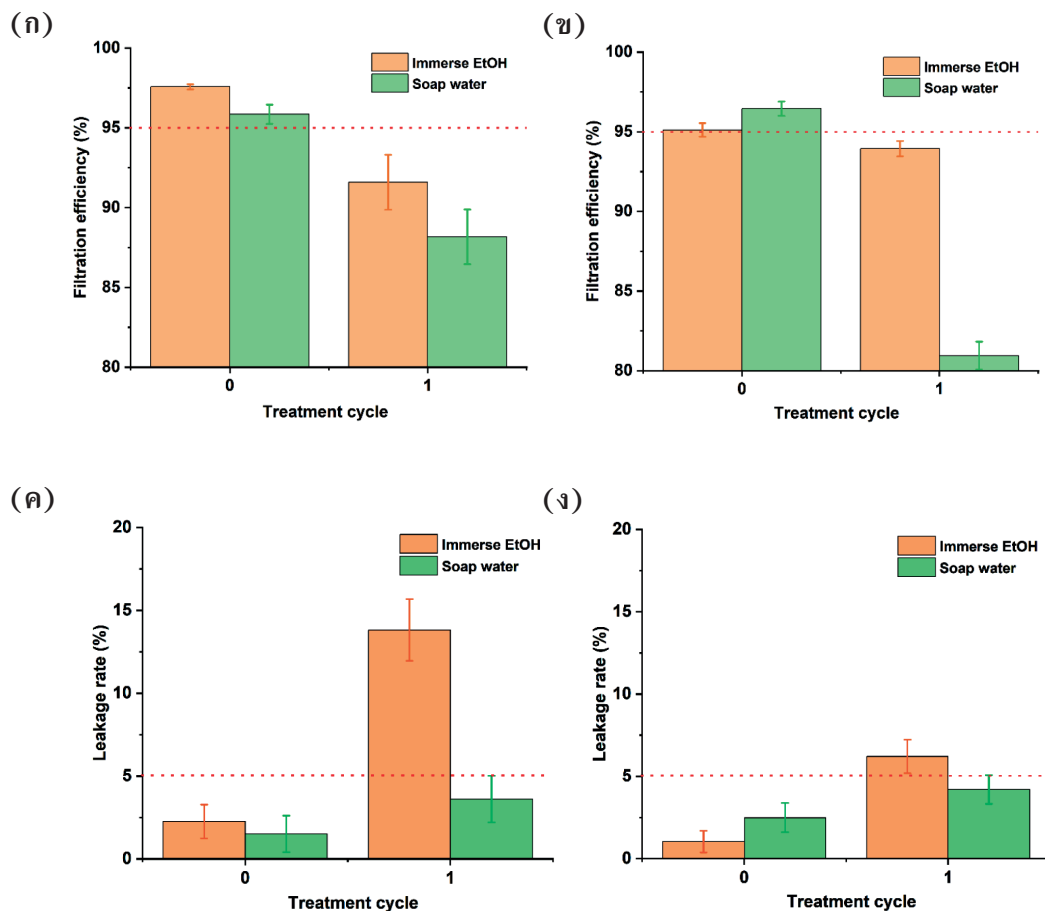


(ข)





ภาพที่ 4 filtration efficiency ของหน้ากาก (ก) 8110s และ (ข) 9105 และ leakage rate จากการศึกษ fit check ของหน้ากาก (ค) 8110s และ (ง) 9105 หลังผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยแสงยูวี อบลมร้อน แขน้ำร้อน แขน้ำเดือด หม้อนึ่งความดันไอน้ำ และสเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ เมื่อ treatment cycle ที่ 0 คือ ผลการทดสอบก่อนผ่านการฆ่าเชื้อ และที่ 1, 2, 3 คือ ผลการทดสอบหลัง ผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 filtration efficiency ของหน้ากาก (ก) 8110s และ (ข) 9105 และ leakage rate จากการศึกษ fit check ของหน้ากาก (ค) 8110s และ (ง) 9105 หลังผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยการแช่ ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์และแขน้าสบู่ เมื่อ treatment cycle ที่ 0 คือ ผลการทดสอบก่อนผ่านการ ฆ่าเชื้อ และที่ 1 คือ ผลการทดสอบหลังผ่านการฆ่าเชื้อ

วิจารณ์

การศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของหน้ากาก N95 หลังผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี โดยหน้ากากรุ่น 8110s มีลักษณะเป็นรูปทรงถ้วย (cup shapes) ถูกใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา เนื่องจากเป็นหน้ากาก N95 รุ่นที่นิยมใช้มากที่สุด และใช้หน้ากากรุ่น 9105 เป็นตัวแทนของหน้ากากที่มีรูปทรงพับสองชั้น (v-shape pleats) จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีการศึกษาวิธีที่หลากหลายสำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก N95 แต่การศึกษาใช้หน้ากาก N95 เพียงรุ่นเดียว อีกทั้งประเมินความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่โดยตรวจสอบ filtration efficiency ร่วมกับการทดสอบความต่างของความดัน (pressure drop) หรือการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)⁽¹³⁻¹⁵⁾ ขณะที่การทดสอบ fit check ยังมีจำกัด ซึ่งศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control and Prevention; CDC) แนะนำว่าต้องประเมิน filtration efficiency ร่วมกับ fit check ของหน้ากากหลังผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อน⁽²⁷⁾ ดังนั้นผลการศึกษานี้ให้ข้อมูลที่เพียงพอครอบคลุมคำแนะนำของ CDC และวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี ที่สามารถทำได้เองที่บ้านหรือใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการหรือสถานพยาบาล รวมทั้งศึกษาหน้ากาก N95 สองรุ่นที่ใช้กันมาก

การใช้แสงยูวีเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรคบนหน้ากาก เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย ผลการศึกษายืนยันว่าการฉายแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร บนหน้ากาก N95 ทั้งสองรุ่น ไม่ส่งผลต่อ filtration efficiency และ fit check ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ontiveros C และคณะ⁽¹⁸⁾ นอกจากนี้ยังไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหรือเส้นใยของหน้ากาก แต่การใช้แสงยูวีมีข้อจำกัด คือ ต้องใช้เครื่องมือและต้องทำในสถานที่ที่มีความเหมาะสม เนื่องจากรังสียูวีสามารถทำลายเซลล์เนื้อเยื่อของผิวหนังและส่งผลให้เกิดเป็นมะเร็งผิวหนังได้⁽²⁸⁾

การใช้ความร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรคเนื่องจากความร้อนสามารถกระตุ้นให้โปรตีนเสื่อมสภาพ

และส่งผลให้เชื้อไวรัสสูญเสียความสามารถในการติดเชื้อ⁽²⁹⁾ จึงศึกษาวิธีการใช้ความร้อนทั้งแบบแห้งและแบบเปียกสำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ การอบลมร้อน แขน้ำร้อน แขน้ำเดือด และการใช้หม้อนึ่ง ความดันไอน้ำ พบว่าการอบลมร้อนเป็นอีกหนึ่งวิธีที่เหมาะสมไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานของหน้ากาก N95 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการศึกษาของ Xiang Y และคณะ⁽¹⁹⁾ ที่ระบุว่าการใช้ความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส สามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อ filtration efficiency ของหน้ากาก N95 แต่การอบลมร้อนมีข้อจำกัดในด้านเครื่องมือ จำเป็นต้องทำในสถานพยาบาลหรือห้องปฏิบัติการ และต้องมีการดูแลตู้อบเพื่อให้มั่นใจว่าอุณหภูมิที่ใช้คงที่และตรงตามที่ตั้งไว้ตลอดกระบวนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน ขณะที่การใช้น้ำร้อนหรือน้ำเดือดสามารถทำได้ง่ายกว่าและประชาชนสามารถทำได้เอง ผลการศึกษาพบว่าวิธีดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อ filtration efficiency และ fit check ของหน้ากาก N95 อีกทั้งไม่ทำให้คุณสมบัติในการกันน้ำและเส้นใยของหน้ากากเปลี่ยนแปลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang D และคณะ⁽²⁾ ที่พบว่าการแช่หน้ากาก N95 ในน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 56 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถฆ่าเชื้อไวรัสโคโรนาบนพื้นผิวของหน้ากากได้และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการกรองอนุภาคของหน้ากาก การศึกษาของ Juang PS และ Tsai P⁽²¹⁾ พบว่าหน้ากาก N95 ยังคง filtration efficiency ในช่วงร้อยละ 92.4-98.5 หลังผ่านการแช่น้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที ข้อควรระวังของการแช่น้ำร้อนและแช่น้ำเดือด คือ ไม่ควรกวนหน้ากากในระหว่างดำเนินการ เพราะจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างทางกายภาพของหน้ากากและควรปล่อยให้หน้ากากแห้งโดยธรรมชาติก่อนนำไปใช้งาน

การใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำเป็นวิธีฆ่าเชื้อที่ใช้ในสถานพยาบาลและห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา⁽²⁹⁾ ผลการศึกษาพบว่าหน้ากาก N95 รุ่น 8110s เสื่อมสภาพไปหลังจากใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยค่า filtration efficiency ลดลงถึงร้อยละ 88 และ leakage rate ของหน้ากากเกินค่ามาตรฐานหลังจากทำซ้ำครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพ

ที่ลดลงนี้อาจเป็นผลมาจากพลาสติกโพลีโพรพิลีนย่อยสลาย (degradation) เมื่ออยู่ในความร้อนสูง⁽²⁰⁾ การศึกษาของ Zorko DJ และคณะ⁽¹³⁾ พบว่าการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำทำให้ตัวกรองหน้ากากหมดตัวและเกิดรอยพับจึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลง

การใช้สารเคมีสำหรับฆ่าเชื้อโรคเป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 70⁽³⁰⁾ จึงศึกษาโดยพ่นสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์บนหน้ากาก N95 พบว่าหน้ากากรุ่น 9105 มีค่า filtration efficiency ต่ำกว่าเกณฑ์หลังผ่านการทำซ้ำครั้งที่ 2 และ leakage rate ของหน้ากากเกินเกณฑ์เล็กน้อยหลังการทำซ้ำครั้งที่ 3 นอกจากนี้พบว่า filtration efficiency และ leakage rate ของหน้ากาก N95 ทั้งสองรุ่นต่ำกว่าเกณฑ์หลังจากแช่ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ในครั้งแรก สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าการใช้แอลกอฮอล์จะส่งผลให้ filtration efficiency ของหน้ากากลดลงร้อยละ 67⁽²¹⁾ ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของแรงตึงผิว (surface tension) ของเส้นใยภายในหน้ากากหลังจากดูดซับแอลกอฮอล์ อีกทั้งแอลกอฮอล์สามารถทำลายประจุไฟฟ้าสถิตบนตัวกรองของหน้ากาก^(14,15)

การแช่น้ำสบู่ พบว่า filtration efficiency ของหน้ากากทั้งสองรุ่นต่ำกว่าเกณฑ์หลังผ่านการแช่น้ำสบู่เพียง 1 ครั้ง แต่น้ำสบู่ไม่ได้ส่งผลให้ leakage rate ของหน้ากากเกินค่าที่มาตรฐานกำหนด อาจเป็นผลมาจากสบู่ไม่ได้ทำให้โครงสร้างของเส้นใยเปลี่ยนแปลงจากการศึกษาของ Juang PS และ Tsai P⁽²¹⁾ พบว่าการใช้น้ำสบู่ทำให้ filtration efficiency ลดลงร้อยละ 54 และจากการศึกษาของ Probst LF และคณะ⁽¹⁴⁾ พบว่าสารลดแรงตึงผิวในสบู่มีผลทำให้ประจุไฟฟ้าสถิตบนหน้ากากหายไป

ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา ยืนยันว่าหน้ากากที่ผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อนสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อย่างปลอดภัย แต่วิธีฆ่าเชื้อที่เลือกใช้ต้องมีความเหมาะสม คือ ต้องฆ่าเชื้อโรคได้ ไม่มีสารตกค้างจากสารเคมี และไม่ทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันละอองของเชื้อโรคลดลง⁽²⁷⁾ อย่างไรก็ตามการใช้หน้ากากซ้ำอาจทำให้มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้ง่าย เนื่องจาก

การถอด/ใส่หน้ากาก การเก็บรักษาที่ไม่ถูกต้อง หรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนผิดวิธี ดังนั้นในภาวะที่ไม่ขาดแคลนหน้ากากไม่ควรนำหน้ากากมาใช้ซ้ำเพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงดังกล่าว แต่หากเกิดการขาดแคลนหน้ากาก N95 จากเหตุการณ์ภัยพิบัติ โรคติดต่ออุบัติใหม่หรืออุบัติซ้ำ การใช้หน้ากากซ้ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการแพร่กระจายระหว่างเชื้อโรค ซึ่งการใช้หน้ากากซ้ำ 3 ครั้งต่อคน สามารถช่วยลดการขาดแคลนหน้ากากได้อย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หน้ากาก 1 ครั้งต่อคน นอกจากนี้ก่อนใช้หน้ากากซ้ำต้องทำตามคำแนะนำจากองค์กรที่เชื่อถือได้ เช่น NIOSH หรือ CDC ได้แก่ ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของหน้ากากก่อนเสมอ เช่น ตรวจสอบสายรัด สันจมูกและวัสดุโฟมจมูกว่าไม่เสื่อมสภาพ ตรวจสอบว่าไม่มีรอยฉีกขาดหรือเปื้อนสิ่งสกปรก และก่อนใช้งานต้องล้างมือให้สะอาด หลีกเลี่ยงการจับด้านใน ใช้ถุงมือที่สะอาดช่วยในการสวมใส่ เป็นต้น ควรจำกัดจำนวนรอบการใช้งานหน้ากากซ้ำ เนื่องจากหน้ากาก N95 ผลิตจากวัสดุโพลีโพรพิลีน กระบวนการฆ่าเชื้ออาจทำให้เกิดไมโครพลาสติก (microplastics) ขึ้น⁽³¹⁾ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ยิ่งไปกว่านั้นการสูดดมไมโครพลาสติกจะทำให้ส่งผลเรื้อรังต่อสุขภาพ เช่น ฝังลงในปอดถูกทำลาย เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะถุงลมโป่งพอง โรคมะเร็งปอด เป็นต้น^(32,33)

สรุป

การศึกษาระบบการกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก N95 ด้วยวิธีที่ไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและมีความปลอดภัย ประชาชนสามารถทำได้เองหรือเป็นวิธีที่ใช้ในสถานพยาบาลหรือห้องปฏิบัติการ เพื่อรองรับภาวะขาดแคลนหน้ากากที่อาจเกิดขึ้นจากโรคติดต่ออุบัติใหม่หรืออุบัติซ้ำ หรือเหตุการณ์ภัยพิบัติในอนาคต จากการศึกษาวิธีกำจัดสิ่งปนเปื้อน 8 วิธี ได้แก่ การใช้แสงยูวี อบลมร้อน แช่น้ำร้อน แช่น้ำเดือด หม้อนึ่งความดันไอน้ำ สเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ แช่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ และแช่น้ำสบู่ บนหน้ากาก N95 รุ่น 8110s พบว่าการใช้แสงยูวี อบลมร้อน แช่น้ำร้อน แช่น้ำเดือด และสเปรย์สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์

ไม่ส่งผลต่อ filtration efficiency และ fit check ของหน้ากากหลังผ่านวิธีดังกล่าวซ้ำ 3 ครั้ง ในขณะที่การใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหน้ากากหลังจากการทำซ้ำในครั้งที่ 3 ผลการศึกษาของหน้ากาก N95 รุ่น 9105 พบว่าการใช้แสงยูวี อบลมร้อน แชน้ำร้อน แชน้ำเดือด และหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของหน้ากาก ขณะที่การใช้สเปรย์เอทิลแอลกอฮอล์บนหน้ากากทำให้ประสิทธิภาพของหน้ากากต่ำกว่าเกณฑ์หลังผ่านการทำซ้ำครั้งที่ 2 ผลที่แตกต่างกันของหน้ากากทั้งสองรุ่นอาจเนื่องจากลักษณะเฉพาะของหน้ากากแต่ละชนิด รวมทั้งพบว่า filtration efficiency และ fit check ของหน้ากากทั้ง 2 รุ่น หลังจากแช่ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์และแช่น้ำสบู่ต่ำกว่าเกณฑ์เหมือนกัน ดังนั้นการใช้แสงยูวี อบลมร้อน แชน้ำร้อน และแช่น้ำเดือด จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนหน้ากาก N95 ทั้งรุ่น 8110s และ 9105 โดยเฉพาะวิธีการแช่น้ำร้อนและแช่น้ำเดือดเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ขั้นสูง ผลการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อประชาชนหรือบุคลากรทางการแพทย์ ในการเลือกใช้วิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ส่งผลต่อการใช้งานของหน้ากาก ทำให้สามารถนำหน้ากากกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในช่วงภาวะขาดแคลน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บุคลากรกลุ่มเครื่องมือแพทย์ สำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Simpson JP, Wong DN, Verco L, Carter R, Dzidowski M, Chan PY. Measurement of airborne particle exposure during simulated tracheal intubation using various proposed aerosol containment devices during the COVID-19 pandemic. *Anaesthesia* 2020; 75(12): 1587-95.
2. 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.
3. วิไลลักษณ์ เรืองรัตนตรัย, ปุณณิศา คงสืบ, เขาวรินทร์ คำหา, ศุภกิจ ศิริลักษณ์. การบริหารจัดการอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (PPE) และหน้ากาก N95 สำหรับโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) กรณีศึกษาในโรงพยาบาลศูนย์ 5 แห่ง. *ว วิชาการสาธารณสุข* 2564; 30(1): 137-50.
4. โรงพยาบาลเวชศาสตร์เขตร้อน คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้ากากอนามัยชนิดต่าง ๆ. [ออนไลน์]. 2565; [สืบค้น 20 ก.ค. 2567]; [1 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: <https://www.tropmedhospital.com/knowledge/mask.html>.
5. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดลำพูน. ทำเนียบผู้ผลิต/จำหน่ายหน้ากาก N95 ในประเทศไทย. [ออนไลน์]. 2563; [สืบค้น 20 ก.ค. 2567]; [3 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: https://lamphunhealth.moph.go.th/web_ssj/webmanager/uploads/2020-03-02163706ppt.ทำเนียบผู้ผลิตN95.pdf.
6. พานิช อินต๊ะ. ประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย. *ว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 2564; 29(5): 904-18.
7. มณีรัตน์ องค์กรธนดี, พงศธร ชมดี. การประเมินประสิทธิภาพของวัสดุทำหน้ากากสำหรับกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน. *ว สิ่งแวดล้อม* 2563; 24(3): 1-11.
8. Kobayashi LM, Marins BR, dos Santos Costa PC, Perazzo H, Castro R. Extended use or reuse of N95 respirators during COVID-19 pandemic: an overview of national regulatory authority recommendations. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2020; 41(11): 1364-66.
9. Steinberg BE, Aoyama K, McVey M, Levin D, Siddiqui A, Munshey F, et al. Efficacy and safety of decontamination for N95 respirator reuse: a systematic literature search and narrative synthesis. *Can J Anaesth* 2020; 67(12): 1814-23.

10. Peters A, Palomo R, Ney H, Lotfinejad N, Zingg W, Parneix P, et al. The COVID-19 pandemic and N95 masks: reusability and decontamination methods. *Antimicrob Resist Infect Control* 2021; 10(1): 83. (16 pages).
11. Liao L, Xiao W, Zhao M, Yu X, Wang H, Wang Q, Chu S, et al. Can N95 respirators be reused after disinfection? How many times?. *ACS Nano* 2020; 14(5): 6348-56.
12. Park JJ, Seo YB, Lee J. Fit test for N95 filtering facepiece respirators and KF94 masks for healthcare workers: a prospective single-center simulation study. *J Korean Med Sci* 2021; 36(21): e140. (11 pages).
13. Zorko DJ, Gertsman S, O'Hearn K, Timmerman N, Ambu-Ali N, Dinh T, et al. Decontamination interventions for the reuse of surgical mask personal protective equipment: a systematic review. *J Hosp Infect* 2020; 106(2): 283-94.
14. Probst LF, Guerrero ATG, Cardoso AIQ, Grande AJ, Croda MG, Venturini J, et al. Mask decontamination methods (model N95) for respiratory protection: a rapid review. *Syst Rev* 2021; 10(1): 219. (11 pages).
15. 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.
16. National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). 42 CFR Part 84 respiratory protective devices. [online]. 1997; [cited 2024 Jul 20]; [2 screens]. Available from: URL: https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/niosh/npptl/topics/respirators/pt84abs2.html.
17. Occupational Safety and Health Administration. 29 CFR Part 1910.134 respiratory protection. [online]. 2016; [cited 2024 Jul 20]; [32 screens]. Available from: URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>.
18. 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 integrity. *Sci Rep* 2021; 11(1): 12279. (9 pages).
19. 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.
20. Mackenzie D. Reuse of N95 masks. *Engineering* 2020; 6(6): 593-6.
21. Juang PS, 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.
22. Bopp NE, Bouyer DH, Gibbs CM, Nichols JE, Ntiforo CA, Grimaldo MA. Multicycle autoclave decontamination of N95 filtering facepiece respirators. *Appl Biosaf* 2020; 25(3): 150-6.
23. Fischer RJ, Morris DH, van Doremalen N, Sarchette S, Matson MJ, Bushmaker T, et al. Effectiveness of N95 respirator decontamination and reuse against SARS-CoV-2 virus. *Emerg Infect Dis* 2020; 26(9): 2253-5.
24. Lin TH, Chen CC, Huang SH, Kuo CW, Lai CY, Lin WY. Filter quality of electret masks in filtering 14.6-594 nm aerosol particles: Effects of five decontamination methods. *PloS One* 2017; 12(10): e0186217. (15 pages).
25. Rodriguez-Martinez CE, Sossa-Briceño MP, Cortés JA. Decontamination and reuse of N95 filtering facemask respirators: a systematic review of the literature. *Am J Infect Control* 2020; 48(12): 1520-32.

26. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 2480-2562 หน้ากากใช้ครั้งเดียวชนิด N95 ลดความเสี่ยงการติดเชื้อทางการแพทย์. กรุงเทพฯ: กองส่งเสริมและพัฒนาด้านการมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2562.
27. Centers for Disease Control and Prevention. Decontamination and reuse of filtering face-piece respirators. [online]. 2020; [cited 2024 Jul 20]; [12 screens]. Available from: URL: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/90574>.
28. American Cancer Society. UV (Ultraviolet) radiation and cancer risk. [online]. 2019; [cited 2024 Jun 26]; [9 screens]. Available from: URL: <https://www.cancer.org/cancer/risk-prevention/sun-and-uv/uv-radiation.html>.
29. Rutala WA, Weber DJ, The Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities, 2008. [online]. 2024; [cited 2024 Jun 26]; [163 screens]. Available from: URL: <https://www.cdc.gov/infection-control/media/pdfs/Guideline-Disinfection-H.pdf>.
30. Grinshpun SA, Yermakov M, Khodoun M. Autoclave sterilization and ethanol treatment of re-used surgical masks and N95 respirators during COVID-19: impact on their performance and integrity. *J Hosp Infect* 2020; 105(4): 608-14.
31. Li L, Zhao X, Li Z, Song K. COVID-19: performance study of microplastic inhalation risk posed by wearing masks. *J Hazard Mater* 2021; 411: 124955. (9 pages).
32. Centers for International Environmental Law. Breathing plastic: the health impacts of invisible plastics in the air. [online]. 2023; [cited 2024 Oct 28]; [11 screens]. Available from: URL: <https://www.ciel.org/breathing-plastic-the-health-impacts-of-invisible-plastics-in-the-air/>.
33. Zhao B, Rehati P, Yang Z, Cai Z, Guo C, Li, Y. The potential toxicity of microplastics on human health. *Sci Total Environ* 2024; 912: 168946.

Assessment of N95 Mask Decontamination Methods for Reuse based on Filtration Efficiency and Fit Check

Preeyanut Butmee, Kanyarat Nitee, and Pornthep Chancunapas

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

ABSTRACT Face masks, particularly N95, are the most important personal protective equipment (PPE) that can reduce the risk of airborne particles containing hazardous pathogens. During the COVID-19 outbreak, healthcare personnel was forced to reuse N95 masks because of a huge gap between demand and supply. Therefore, decontamination techniques for reusing N95 masks were investigated, providing useful databases in cases of catastrophic event, emerging or re-emerging infectious diseases occurrence. The decontamination methods including UV irradiation, dry heat (hot air oven), wet heat (hot water, boiling water, and autoclave), as well as 70% ethyl alcohol (sprayed and immersed with ethyl alcohol) and soap water, were examined on the 8110s and 9105 N95 mask models. The changes in filtration efficiency and fit check of the masks before and after decontamination steps were evaluated and discussed. The results revealed that UV irradiation, hot air oven, hot water and boiling water were the most promising approaches to decontaminate the N95 masks because there were no obvious changes in filtration efficiency or in the fit checks of both N95 mask models. While autoclaves, spraying and immersing with ethyl alcohol, and soap water caused a significant reduction in the performance usability of N95 masks due to the deteriorative effects on the nanofiber structure.

Keywords: N95 mask, Decontamination, Filtration efficiency, Fit check, Reuse