

การศึกษาเพื่อออกแบบตู้อบฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลตชนิด C  
(Ultraviolet C: SOS-UVC) เพื่อนำหน้ากากอนามัยและหน้ากาก  
ทางการแพทย์มาใช้ซ้ำ

**A Study of Effective Decontamination by Ultraviolet Light type-C  
(UVC) Cabinet for Re-use of Medical N95 and Surgical Masks**

ดำเนินการโดย

โครงการ **Save Our medical Staff from COVID-19**  
(SOS Covid-19 Fight)

17 เมษายน 2563

**งานวิจัยนี้เป็นความร่วมมือของบุคคลจากหลายองค์กรประกอบด้วย  
ทีมแกนหลักและผู้ประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์**

นาย นพพล ชุกกลิ่น ประธานเจ้าหน้าที่บริหารกลุ่มบริษัท รีเทลบิซิเนสโซลูชั่น. จำกัด  
รอ.นพ. นิमित ประสิทธิ์ดำรง แพทย์อาชีวเวชศาสตร์และสิ่งแวดล้อม รพ.ผู้สูงอายุ The Senizens  
นท.พญ. ภาพร ประสิทธิ์ดำรง รพ.ผู้สูงอายุ The Senizens  
ผศ.นพ.มล. ทยา กิติยากร ภาควิชาอายุรศาสตร์ รพ.รามธิบดี

**ทีมวิจัย จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

**ห้องปฏิบัติการ M3D**

รศ.ดร.บุญรัตน์ โล่ห์วงศ์วัฒน์

นส.กฤติมา ทุ่มขนอน, นางสาวสลิลา ชยานันท์, นางสาวจิราพร ทองแย้ม,  
นายกรณ์ ภาววงษ์ศักดิ์, นายภัทรพงษ์ วรรณประไพ, นางสาวพชรณัฐ โลหะพีชน์  
นางสาวปณยวีร์ เพ็ญเจริญ , นางสาวหทัยชนก ชูเนตร์ , นายทอลภ สิริวิชญ์  
ทีมการวัดUVC:ผศ.ดร.รัฐชาติ มงคลนาวิน, ผศ.ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์,นาย เอกลักษณ์ จันท์ระมะ  
ทีมDSC,TGA,STA: ศ.ดร.ศราวุธ ริมดุสิต ,ดร.มนัญญา โอฆวิลัย,นาย กิตติพล บุญญานวัฒน์  
นส.มณีนรัตน์ ลิ้มสุวรรณารัง,รศ.ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม,

ทีมวัดประสิทธิภาพการกรอง: รศ.ดร. พาณิช อินตะ และทีม RUEE

**ศูนย์ธาลัสซีเมียและภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล ม.มหิดล**

ศ.ดร.นพ.วิปร วิประกษิต

ดร.นพ.ศุภชัย เอกวัฒนกิจ

ดร.วรุตม์ ดุลละล้มพะ

**ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ**

ดร.อนันต์ จงแก้ววัฒนา ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยกลุ่มวิจัยนวัตกรรมสุขภาพสัตว์และการจัดการ

นาย อัคริน วาณิชชัง ผู้ช่วยวิจัยอาวุโส ห้องปฏิบัติการไวรัสวิทยาและเซลล์เทคโนโลยี

กลุ่มวิจัย นวัตกรรมสุขภาพสัตว์และการจัดการ

**ทีมหาข้อมูลและประสานงาน**

นพ. ศุภกิจ เวชพานิช แพทย์อาชีวเวชศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

รพ.สมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา สภากาชาดไทย

รศ.ดร. ธนารัตน์ ชลิตาพงศ์

รศ.ดร.โปรดปราน บุญยะพุกกณะ

## ความเป็นมา

ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 (COVID-19: SARS-CoV-2) นับตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2563 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ทำให้หน้ากากที่ใช้ป้องกันตนเองสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ที่ทำงานกับผู้ป่วยที่ติดเชื้อในโรงพยาบาลเกิดขาดแคลนเป็นอย่างมาก โดยในสภาวะปกติหน้ากากทางการแพทย์เหล่านี้จะใช้เพียงครั้งเดียวก่อนการทิ้งทำลาย หากแต่ในสถานการณ์ปัจจุบันที่มีความต้องการใช้หน้ากากทางการแพทย์ทั่วโลกทำให้เกิดความขาดแคลนอย่างหนัก ดังนั้นการหาวิธีฆ่าเชื้อไวรัสที่อาจปนเปื้อนบนหน้ากากที่ผ่านการใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำให้ได้มากที่สุดโดยประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ลดลง น่าจะเป็นหนึ่งในวิธีที่จะช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์ยังมีหน้ากากใช้เพื่อป้องกันตนเองจากการติดเชื้อได้

## หลักการและเหตุผลของงานวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าวิธีการฆ่าเชื้อเพื่อนำหน้ากากกลับมาใช้ซ้ำที่มีรายงานได้แก่ การใช้ไอลมร้อน ( $75^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที) การใช้แสงอัลตราไวโอเลตชนิด UVC (ค่าความยาวคลื่น 254 nm) การอบฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี เช่น ethylene oxide หรือ hydrogen peroxide เป็นต้น โดยคณะผู้วิจัยสนใจวิธีการอบฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC เนื่องจากทำได้ง่าย สะดวก และใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ดังนั้นความเข้าใจกลไกในการฆ่าเชื้อไวรัสโควิด-19 ด้วยแสง UVC โดยยังคงคุณสมบัติของหน้ากากที่ป้องกันเชื้อได้ และกรองอากาศได้จึงมีความสำคัญในลำดับแรก

เชื้อไวรัสโควิด-19 จัดเป็นอาร์เอ็นเอไวรัสชนิดสายเดี่ยว หรือ single stranded (ss) RNA virus ตระกูล *Coronaviridae* มีขนาดประมาณ 0.08 ถึง 0.15 ไมครอน ติดต่อแพร่เชื้อผ่านละอองฝอยทางการหายใจ จากการไอจาม และการสัมผัสเชื้อไวรัสแล้วมาแตะต้องบริเวณใบหน้า จมูกและปาก ปกติไวรัสชนิดนี้จะไม่สามารถอยู่โดยลำพังในอากาศ แต่จะแฝงมากับละอองไอ (aerosol) หรือ ฝอยน้ำลาย (droplets) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าขนาดไวรัสหลายสิบเท่า

## กลไกการทำลายไวรัสของแสง UVC

แสง UV ได้ถูกนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคมาเป็นเวลานาน โดยโครงสร้างทางพันธุกรรมของเชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา จะถูกทำลายด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นแสงประมาณ 253.7 nm ผ่านกระบวนการ photo chemical fusion ซึ่งมีผลทำลายสาย DNA และ RNA ทำให้ไวรัสและจุลินทรีย์อื่น ๆ เหล่านี้ ไม่สามารถแบ่งตัวต่อไปได้และทำให้เชื้อตายในที่สุด ความสามารถของแสง UVC ในการทำลายเชื้อโรคขึ้นกับหลายปัจจัยได้แก่ ระดับความเข้มแสง ระยะเวลา และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

จากการทดลองของ Chun-Chieh Tseng และคณะ (1) ที่ศึกษาหาค่าพลังงานแสงที่สามารถทำลายไวรัสบนพื้นผิว พบว่าไวรัสแต่ละประเภท มีความไวต่อแสงเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ ssRNA, ssDNA, dsRNA และ dsDNA (ds = double strand) ตามลำดับ โดยพบว่า ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อไวรัสที่ 90% ต้องใช้ค่าพลังงานแสง UVC ดังนี้

1.32 - 3.20 $\text{mJ}/\text{cm}^2$	สำหรับ ssRNA
2.50 - 4.47 $\text{mJ}/\text{cm}^2$	สำหรับ ssDNA

3.80 - 5.36 mJ/cm<sup>2</sup> สำหรับ dsRNA

7.70 - 8.13 mJ /cm<sup>2</sup> สำหรับ dsDNA

หมายเหตุ: หากต้องการฆ่าไวรัสให้ได้ 99% จะต้องใช้ปริมาณพลังงานแสงยูวี เป็นสองเท่าของค่าข้างต้น

ซึ่งการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Harnish and Heimbuch และคณะ (2) ที่ใช้แสง UVC จากแหล่งกำเนิดแสงจำนวน 8 หลอดให้ค่าแสง 17 mW/cm<sup>2</sup> ในเวลา 1 นาทีจะรวมค่าพลังงานแสงได้ 1 J/cm<sup>2</sup> ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อไวรัสไข้หวัดนก (H1N1) ที่เป็น ssRNA บนหน้ากากชนิด N95 ทั้งหมด 15 แบบที่ถูกป้ายด้วยน้ำลายเทียมและน้ำมันเทียมของผิวหนังทับบนไวรัสได้ โดย Center for Disease Control (CDC) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ค่า 1 J/cm<sup>2</sup> เป็นค่าอ้างอิงในการทำลายไวรัส อย่างไรก็ตามรายงานดังกล่าวไม่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการฆ่าไวรัสหากค่าพลังงานแสงต่ำกว่านี้ ทีมวิจัยได้ตั้งข้อสังเกตว่าหากหน้ากากชนิด N95 เป็นแบบไม่กั้นน้ำ (hydrophilic) เชื้อไวรัสในละอองฝอยน้ำลายจะสามารถซึมผ่านหน้ากากได้ นอกจากนี้หากหน้ากากมีผิวที่ขรุขระหรือมีสันนูน อาจทำให้มีเงาจากการบังแสง จะทำให้ลดประสิทธิภาพของแสงลง แต่ปริมาณแสงที่ส่องผ่านยังเพียงพอที่จะลดปริมาณไวรัสได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดลองของ Shu-Ming และคณะ (3) ศึกษาถึงการฆ่าเชื้อ SARS ด้วยแสง UVC โดยใช้เชื้อ coronavirus strain CoV-P9 พบว่าด้วยค่าแสงที่มากกว่า 90 μW/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 15 นาที (เท่ากับค่าพลังงานแสง 81 mJ/cm<sup>2</sup>) ทำให้ความสามารถในการติดเชื้อ (infectivity) ลดลงเหลือน้อยกว่า 25% และ เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่นานขึ้น เป็น 30 นาที (เท่ากับ 162 mJ/cm<sup>2</sup>) ทำให้ความสามารถในการติดเชื้อลดลงอีกจนความสามารถในการติดเชื้อเป็นศูนย์ที่เวลา 60 นาที (324 mJ/cm<sup>2</sup>)

นับตั้งแต่มีการระบาดของเชื้อ COVID-19 ในเดือนมกราคมที่ผ่านมา มหาวิทยาลัย Nebraska Medicine (4) ได้เผยแพร่ขั้นตอนของการทำความสะอาดหน้ากาก N95 เพื่อใช้ซ้ำผ่านเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Chun-Chieh (1) แนะนำการใช้ค่าพลังงานแสงรวม ที่ 60-300 mJ/cm<sup>2</sup> ในห้องที่มีแหล่งกำเนิดแสง 2 จุด (ขนาด 8 คูณ 13 ฟุต) โดยวางหน้ากากให้รับแสงที่ 300 mJ/cm<sup>2</sup>

#### ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้แสง UVC

มีการศึกษาพบว่า ในสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง 85% ต้องใช้ค่าพลังงาน UVC ที่สูงกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 55% โดยค่า K (microorganism susceptibility factors) ของไวรัสทั้งสี่ชนิด (ss RNA, ssDNA, dsRNA, dsDNA) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85% เท่ากับ 0.27 - 0.64 mJ/cm<sup>2</sup> ส่วนค่า K สำหรับไวรัสทั้ง 4 ชนิดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% เท่ากับ 0.3 - 0.83 mJ/cm<sup>2</sup> แสดงว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ต้องใช้พลังงานแสงเพิ่มขึ้น 10-23% เพื่อทำลายไวรัสได้ในปริมาณเดียวกัน

สำหรับค่าพลังงานแสงที่ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *E. coli*, *Serratia marcescens*, *Staphylococcus hemolyticus*, *Salmonella typhi*, *Streptococcus viridans*, *Staphylococcus albus*,

*Shigella paradysenteriae* และ ยีสต์ ได้ 90% เท่ากับ 1.7 -7.4 mJ/cm<sup>2</sup> สำหรับแบคทีเรียที่เป็น endospore forming bacteria และ fungi spores ต้องใช้แสง UV ที่มีค่าพลังงานแสงมากกว่ามาก

เมื่อทดสอบความไวต่อแสงของไวรัสในสารแขวนลอยพบว่าต้องใช้แสงยูวีที่สูงขึ้นมากสำหรับค่า ssRNA ไวรัสที่ 90% เท่ากับ 12-24 mJ/cm<sup>2</sup> จากการศึกษาของ Miriam E.R.Darnell และคณะ (3) พบว่าการใช้แสง UVC ในระยะห่าง 3 เซนติเมตรวัดค่าพลังงานแสงได้ 4,016  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  จะเริ่มทำให้ไวรัสในสารแขวนลอย 2 มิลลิลิตร หยุดการทำงานบางส่วนภายในเวลา 1 นาที เมื่อผ่านไป 6 นาที ไวรัสจะลดความสามารถในการติดต่อดีถึง 400 เท่า โดยคำนวณปริมาณพลังงานแสงที่ 6 นาที ได้เท่ากับ 1,400 mJ/cm<sup>2</sup> ในช่วง 6 ถึง 10 นาที ไม่มีการทำลายเพิ่มและหลังจาก 15 นาทีไวรัสจะถูกทำลายหมดโดยสมบูรณ์ ซึ่งจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าต้องใช้ค่าพลังงานแสงในปริมาณที่มากกว่าสำหรับทำลายเชื้อไวรัสในสารแขวนลอยเมื่อเทียบกับไวรัสที่อยู่บนพื้นผิว

#### คุณสมบัติของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์

หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ที่สามารถใช้ป้องกันโรคที่แพร่กระจายทางอากาศ (air borne) ต้องมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคขนาด 0.075 ไมครอน ได้มากกว่า 95% ซึ่งหน้ากากทางการแพทย์ชนิด N95 เป็นหน้ากากมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปเพื่อป้องกันโรคติดต่อชนิด air borne เช่น SARS, MERS, Flu และ COVID -19

ชั้นของหน้ากากชนิด N95 ทำจากวัสดุหลักคือ polypropylene microfiber (PP) ประกอบไปด้วย: ชั้นนอกสุด เป็น Spun Bond (SB-PP) ชั้นกลางเป็นชั้นตัวกรองเรียกว่า Melt Blown (MB-PP) มีความหนา 100-1000 microns ซึ่งมีประจุไฟฟ้าฝังอยู่ในแผ่นกรอง และชั้นในสุด เป็น non-woven fabric ที่สัมผัสกับใบหน้า ด้วยคุณสมบัติของประจุไฟฟ้าในชั้นกลางนี้ทำให้เพิ่มความสามารถในการกรองถึง 10-20 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นกรองชั้นกลางที่ไม่มีประจุ ทำให้ไม่ต้องใช้แผ่นกรองหนา เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการกรอง (filtration efficiency: FE) ที่เท่ากันจึงทำให้ผู้ใช้สามารถหายใจได้สะดวกมากขึ้น แต่ประจุนี้จะเสื่อมค่าไปตามเวลา ในอัตรา 0.5% ใน 5 ปี สำหรับหน้ากาก N95 และ 3% ใน 5 ปีสำหรับหน้ากากทางการแพทย์ (medical mask) ดังนั้นผู้ผลิตจะต้องผลิตให้ค่า FE ตั้งต้นอยู่ที่ 99% และ 82% สำหรับ N95 และ medical mask ตามลำดับ เพื่อให้ได้ค่าประจุหลัง 5ปี ยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือ 95% และ 78% ตามลำดับ การเพิ่มประจุไฟฟ้าในชั้นกลาง (MB-PP) ของหน้ากากเพื่อเพิ่มค่า FE นี้เป็นผลงานการประดิษฐ์คิดค้นของ Dr. Peter Tsai ซึ่งได้ให้ข้อมูลว่า การเสื่อมของประจุในชั้นกลาง (MB-PP) จากแสงยูวีจะขึ้นกับ ความเข้มแสงและระยะเวลา เช่น ถ้าตากหน้ากากไว้กลางแดดในฤดูร้อนเป็นเวลา 3 เดือนจะทำให้โครงสร้างของชั้น PP เสื่อมไปได้

#### ผลกระทบของการทำความสะอาดด้วย UVC ต่อคุณสมบัติของหน้ากาก

ในคู่มือการใช้งาน (Technical Bulletin) ของบริษัท 3M ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิต (6) ได้แนะนำข้อกำหนดที่สำคัญในการพิจารณาหากจะมีการศึกษาวิธีฆ่าเชื้อบนหน้ากากของ 3M เพื่อนำมาใช้ซ้ำ ดังนี้ 1. วิธีการที่ใช้สามารถฆ่าเชื้อเป้าหมาย คือ โควิด-19 (COVID-19) ได้ 2. วิธีการที่ใช้ไม่ทำลายประสิทธิภาพการกรอง 3. วิธีการที่ใช้ไม่มีผลต่อความพอดีกับรูปหน้า (fit test) ของหน้ากาก และ

4. มีความปลอดภัยกับผู้สวมใส่ โดยไม่มีสารเคมีตกค้างภายหลังการทำความสะอาด การทำความสะอาดด้วยการใช้แสง UV เรียกว่า Ultra Violet Germicidal Irradiation (UVGI) เป็นหนึ่งในวิธีการทำความสะอาดที่บริษัทผู้ผลิตได้ลองทดสอบและรายงานว่าหน้ากากทุกรุ่นของ 3M ยังคงประสิทธิภาพในการกรอง (FE) และสามารถกำจัดเชื้อไวรัส ในกรณีนี้ทดสอบโดยใช้เชื้อไข้หวัดนก H5N1 พบว่าสามารถกำจัดเชื้อไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การทำความสะอาดด้วยการใช้แสง UV อาจมีผลต่อความยืดหยุ่นของยางยืด (รุ่น 1870) เกิดมีกลิ่นและมีผลต่อโฟมที่จุ่มกยุม (รุ่น 1860) แต่ไม่มีผลการทดสอบเรื่อง fit test

จากการศึกษาของ William G. Lindsley และคณะ (7) ซึ่ง ทำการทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญของหน้ากาก 3 ประการได้แก่ 1. ความสามารถในการกรอง (filtration penetration) ซึ่งวัดอัตราส่วนอนุภาคของ NaCl ที่ผ่านชั้นของหน้ากากในขนาด 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.08, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ไมครอน 2. ความต้านทานการกรอง(flow resistance) วัดจากความดันที่ตกลง (pressure drop) ของอากาศที่ 5 ลิตรต่อนาทีหลังผ่านชั้นกรองของหน้ากาก และ 3. ความแข็งแรงของแผ่นกรองของหน้ากาก พบว่าหลังการฉายแสงยูวี ที่ค่า 0, 120, 240, 470 และ 950 J/cm<sup>2</sup> ทั้งสองข้างของหน้ากาก พบการลดลงของ filtration penetration หรือ flow resistance เพียง 1.25% และหน้ากากยังคงประสิทธิภาพการกรองได้มากกว่า 95% แต่ข้อจำกัดสำคัญอยู่ที่ความแข็งแรงของแผ่นกรองที่เริ่มลดลงที่ค่าแสง 120 J/cm<sup>2</sup> (2 ใน 13 ตัวอย่าง) ไปจนถึง 950 J/cm<sup>2</sup> ที่จะลดความแข็งแรงของหน้ากากถึง 90% ซึ่งคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของหน้ากากนี้น่าจะไม่มีผลต่อการใช้งานตามปกติ จากลมหายใจที่ผ่านเข้าออกซึ่งไม่สร้างแรงดันอากาศสูงจนทำให้หน้ากากขาดได้ ส่วนความแข็งแรงของยางยืดพบว่ายางเริ่มเสื่อมที่ค่าแสง 590 J/cm<sup>2</sup> โดยความแข็งแรงลดลง 10 ถึง 20% เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากรายงานนี้ผู้วิจัยสรุปว่า การใช้แสง UVC เพื่ออบฆ่าเชื้อในเวลา 60 วินาทีต่อรอบ เพียงพอในการใช้ฆ่าเชื้อไวรัสและแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ และสามารถใช้ซ้ำได้ถึง 50 ครั้ง

ผลการศึกษาดังกล่าว สอดคล้องกับรายงานของ Lei Liao และคณะ (8) ที่ทดลองใช้การอบฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC ในขนาด 8 วัตต์เป็นเวลา 30 นาที จำนวน 10 รอบที่ไม่พบการเสื่อมลงของความสามารถในการกรอง (FE) และความต้านทานการกรอง (flow resistance) จากค่าความดันที่ตกลง (pressure drop) แต่การศึกษาดังกล่าวไม่มีข้อมูลหากจำนวนรอบการอบ มากกว่า 10 รอบ

### วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ภายหลังจากทำความสะอาดหน้ากาก ด้วยแสง UVC โดยใช้ตู้อบที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ดังนี้

1. ศึกษาหาระดับพลังงานแสงและตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการวางหน้ากากเพื่อรับแสง UVC
2. การศึกษาประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อไวรัสของแสง UVC โดยใช้เชื้อโคโรนาไวรัสของสุกรแทนเชื้อ COVID-19
3. ศึกษาประสิทธิภาพของการกรอง (filtration efficacy) ของหน้ากาก ภายหลังจากฉายรังสี UVC ด้วยเวลารวม 120 นาที (เวลาที่คาดว่าจะให้ใช้สำหรับการอบหน้ากากซ้ำครบทุกรอบ) ตามข้อกำหนดของ NIOSH
4. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของหน้ากาก ได้แก่รูปทรง ความยืดหยุ่นของยางรัดศีรษะ ไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวหน้ากากด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (scanning electron microscope) ภายหลังจากฉายรังสี UVC ด้วยเวลารวม 120 นาที (เวลาที่คาดว่าจะให้ใช้สำหรับการอบหน้ากากซ้ำครบทุกรอบ)
5. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของหน้ากากที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากฉายรังสี UVC ด้วยเวลารวม 120 นาที (เวลาที่คาดว่าจะให้ใช้สำหรับการอบหน้ากากซ้ำครบทุกรอบ)
6. ศึกษาข้อจำกัด และผลข้างเคียงอื่น ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นภายหลังจากอบฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC

### วิธีการและผลการทดลอง

1. การศึกษาระดับพลังงาน และตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการวางหน้ากากเพื่อรับแสง UVC

ดำเนินการโดยทีมวิจัยของห้องปฏิบัติการ M3D คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นำโดย รศ.ดร.บุญรัตน์ โส้วงศ์วัฒน์ โดยในการทดลองนี้จะมีการวัดปริมาณแสง UVC ที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอด UVC ในตำแหน่งต่าง ๆ กัน เพื่อค้นหาตำแหน่งหรือค่าต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการวางหน้ากากให้รับปริมาณแสง UVC สำหรับการฆ่าเชื้อ

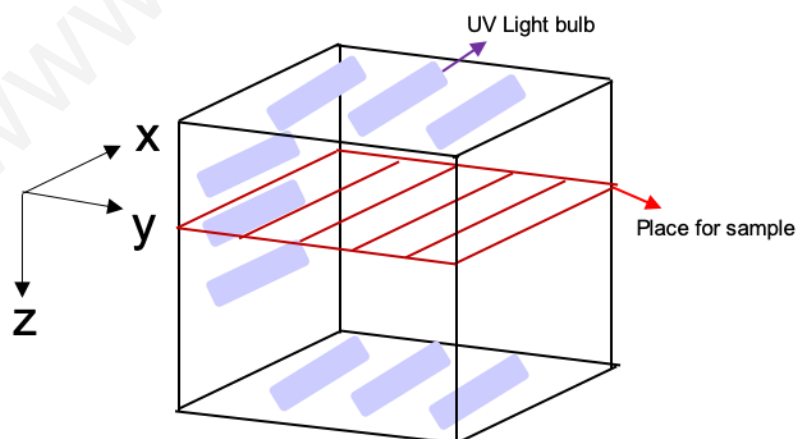
โดยเบื้องต้นทางทีมวิจัยได้ออกแบบตู้ฉาย UVC โดยใช้หลอด UVC ขนาด 15 วัตต์ ซึ่งบรรจุปรอทไว้ภายในและให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงของ UVC ประมาณ 253.7-254 นาโนเมตร ซึ่งสามารถให้ UVC ในปริมาณรวม 4.9 วัตต์ (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 แสดงถึงปริมาณ UVC ที่ปล่อยออกมาจากหลอด UVC ขนาด 15 วัตต์

General Information		UV	
Cap-Base	G13 [ Medium Bi-Pin Fluorescent]	UV-C Radiation at 100 hr	4.9 W
Main Application	Disinfection		
Useful Life (Nom)	9000 h		
System Description	-		
Light Technical		Product Data	
Color Code	TUV	Full product code	871150072617940
Color Designation	- [ Not Specified]	Order product name	TUV 15W SLV/25
Depreciation at Useful Lifetime	10 %	EAN/UPC - Product	8711500726179
		Order code	928039004005
		Numerator - Quantity Per Pack	1
		Numerator - Packs per outer box	25
		Material Nr. (12NC)	928039004005
		Net Weight (Piece)	56.570 g
Operating and Electrical			
Power (Nom)	15.9 W		
Lamp Current (Nom)	0.34 A		
Voltage (Nom)	54 V		

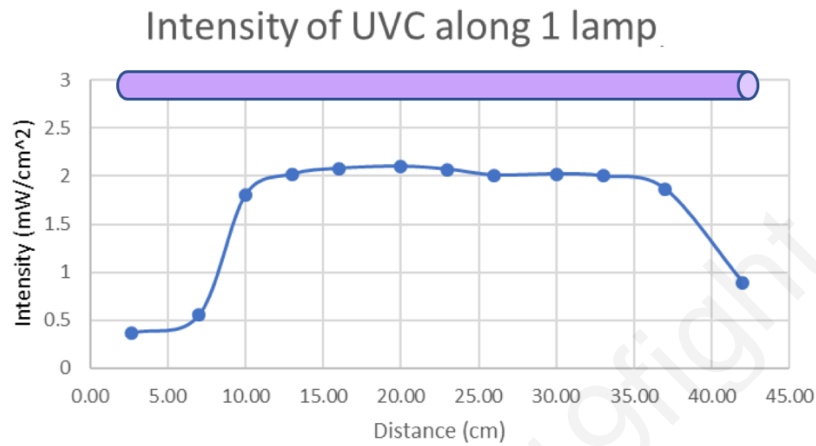
ซึ่งในการทดสอบนี้ทางทีมผู้วิจัยได้มีการทดสอบวัดปริมาณแสง UVC ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้ง 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 2 โดนในชั้นแรก ทางทีมผู้วิจัยได้มีการวัดปริมาณแสง UVC ที่ถูกปล่อยออกจากตำแหน่งต่าง ๆ กันของหลอด UVC ที่ใช้งาน พบว่าปริมาณแสง UVC นั้นมีปริมาณเข้มข้นที่แตกต่างกันตลอดความยาวของหลอด UVC 43 เซนติเมตร (ภาพที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ระยะห่างจากหลอดประมาณ 7 เซนติเมตร หลอด UVC นี้จะให้ปริมาณแสงพื้นฐานอยู่ที่ประมาณ  $0.5 \text{ mW/cm}^2$  บริเวณขั้วหลอดและจะให้ความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่ประมาณ  $2.2 \text{ mW/cm}^2$  เมื่อวางห่างจากขั้วหลอดมากกว่า 12.5 เซนติเมตร

ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งของหลอด UVC และระยะทางทั้ง 3 ด้านที่ใช้ในการทดสอบ



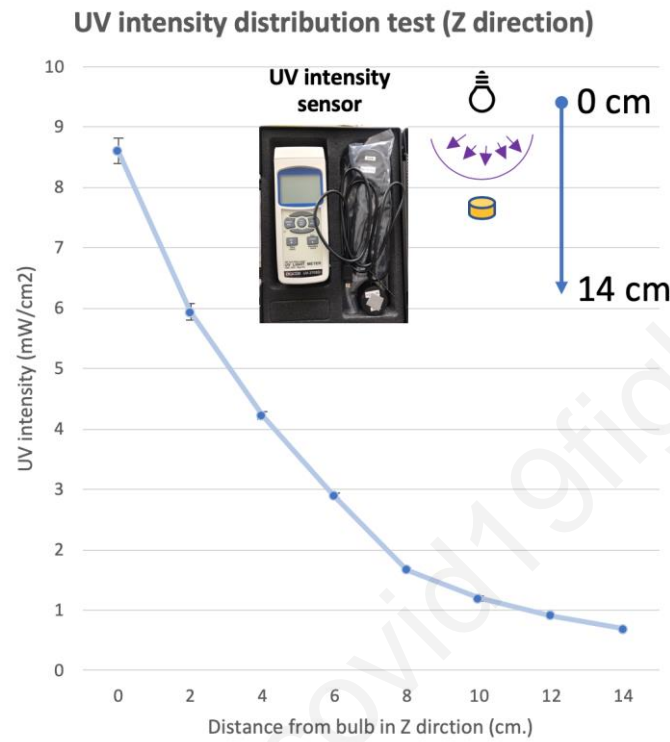


**ภาพที่ 3** แสดงปริมาณแสง UVC ที่วัดได้ตลอดช่วงความยาวหลอด UVC 43 เซนติเมตร

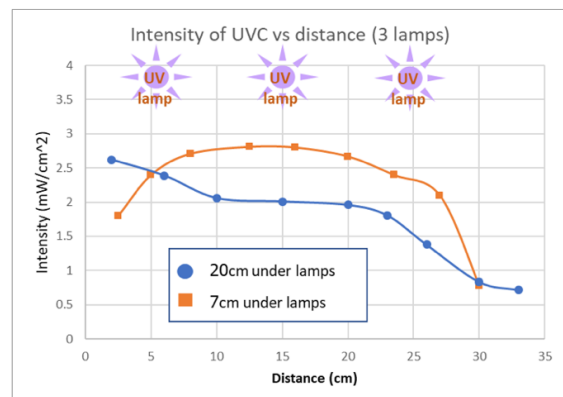
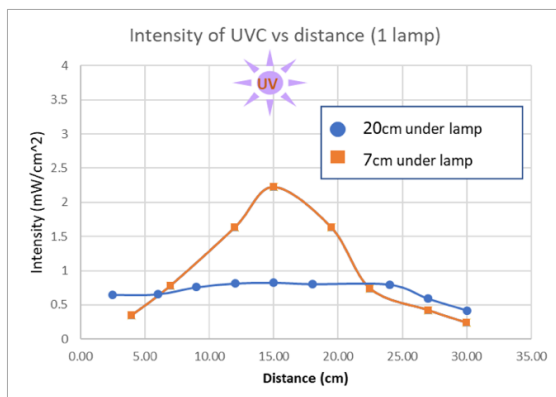


ในอีกด้านหนึ่งทางทีมผู้วิจัยได้ทำการวัดปริมาณแสง UVC ที่ระยะห่างต่าง ๆ จากหลอด UVC ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามคาด คือ ยิ่งระยะห่างจากหลอด UVC มากเท่าใด ปริมาณแสง UVC นั้นจะยิ่งน้อยลงตามสัดส่วน (ภาพที่ 4) ยิ่งไปกว่านั้น เนื่องจากหลอด UVC มีรูปทรงกระบอกกระยะจากด้านข้างผิวของหลอดก็มีผลเช่นกัน ดังนั้น ทางทีมผู้วิจัยจึงได้มีการทดสอบวัดปริมาณ UVC ในกรณีนี้ด้วย โดยมีการวัดที่ 2 ระยะห่างในแนวตั้งระหว่างหลอด UVC ถึงเครื่องวัดที่ระยะ 7 และ 20 เซนติเมตร ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าปริมาณ UVC ที่ส่องมาในแนวตั้งนั้นมีปริมาณเยอะที่สุด และมีปริมาณลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นเมื่อต้องส่องมาด้านข้างทั้ง 2 ที่ระยะ 7 เซนติเมตร และปริมาณ UVC นั้นน้อยมากที่ระยะห่าง 20 เซนติเมตร (ภาพที่ 5) ซึ่งเป็นไปตามการจำลองแบบ COMSOL ในกรณีนี้ การติดหลอด UVC เพิ่มในแนวขนานกัน (ภาพที่ 5) สามารถช่วยให้การกระจายตัวของแสงนั้นสม่ำเสมอขึ้น และสามารถรักษาความเข้มข้นของ UVC ไว้ที่ประมาณ 1.5 mW/cm<sup>2</sup> (หลอด UVC 3 หลอด)

ภาพที่ 4 แสดงปริมาณ UVC ที่วัดได้ที่ระยะต่าง ๆ ห่างจากหลอด UVC

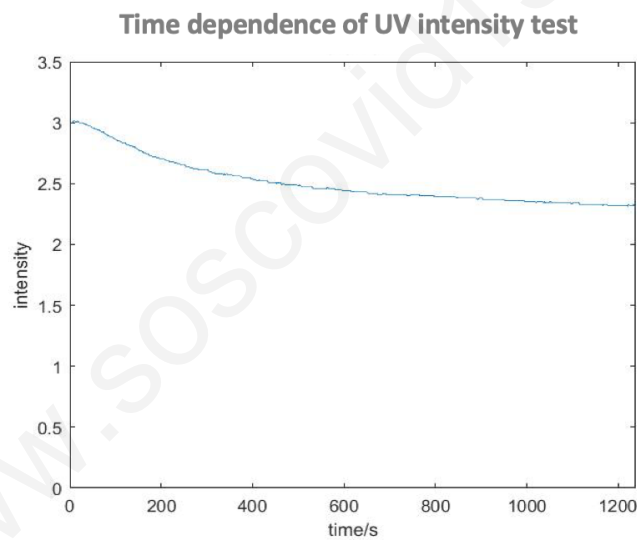


ภาพที่ 5 ปริมาณแสง UVC ที่วัดได้ที่ระยะห่างต่าง ๆ ในแนวนอนหลอด ทั้งรูปแบบการมี 1 และ 3 หลอด UVC



ดังนั้นจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าปัจจัยต่าง ๆ เรื่องระยะทาง และตำแหน่งรับแสงที่ได้รับจากหลอด UVC นั้นมีผลอย่างมีนัยยะสำคัญกับปริมาณแสง UVC ที่วัตถุจะได้รับ (ภาพที่ 3-5) ทั้งในแง่ของตำแหน่งของแสงที่ได้รับจากหลอด และระยะทาง ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณเวลาที่ได้รับแสงก็มีผลสำคัญ โดยจากการศึกษาเพิ่มเติมที่มิวิจัยพบว่า การเปิดหลอด UVC อย่างต่อเนื่องมีผลต่อปริมาณแสง UVC ที่ปล่อยออกมาดังแสดงในภาพที่ 6 โดยในช่วงแรก UVC สามารถปล่อยออกได้สูงสุดที่ประมาณ  $3 \text{ mW/cm}^2$  แต่เมื่อเวลาผ่านไปราว 20 นาที ปริมาณแสง UVC นั้นได้ลดลงเหลือประมาณ  $2.5 \text{ mW/cm}^2$  เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เวลา ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบตู้ UVC สำหรับฆ่าเชื้อ

**ภาพที่ 6** ปริมาณแสง UVC ที่ถูกปล่อยออกมาที่ช่วงเวลาต่าง ๆ หลังจากการเปิด



ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณ UVC ที่ส่องมาถึงวัตถุนั้นมีปัจจัยตัวแปรในหลาย ๆ ด้าน ทั้งระยะทาง มุมการฉาย รวมถึงระยะทาง และวัสดุที่ใช้งาน การจะใช้ UVC เพื่อใช้การฆ่าเชื้อ โดยเฉพาะเชื้อไวรัส COVID-19 เพื่อนำหน้ากาก N95 กลับมาใช้ใหม่นั้นจึงควรจะมีการคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อให้ได้ปริมาณ UVC ที่มีปริมาณเพียงพอ และทั่วถึงที่จะฆ่าเชื้อไวรัสให้มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ

## 2. การศึกษาประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อไวรัสของแสง UVC

ดำเนินการโดยที่มิวิจัยของศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC, Thailand) นำโดย ดร. อนันต์ จงแก้ววัฒนาได้ทำการทดสอบโดยใช้เชื้อไวรัสโคโรนาของสุกร (Recombinant PEDV) บนผิวของหน้ากาก N95 (ของบริษัท 3M รุ่นVFlex9105) หลังการฉายแสง UVC ที่เวลาและระยะต่าง ๆ จากหลอดไฟ

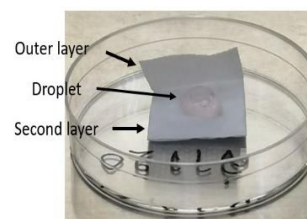
### มีขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 9)

- 2.1 ใช้ Recombinant PEDV (ref 11)ที่มีการแสดงออกของ mCherry gene ( $10^4$  TCID<sub>50</sub>/ml) ปริมาณ 200  $\mu$ L (water base) หยดลงบนผิวด้านนอกของหน้ากากชั้นที่สอง (MB-PP) ของ N95 ด้านในแล้วคลุมทับกลับอย่างเดิมด้วยผิวหน้ากากชั้นที่ 1 (SB-PP) ก่อนนำไปอบในตู้ UVC ที่ออกแบบ เพื่อจำลองการใช้งานจริงที่อาจจะมีเชื้อไวรัสปนเปื้อน อยู่ที่ผิวของชั้นกรองตรงกลาง
- 2.2 ชิ้นส่วนของหน้ากากถูกวางในตู้ UVC ที่ระนาบ 10 เซนติเมตร และ 23 เซนติเมตรจากหลอดUVC
- 2.3 เปิดตู้อบ UVC เป็นเวลา 1 นาที เพื่ออุ่นไส้หลอดก่อนใส่ตัวอย่างเข้าไปในตู้
- 2.4 นำชิ้นตัวอย่างหน้ากากมาออกจากตู้อบที่เวลา 1, 5, 10 และ 20 นาทีหลังการฉายแสง UVC เพื่อใส่ในสารละลาย Opti-MEM ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้ไวรัสหลุดออกมาในสารละลาย
- 2.5 นำสารละลาย Opti-MEM ที่มีไวรัสละลายออกมาปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากแต่ละตัวอย่าง มาดูดซับบนเซลล์เพาะเลี้ยง Vero E6 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เซลล์ติดเชื้อไวรัส
- 2.6 ทำการล้างเซลล์ Vero E6 ด้วยน้ำยาเพาะเลี้ยงใหม่เพื่อล้างไวรัสที่ปนเปื้อนภายนอกออก แล้วทิ้งเซลล์ Vero E6 ไว้ในสารละลาย Opti-MEM with trypsin เพื่อให้ไวรัสแบ่งตัว
- 2.7 หลังจากทำให้เซลล์ติดเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมงนำเซลล์มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ fluorescence เพื่อดูการเรืองแสงของยีน mCherry และย้อมนิวเคลียสของเซลล์ด้วยสี Hoechst dye

### ภาพที่ 9 แสดงขั้นตอนในการศึกษาประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อไวรัส

#### Method:

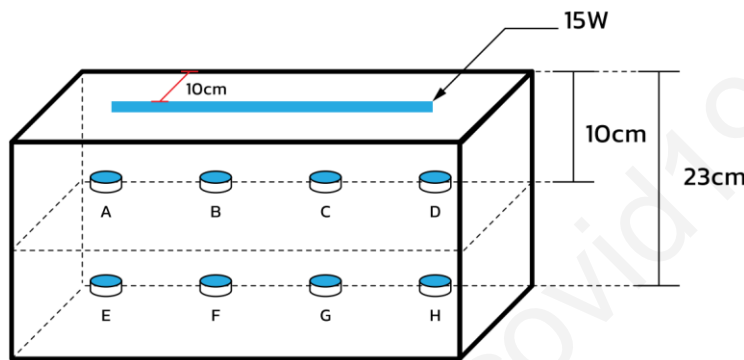
1. Recombinant PEDV with mCherry gene ( $10^4$  TCID<sub>50</sub>/ml) was used to drop on the second layer of the N95 material. The droplets were then covered with the outer layer before UV exposure.
2. Each piece of sample was placed inside the UV chamber away from the bulb to avoid direct exposure (see figure).
3. The UV was turned on for 1 min before placing each sample.
4. At 1, 5, 10 and 20 min after UV exposure, the sample was diluted in 2 ml of Opti-MEM and incubated at RT for 1 h to release the virus.
5. One ml of each sample was then adsorbed onto VeroE6 cells to allow virus infection at 37°C for 2 hours.
6. Cells were washed with media to remove any residual virus and maintained in Opti-MEM with trypsin to allow virus propagation.
7. At 24 h after infection, cells were visualized under a fluorescence microscope for the expression of mCherry. Nuclear stain was done with Hoechst dye.



### ผลการศึกษา

1. ในการศึกษาขั้นต้นเพื่อพิสูจน์หาค่าพลังงานแสงที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อไวรัส จากการวัดค่าพลังงานแสงด้วยเครื่องวัดชนิด UVC Light Meter รุ่น Lutron UVC-254SD ของบริษัท เลกะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด โดยวางตัวรับสัญญาณที่บริเวณผิวด้านนอกของหน้ากากที่วางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ระยะคือ 10 และ 23 เซนติเมตร (ซม.) จากหลอด UVC ที่อยู่บนเพดานตู้ด้านบนจะได้ค่าพลังงานแสงดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แสดงค่าเฉลี่ยของพลังงานแสง UVC ที่ได้จากการวัด (หน่วย  $mW/cm^2$ ) บนผิวด้านนอกของหน้ากากชั้นนอกและหน้ากากชั้นที่ 2 จากตำแหน่งและระยะเวลาที่แตกต่างกัน



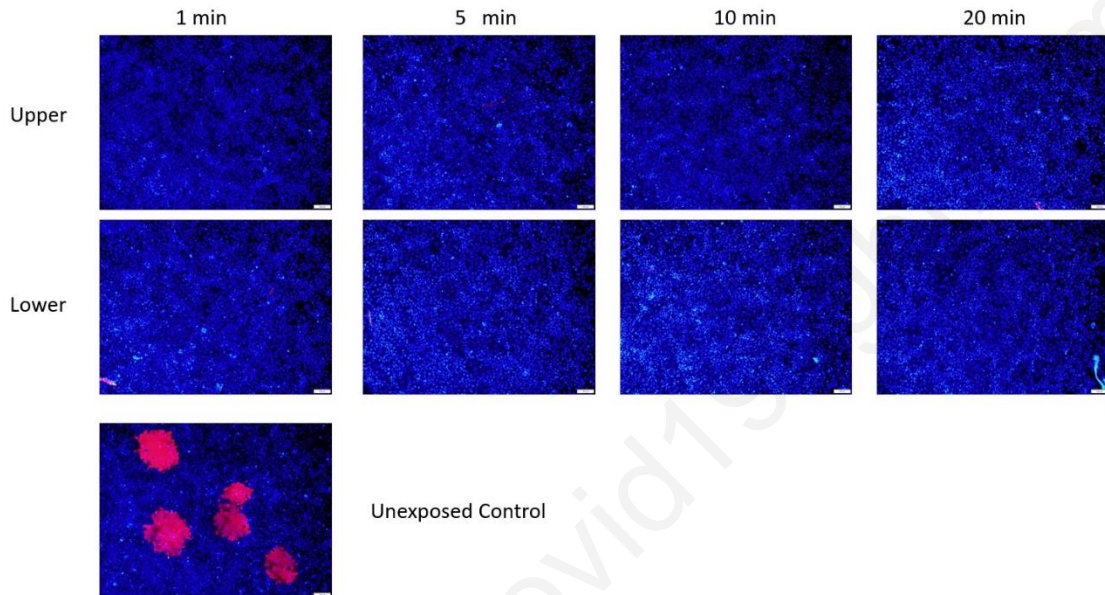
ระยะห่างจากหลอด UVC (ซม.)	ระยะเวลาที่ฉายแสง (นาที)			
	1(A,E)	5(B,F)	10(C,G)	20(D,H)
วัดจากผิวด้านนอก (PB-PP)				
10	0.324	0.515	0.610	0.417
23	0.243	0.449	0.304	0.300
วัดจากผิวด้านในชั้นที่ 2 (MB-PP)				
10	0.118	0.176	0.213	0.145
23	0.080	0.153	0.112	0.108

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยได้จากการวัด 2 ครั้งในแต่ละการทดสอบ พบว่าระดับพลังงานแสงจะลดลงประมาณ 3 เท่า เมื่อเทียบระหว่างการวัดที่ผิวชั้นที่ 2 กับผิวด้านนอก

### 2. การศึกษาผลของแสง UVC ต่อไวรัสโคโรนา

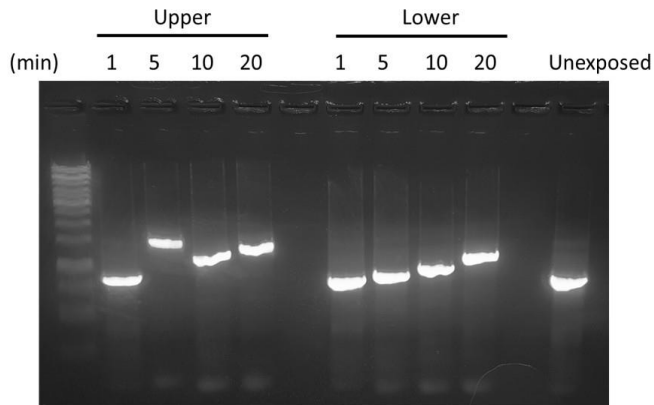
ภาพเรืองแสง (fluorescence) ของเชื้อไวรัสที่มีชีวิตและยังมีการแบ่งสารพันธุกรรมได้ (replication) จะเห็นเป็นสีชมพูบนสีย้อมน้ำเงิน (unexposed control) จากการศึกษาไม่พบไวรัสที่มีชีวิตบนผิวด้านในชั้นที่ 2 ที่ระยะ 10 และ 23 ซม. ในทุกช่วงเวลาที่ทำการทดลอง (1, 5, 10 และ 20 นาที) (ภาพที่ 10)

**ภาพที่ 10** แสดงภาพเรืองแสง (fluorescence) ของเชื้อไวรัสโคโรนาในเซลล์ Vero E6 ที่ได้จากหน้ากากที่ฉายแสง ณ. เวลาแตกต่างกัน และหน้ากากควบคุม (ไม่ได้ฉายแสง หรือ unexposed control)



จากนั้นนำตัวอย่างที่ไม่พบไวรัสชนิดที่เรืองแสงขึ้นในเซลล์ (พบไวรัสเรืองแสงขึ้นในเซลล์ เป็นไวรัสมีชีวิต) จากชั้นหน้ากากที่ผ่านการฉายแสงUVC ไปทำการทดสอบด้วยเทคนิค Reverse Transcriptase Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) ด้วยการใช้ primer ที่จำเพาะต่อไวรัสโคโรนาสุกรดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 11

**ภาพที่ 11** แสดงเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสของผลผลิตจาก RT-PCR ที่ได้จากการสกัด RNA จากหน้ากากที่ฉายแสงในเวลาที่แตกต่างกัน และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 2 ระยะ



#### Method

1. Media (200ul) containing virus released from N95 was subjected to RNA extraction using Viral RNA extraction kit (Geneaid).
2. RNA was used as the template for RT-PCR using primer specific for nucleocapsid gene of PEDV. PCR was carried out using one-step RT-PCR (TAKARA Bio).
3. PCR products were subjected to electrophoresis on 1% agarose gel.

#### Result and Discussion

Even though all UV-exposed samples did not give rise to productive infection, viral RNA could be extracted, which suggests the presence of virus, though abortive, in each sample. It is also notable that PCR products in UV- treated group appear different from the control. This data thus indicate that the UV radiation drastically affects the integrity of the viral RNA, which, in turn, compromises the viral infectivity.

ผลการศึกษาพบว่ายังสามารถตรวจพบเชื้อไวรัสโคโรนาซุกุรได้ในหน้ากากควบคุม (ไม่ได้ฉายแสง) หน้ากากที่ได้รับการฉาย UVC ที่เวลา 1 นาทีในทั้ง 2 ระยะห่าง คือ 10 ซม. (upper) และ 23 ซม. (lower) ในขนาดผลผลิต ประมาณ 450 base pairs (bp) จากการทำ RT-PCR อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า ขนาดของผลผลิต RT-PCR มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปชัดเจนเมื่อเวลาการฉาย UVC เพิ่มขึ้น (ตั้งแต่ 5, 10 และ 20 นาที ทั้ง 2 ระยะห่าง) แสดงว่าแสง UVC สามารถเข้าไปทำลายสาย RNA ของไวรัสแบบสุ่ม (random) จนทำให้ไวรัสหมดความสามารถในการแบ่งตัวและติดเชื้อ โดยพบว่ากลุ่มตัวอย่างชั้นบนที่ห่างจากหลอดน้อยกว่า (10 ซม.) มีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่ากลุ่มตัวอย่างชั้นล่าง (23 ซม.) ที่ห่างจากหลอดมากกว่า

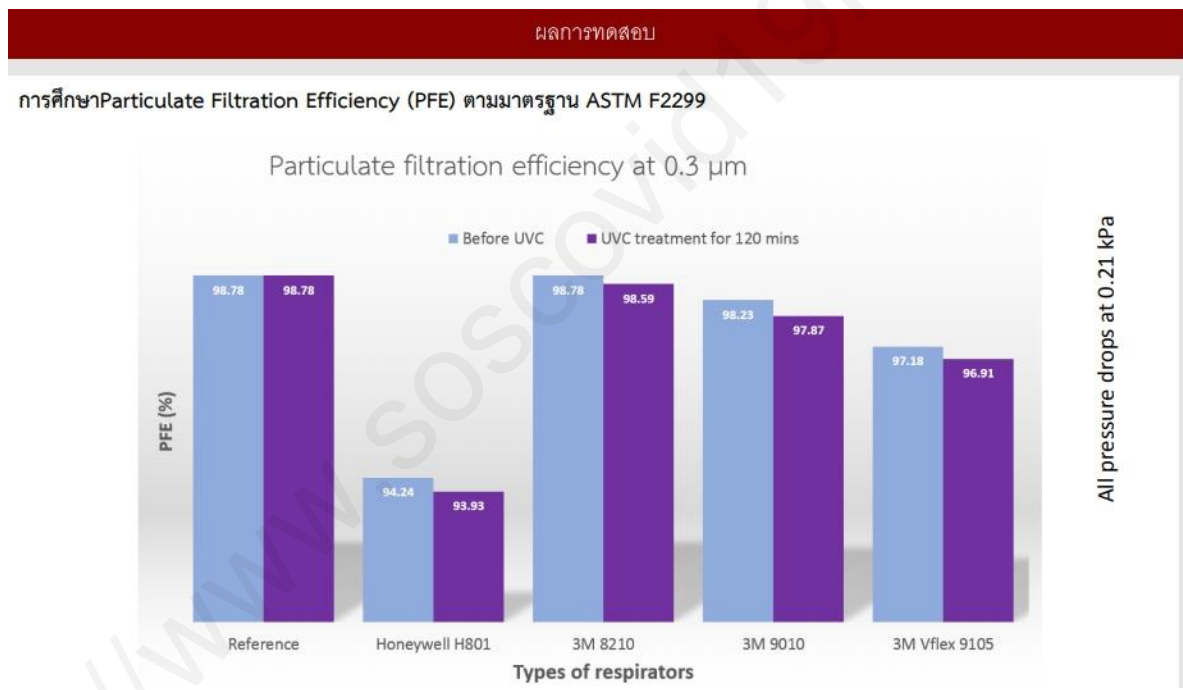
ในการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยศึกษาเชื้อปนเปื้อนที่ผิวนอกของแผ่นกรองชั้นที่ 2 เป็นหลัก เนื่องจากผิวของหน้ากากทางการแพทย์ (N95) จะมีคุณสมบัติกันน้ำ (hydrophobic) โดยเฉพาะละอองฝอยน้ำลายซึ่งเป็น water base จะไม่สามารถซึมผ่านเข้ามาทะลุผ่านมาถึงชั้นที่ 2 ได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยสูงสุดของผู้ใช้ ผู้วิจัยจึงจำลองสถานการณ์ที่อาจมีเอไวรัสเล็ดลอดผ่านชั้นที่ 1 (SB-PP) เข้ามาจนถึงส่วนผิวนอกของชั้นที่ 2 (MB-PP) ได้ แต่ไม่ได้ทำการทดสอบที่ความลึกไปกว่าผิวด้านนอกของหน้ากากชั้นที่ 2

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าปริมาณพลังงานแสงที่น้อยที่สุดที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าไวรัสได้อยู่ที่  $0.081 \text{ mW/cm}^2 \times 60 \text{ second}$  เท่ากับ  $4.86 \text{ mJ/cm}^2$  ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการวิจัยของ Chun-Chieh Tseng และคณะ (1)

### 3. การศึกษาประสิทธิภาพของการกรอง (filtration efficacy) ของหน้ากากภายหลังการฉายรังสีUVCด้วยเวลารวม 120 นาที (เวลาที่คาดว่าจะให้ใช้สำหรับการอบหน้ากากซ้ำครบทุกรอบ)

ดำเนินการโดยทีมวิจัยของห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา โดย รศ.ดร. พานิช อินต๊ะ

ทำการวัดค่า FE (Filtration Efficacy) ตามมาตรฐาน ASTM F2299 และ Pressure drop กับหน้ากาก 4 แบบ (3M 8210, 3M9010, 3M Vflex 9105, Honeywell H801)ภายหลังจากการฉาย UVC ที่วัดค่ารังสีได้ 2.4 mW/cm<sup>2</sup> นาน 20 นาที เป็นจำนวน 6 ครั้ง นานรวม 120 นาที เทียบกับหน้ากากที่ไม่ได้ฉายรังสี พบว่า FE %ลดลงในช่วง 0.2-0.9 % และหน้ากาก 3M ทั้ง 3 รุ่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานการกรองหลังผ่านการฉายรังสี 120 นาที



**ภาพที่ 12** แสดงค่า FE ในตัวอย่างหน้ากาก 4 ชนิด ที่ยังไม่ได้รับการฉายแสงเปรียบเทียบกับฉายแสง 120 นาที

### 4. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของหน้ากากภายหลังการฉายรังสีUVCด้วยเวลารวม 120 นาที (เวลาที่คาดว่าจะให้ใช้สำหรับการอบหน้ากากซ้ำครบทุกรอบ)

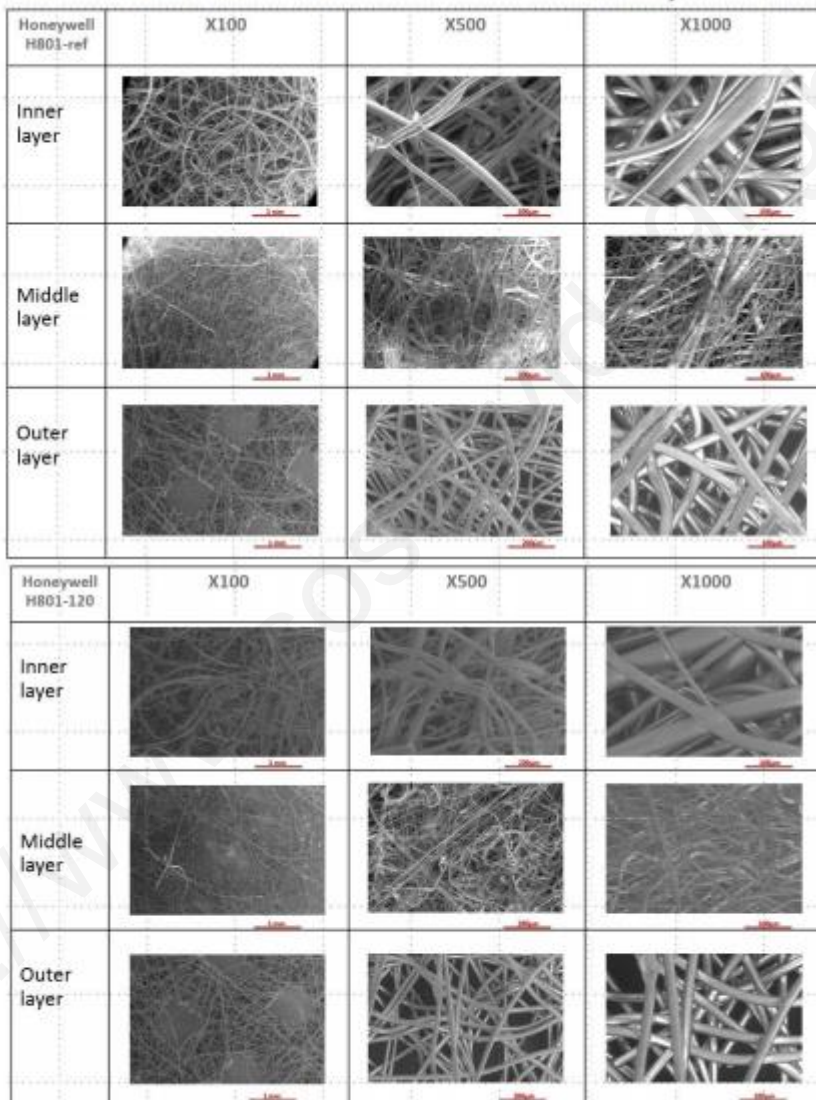
ดำเนินการโดยทีมวิจัยของห้องปฏิบัติการ M3D คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นำโดย รศ.ดร.บุญรัตน์ โส่วงศ์วัฒน์ ได้ทำการทดสอบลักษณะเส้นใยของที่ปรากฏบนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM) ภายหลังจากการฉาย UVC ที่วัดค่ารังสีได้ 2.4 mW/cm<sup>2</sup> นาน 20 นาที เป็นจำนวน 6 ครั้ง นานรวม 120 นาที เปรียบเทียบกับชิ้นส่วนหน้ากากที่ไม่มีการใช้ UVC ซึ่งผลการทดลองพบว่าเส้นใยทุกชั้นจากทุก



หน้ากากมีลักษณะเหมือนเดิม ทั้งนี้พบร่องรอยบางอย่างบนเส้นใยในระดับไมครอนในแผ่นกรองชั้นในของหน้ากาก 3M 9010 หลังจากอบ 120 นาทีซึ่งต้องพิจารณาควบคู่กับผลวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อเข้าใจว่าเส้นใยเสื่อมสภาพหรือไม่

**ภาพที่ 13** ภาพ Electron Microscopeเปรียบเทียบลักษณะเส้นใยของหน้ากาก Honeywell H801 ก่อนและหลังฉายรังสี 120 นาที

ตัวอย่างการเปรียบเทียบลักษณะเส้นใยของหน้ากาก Honeywell H801



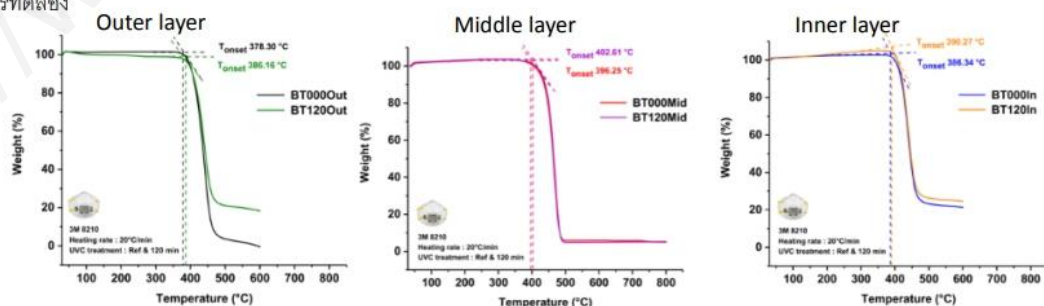
## 5. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของหน้ากากภายหลังการฉายรังสี UVC ด้วยเวลารวม 120 นาที (เวลาที่คาดว่าจะให้ใช้สำหรับการอบหน้ากากซ้ำครบทุกรอบ)

ดำเนินการโดยทีมวิจัยของห้องปฏิบัติการ M3D คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นำโดย รศ.ดร.บุญรัตน์ โสวงศ์วัฒน์ ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของหน้ากาก N95 ของบริษัท 3M 2 รุ่น ได้แก่ 8210 และ 9010 โดยใช้เทคนิคทางด้าน Thermal analysis ได้แก่ differential scanning calorimetry (DSC) และ thermal gravimetric analysis (TGA) โดยมีการวัดคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชั้นของหน้ากาก

โดยในการทดลองนี้ ทางทีมผู้วิจัยได้มีการทดสอบคุณสมบัติของหน้ากาก ภายหลังจากการฉาย UVC ที่วัดค่ารังสีได้  $2.4 \text{ mW/cm}^2$  นาน 20 นาที เป็นจำนวน 6 ครั้ง นานรวม 120 นาที เปรียบเทียบกับชิ้นส่วนหน้ากากที่ไม่มีการใช้ UVC ซึ่งจากการทดสอบโดยใช้เทคนิค DSC พบว่าหลังจากมีการฉาย UVC ไป 120 นาที คุณสมบัติของชั้น outer และ middle 1 ของหน้ากาก N95 รุ่น 9010 นั้นมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยยะสำคัญ เช่นเดียวกับหน้ากาก N95 รุ่น 8210 เมื่อมีการทดสอบชั้นต่าง ๆ ของหน้ากากภายหลังฉาย UVC เป็นเวลารวม 120 นาทีพบว่า คุณสมบัติและโครงสร้างของหน้ากากมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 14

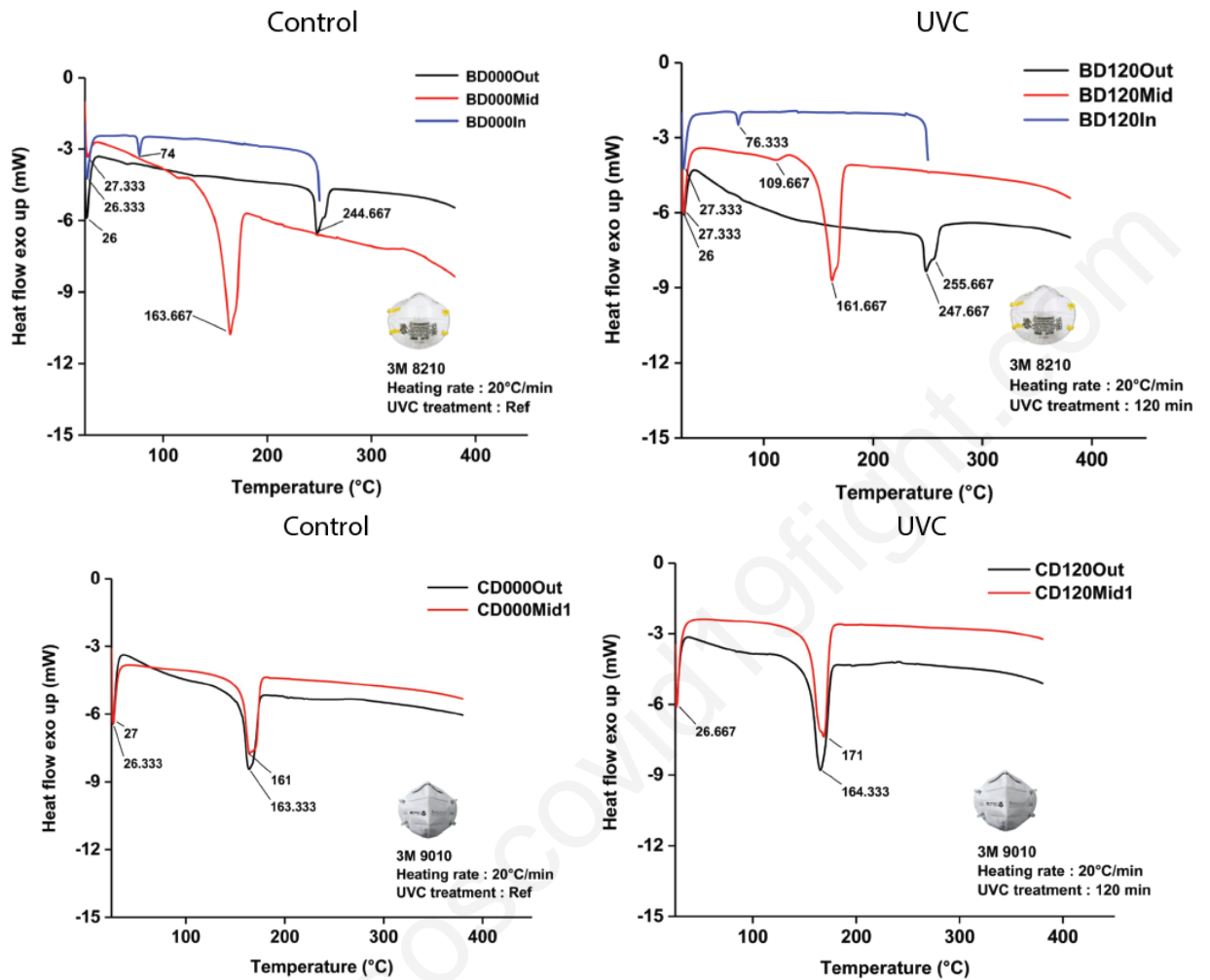
**ภาพที่ 14** แสดงผลการทดสอบหน้ากาก N95 รุ่น 9010 และ 8210 ด้วยเทคนิค DSC ก่อนและหลังฉาย UVC 120 นาที

ตัวอย่างผลการทดลอง



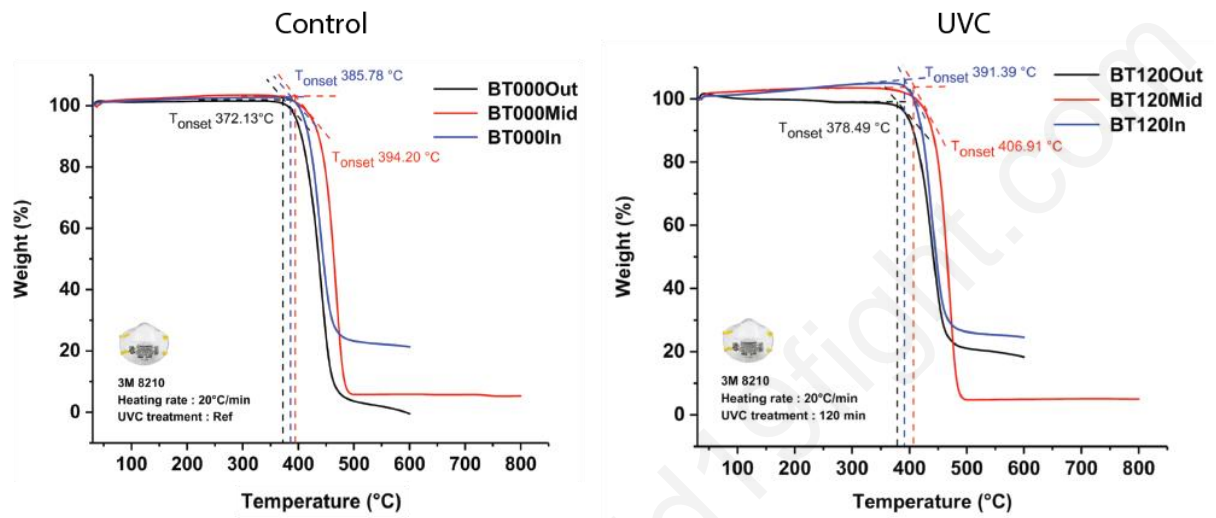
เริ่มพบความเปลี่ยนแปลง(เล็กน้อย)ที่ชั้นนอกของหน้ากาก 3M 8210 หลังจากรับรังสีUVCเป็นเวลา 120 นาที

ต้องพิจารณาควบคู่กับ particulate filtration efficiency เพื่อความปลอดภัยของผู้ใส่หน้ากาก



นอกจากการตรวจสอบคุณสมบัติของหน้ากากด้วยวิธี DSC แล้ว หน้ากากทั้ง 2 รุ่นได้ถูกทดสอบด้วยเทคนิค TGA อีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ ผลการทดสอบ DSC ซึ่งบ่งบอกว่า การใช้ UVC นาน 120 นาที มีผลให้คุณสมบัติของหน้ากาก N95 (รุ่น 8210) มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (ภาพที่ 15)

ภาพที่ 15 แสดงผลการทดสอบหน้ากาก N95 รุ่น 8210 ด้วยเทคนิค TGA ก่อนและหลังฉาย UVC 120 นาที



ภาพที่ 16 แสดงการวิเคราะห์ด้วย DSC/TGA/STA

การศึกษาด้านเคมี

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC / TGA / STA เพื่อศึกษาอุณหภูมิ Characteristic temperatures และการเปลี่ยนไปของน้ำหนักของโพลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูง โดยวิเคราะห์โพลิเมอร์แต่ละชนิดบนหน้ากากแต่ละชั้น ถ้ามีการเสื่อมสภาพ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและลักษณะของ Heat flow ที่ตรวจวัดได้ เช่น enthalpy change และ heat capacity change

Route	Layer	Temperature range (°C)		Heating rate	Atmospheric gas	Flow rate	Studies
		Start	End				
Route I : DSC and TGA	DSC	1, 3	25	250	20°C/min	N <sub>2</sub>	DSC I. Crystallinity, T <sub>c</sub> II. Melting temperature, T <sub>m</sub>
		2	30	400			
	TGA	1, 3	30	600			TGA I. Composition II. Thermal stability/ decomposition
		2	30	800			
Route II : DSC /TGA	1, 3	25	450	20°C/min	50 ml/min		
	2	30	800				

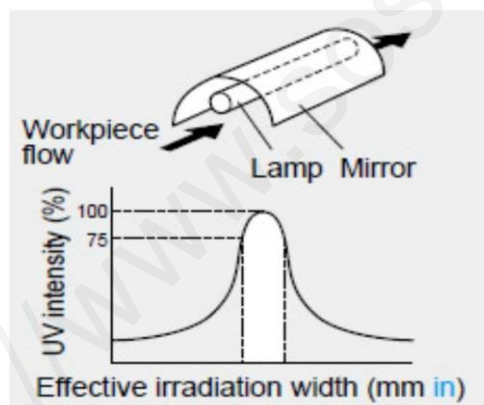
## การออกแบบตู้อบฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลตชนิด C (Ultraviolet C: UVC)

### หลักการทางวิศวกรรม

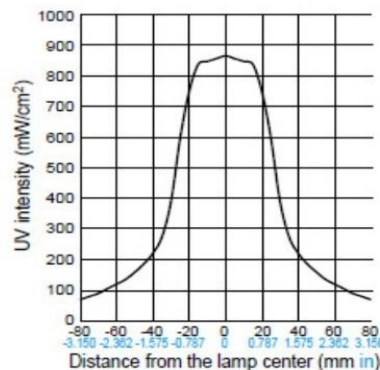
จากการศึกษาคุณสมบัติของแสงUVC ข้างต้นพบว่าค่ารังสีจะแปรผกผันกับระยะทาง ดังนั้น การออกแบบตู้อบฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลตชนิด UVC จึงต้องจัดวางหลอดไฟกับหน้ากากให้อยู่ในจุดที่สัมผัสแสงได้เพียงพอกับความต้องการในทุกเหลี่ยมมุม โดยไม่ให้เกิดเงาที่มบดบัง นอกจากนี้ เนื่องจากแสง UVC มีอำนาจการทะลุทะลวงต่ำ หากมีสิ่งใดมาบดบังแม้เพียงกระดาษบาง ๆ แสงก็ผ่านลอดได้น้อยลงมาก

จากการทดลองวัดค่าแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่าแสงจะกระจายออกมากที่สุดทิศทางตั้งฉากกับหลอด และค่าแสงจะลดลงเป็นรูปประฆังคว่ำในแนวห่างจากแกนหลอดออกไปทั้ง 2 ข้าง ดังแสดงในภาพที่ 17 และพบว่า ค่าแสงจะลดลงเหลือ 50% ที่ระยะห่างจากแกนหลอด 5.5 เซนติเมตร ทั้งสองข้าง นอกจากนี้ยังพบว่าที่บริเวณปลายทั้งสองข้างของหลอดไฟในบริเวณ ตรงหัวหลอดในที่ระยะประมาณ 4 เซนติเมตรจะวัดค่าแสงไม่ได้

**ภาพที่ 17** แสดงการลดลงของความเข้มแสงในลักษณะรูปประฆังคว่ำซึ่งตรงกับ COMSOL simulation

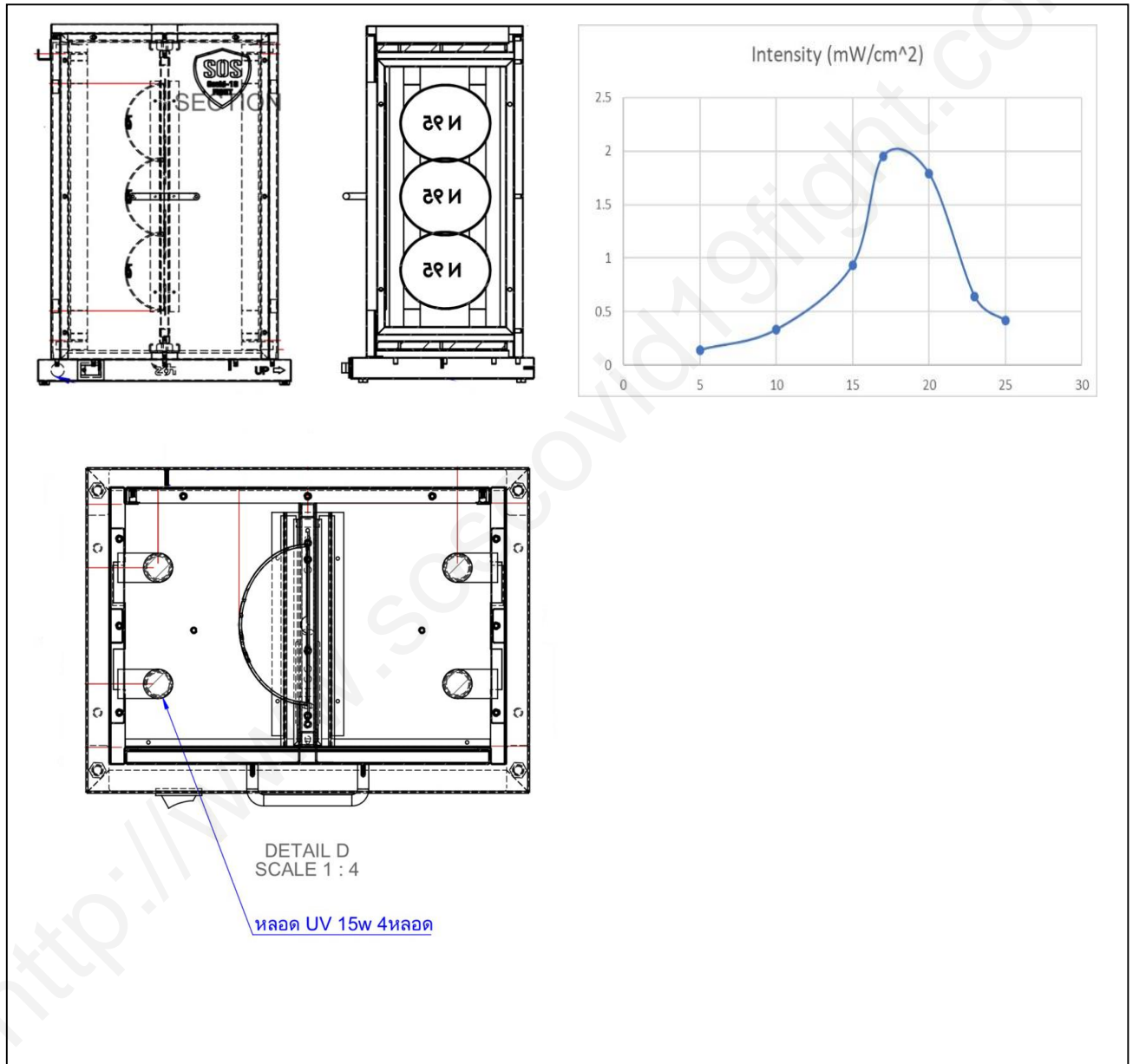


30mm 1.181 in wide type (custom-made product)



ด้วยองค์ความรู้ และข้อมูลที่ได้ทำการทดลองที่แสดงข้างต้น ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบตู้ฉายแสง UVC โดยมีจุดประสงค์ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้งออกมาตามลักษณะดังรูปเพื่อให้หน้ากากรับแสงที่ค่าแสงมากกว่าดังแสดงในภาพที่ 18

**ภาพที่ 18** แสดงภาพของตู้อบ UVC ตำแหน่งการวางหน้ากากที่เหมาะสม



### การประเมินระดับแสงที่ระยะต่าง ๆ

จากรูปแบบดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้วัดปริมาณพลังงานแสง ( $mW/cm^2$ ) ในตู้ต้นแบบที่วางหน้ากากห่างจากผิวหลอดไฟ 10 ซม. เป็นจำนวน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย ตามตารางที่ 3 ได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 3** แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณพลังงานแสง ( $mW/cm^2$ ) ในบริเวณต่างๆ ของตู้

ระยะของแถว	ริมตู้ด้านซ้าย	กึ่งกลาง	ริมตู้ด้านขวา
<b>ตู้ติดตั้งหลอดไฟขนาด 15 วัตต์ (W)</b>			
แถวบน	1.791	1.769	1.710
แถวล่าง	1.376	1.828	1.481
<b>ตู้ติดตั้งหลอดไฟขนาด 30 วัตต์ (W)</b>			
แถวบน	1.733	1.915	1.649
แถวกลาง	1.828	2.008	1.759
แถวล่าง	1.540	1.667	1.529

ดังนั้นหาค่าพิกัดจากค่าแสงที่ต่ำที่สุดที่วัดได้จากตู้ที่ผลิตขึ้นคือ **1.376  $mW/cm^2$**  แล้วนำมาคำนวณกลับเป็นพลังงานแสงต่อเวลาที่ฉายจะได้ผลตามตารางที่ 4 ดังนี้

**ตารางที่ 4** แสดงค่าพลังงานแสงที่เวลา 1, 5, 15 นาที ของตู้ SOS-UVC

ระยะเวลา	การคำนวณ	พลังงานแสงรวม ( $mJ/cm^2$ )	ประสิทธิภาพของการทำลายเชื้อ	เอกสารอ้างอิง
60 วินาที	$1.376 \times 60$	82.56	ครอบคลุมค่าแสงที่ใช้ฆ่าไวรัสทุกชนิดแบคทีเรียและยีสต์ที่ไม่สร้างสปอร์บนพื้นผิว	(1)
5 นาที	$1.376 \times 5 \times 60$	412.8	ตามคำแนะนำจากมหาวิทยาลัย Nebraska และครอบคลุมค่าแสงที่ใช้ฆ่าไวรัส SARS	(4), (5)
15 นาที	$1.376 \times 15 \times 60$	1,238.4	ตามคำแนะนำของ CDC และจากงานวิจัยของ Harnish & Heimbuch	(3)

ภาพที่ 19 แสดงตู้อบฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลตชนิด C ที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ แบบตู้สูง





ภาพที่ 20 แสดงตู้อบฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลตชนิด C ที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ แบบตู้เดี่ยว



## 6. การศึกษาข้อจำกัดและผลข้างเคียงอื่น ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นภายหลังการอบฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC

เนื่องจากแสง UVC จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศได้ ทำให้เกิดก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) ซึ่งจะทำให้เกิดมีกลิ่นบนหน้ากากได้ แต่กลิ่นโอโซนดังกล่าวนี้จะค่อย ๆ จางลงในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ซึ่งในอากาศปกติทั่วไปมีปริมาณโอโซน 0.003-0.005 ppm โดยระดับที่มนุษย์จะได้ออกซิเจนคือ 0.003-0.1 ppm โดยขนาดที่เป็นพิษตามมาตรฐาน The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ภายใต้ CDC คือ  $> 0.1$  ppm

ในการทดลอง คณะผู้วิจัยได้วัดค่าโอโซนที่เกิดขึ้น ขณะทำการอบฆ่าเชื้อหน้ากาก 25 รอบ รอบละ 5 นาที โดยมีการเปิดหน้าต่างและพัดลมในห้องที่ทำการอบ สามารถวัดค่าโอโซนได้ 0.02-0.03 ppm ซึ่งไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และกลิ่นโอโซนจางหายไปอย่างรวดเร็วหลังเปิดตู้

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทำการวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้อบฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC ได้ผลตามที่แสดงในตารางที่ 5 พบว่าอุณหภูมิของตู้เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $30^{\circ}C$ ) เพียงเล็กน้อย และไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของหน้ากากแต่อย่างใด

ตารางที่ 5 แสดงการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC

ระยะเวลานับจากเปิดเครื่อง (นาที)	วัดครั้งที่ (องศาเซลเซียส)			ค่าเฉลี่ย (average $\pm$ SD)
	1	2	3	
5	37.1	37.5	37.5	37.37 $\pm$ 0.23
10	37.5	37.4	37.5	37.47 $\pm$ 0.05
15	37.5	37.5	37.5	37.50 0

## ภาคผนวก (Appendix)

- คุณสมบัติและการใช้งานของตู้
- ขั้นตอนกระบวนการนำส่งหน้ากากเข้าอบฆ่าเชื้อเพื่อนำหน้ากากกลับมาใช้ซ้ำ
- คำแนะนำในการใช้ตู้อบรังสีอัลตราไวโอเล็ต-ยูวีซี (SOS-UVC) ในการอบฆ่าเชื้อหน้ากากเพื่อใช้ซ้ำ
- คำแนะนำในการใช้หน้ากากที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อเพื่อใช้ซ้ำสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ (CDC guidelines)

<http://www.sos-covid19fight.com>

คุณสมบัติและการใช้งานของตู้  
รูปแบบตู้อบรังสีอัลตราไวโอเล็ต-ยูวีซี (SOS-UVC) ในการอบฆ่าเชื้อหน้ากากเพื่อใช้ซ้ำ



ขนาด 15W  
น้ำหนัก 12.8K



ขนาด 30W  
น้ำหนัก 19.2K

ลักษณะภายนอก

1. ที่พินสายไฟ
2. ปลั๊กไฟ (ปลั๊กไฟตัวผู้ 3 ขา รุ่น 1709 (สีเหลือง+ดำ)
3. นาฬิกาจับเวลา
4. ช่องมองการทำงานของตู้
5. มือจับ
6. ฐานตู้
7. ขาปรับระดับ
8. Switch ON / OFF
9. ลูกศรตั้งขึ้นกรณีใช้งานตู้แวนอน



ลักษณะกายภาพภายใน



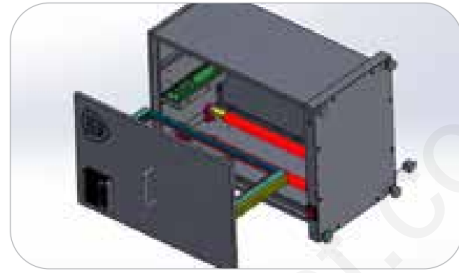
1. หลอดไฟ UVC
2. รางลื่นชัก เปิด / ปิด
3. ตะแกรงแขวนหน้ากากอนามัย



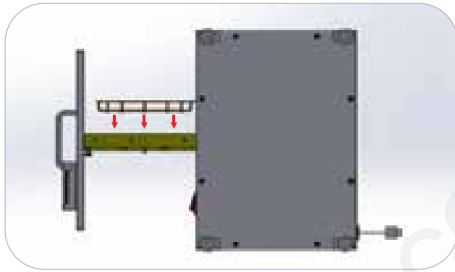
## ในกรณีที่ต้องการใช้ตู้อบในแวนอนเพื่ออบสิ่งต่างๆ



1. พลิกตู้ให้อยู่ในแนวนอนโดยลูกศร  
ตั้งขึ้นด้านบน



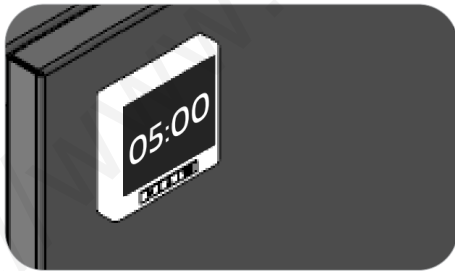
2. เปิดหน้าบานตู้อบนاعمัย



3. นำตะแกรงไปวางบนโครงแขวน  
หน้ากากอนามัย



4. ปิดตู้ให้สนิท



5. ตั้งเวลาทำงาน



6. เปิดสวิตซ์ทำงานตู้



### ขั้นตอนการใช้งานตู้อบหน้ากากอนามัย



1. แกะสายไฟออกจากที่พันสายไฟ  
นำไปเสียบปลั๊ก



2. เสียบปลั๊กเข้าเต้าเสียบของเครื่อง  
สำรองไฟUP



3. เปิดตู้เพื่อเตรียมแขวนหน้ากาก



4. แขวนหน้ากาก N95 บนตะแกรง



5. ปิดตู้ให้สนิท



6. ตั้งเวลาเพื่อจับเวลาอบหน้ากาก 5 นาที







7. เปิดสวิทซ์ทำงานตู้อบหน้ากอนามิ



8. เมื่อเริ่มทำงานสังเกตมีแสงสีฟ้าที่ป้าย SOS ด้านหน้า



9. รอนครบเวลาตามที่ตั้ง



10. ปิดสวิทไฟเมื่อครบเวลา



5. เปิดฝาตู้เพื่อนำหน้ากากที่อบเสร็จแล้วออก

**หมายเหตุ:**

1. ควรตั้งเครื่องอบในห้องที่อากาศถ่ายเทดีเช่นใกล้หน้าต่างเปิดและเปิดพัดลมเป่าขณะทำงาน
2. ผู้ปฏิบัติหน้าที่ต้องระมัดระวังไม่จ้องแสงuvไม่เปิดตู้ขณะเปิดสวิทไฟเพราะแสงuvทำให้กระจกตาอักเสบและก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังหากสัมผัสกับแสงและเพื่อความปลอดภัยควรสวมแว่นกันแดดขณะทำงาน
3. ให้เจ้าหน้าที่จดบันทึกจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานเครื่องและเปลี่ยนหลอดเมื่อใช้งานถึง 6000ชั่วโมง



## Timer Count-Down Magnetic Loud Alarm Clock

### Descriptions

- Dimensions: Approx 80x75x20mm / 3.15"x2.95"x0.79" ( Large, Clear Digits )
- On/Off Switch
- Power Supply: 1 x AAA Battery. (Included)
- Loud, Audible Alarm, Can Hear From Another Room
- Magnetic Backing and Retractable Stand

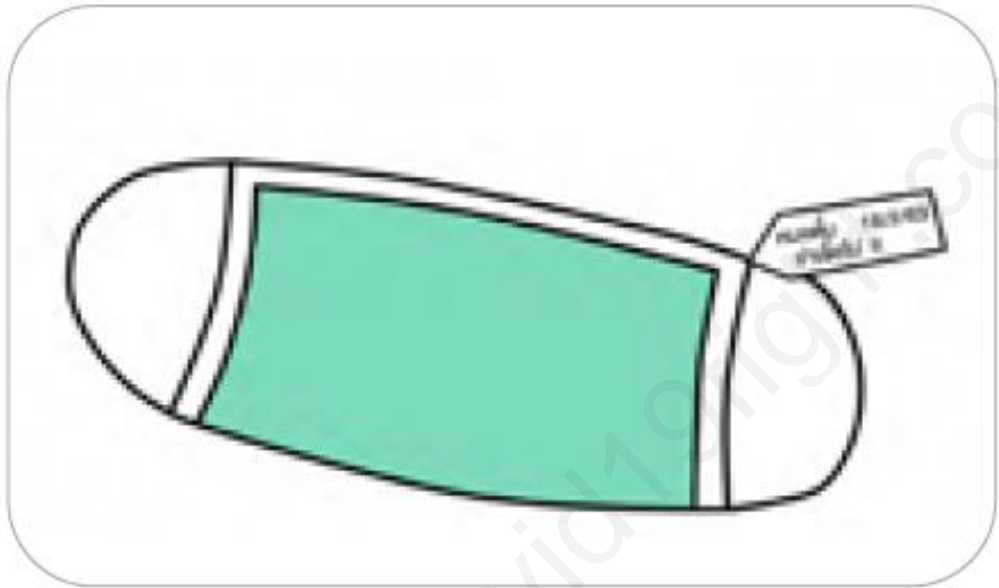
### Using Method

- Press S or M Button to set the second or minute;
- Press ST/SP button to start/stop the timer;
- Press M button + S button at the same time will RESET the time to 00:00.
- Press any button to stop the ringing.
- Memory (remembers last setting used): Press ST/SP button will RESET to last setting used.
- The timer will remember the last setting, which is useful for repetitive activities.

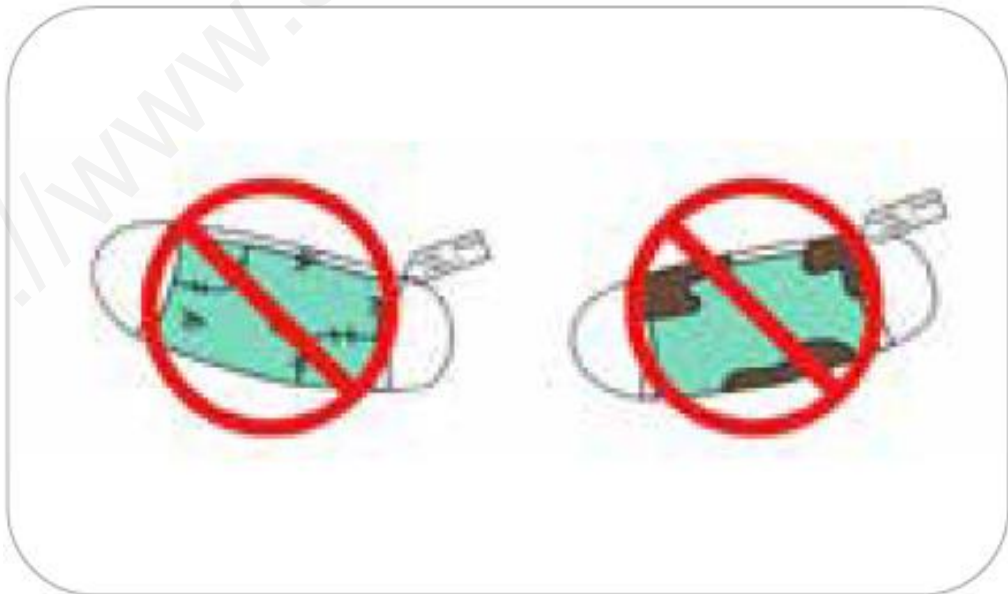


## ขั้นตอนกระบวนการนำส่งหน้ากากเข้าบ่อเชื้อเพื่อนำหน้ากากกลับมาใช้ซ้ำ

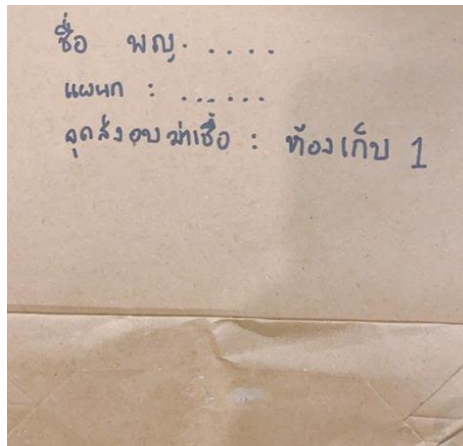
1. เมื่อได้หน้ากากใหม่ ให้เขียน ตัวย่อชื่อ, วันที่ใช้ครั้งแรก, จำนวนครั้งที่นำมาฆ่าเชื้อ



2. หลังการใช้งาน ตรวจสอบว่าหน้ากากไม่ชำรุด ไม่มีคราบเมือก เป็นนสกปรกบนหน้ากาก จึงสามารถส่งอบฆ่าเชื้อเพื่อใช้ซ้ำได้



3. ใส่หน้ากากในถุงหรือซองกระดาษ breathable bag ที่เขียนชื่อ, แผนก, จุดส่ง เพื่ออบฆ่าเชื้อบนถุง



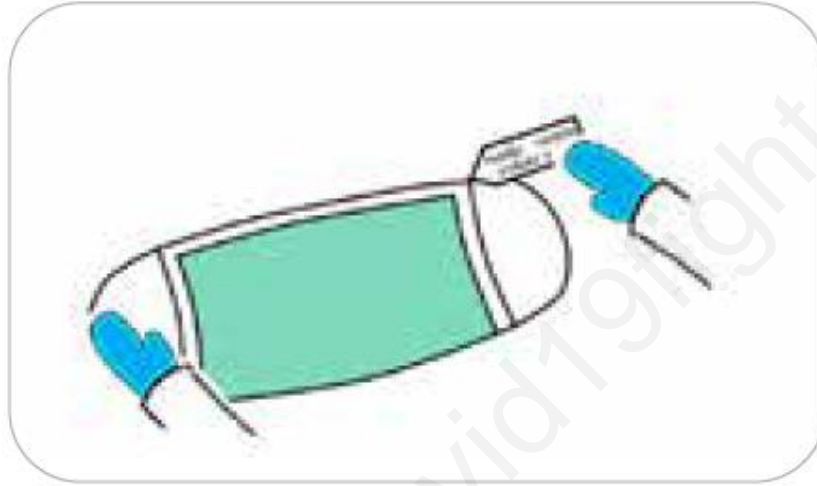
4. นำถุงที่บรรจุ หน้ากากที่ใช้แล้วไปส่งที่ห้องที่ใช้สำหรับรวบรวมเพื่อส่งอบฆ่าเชื้อ



5. พนักงานรวบรวมถุงหน้ากากไปส่งที่ห้องอบฆ่าเชื้อ



6. ผู้ทำหน้าที่อบฆ่าเชื้อหน้ากาก ต้องล้างมือด้วยสบู่ บริเวณใกล้ห้องอบฆ่าเชื้อ ก่อนและหลังการปฏิบัติหน้าที่
7. เจ้าหน้าที่สวมใส่ชุดป้องกัน (PPE) และสวมแว่นนิรภัยใส นำหน้ากากออกจากถุง ตรวจสอบชื่อที่หน้ามากกว่าตรงกับชื่อที่ถุง



8. แขนงหน้ากากในตู้อบบนราวขึง (Rack) โดยขึงหูคล้องกับตะขอบน Rack จนเต็ม



9. เปิดเครื่องอบโดยสังเกตว่าต้องมีไฟสว่างที่ป้ายSOSทุกครั้ง อบจนครบตามเวลาที่กำหนด ตู้อบ UVC ควรอยู่ในห้องที่มีการระบายอากาศที่ดี อยู่ใกล้หน้าต่าง และมีพัดลมช่วยหมุนเวียนอากาศ



10. ระหว่างรออบ นำถุงสีขาวใบใหม่เขียนชื่อ แผนก ตามถุงสีน้ำตาลที่บรรจุหน้ากากที่ส่งมาอบ



- เมื่ออบฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่เปลี่ยนถุงมือใหม่ แล้วนำหน้ากากที่ฆ่าเชื้อแล้ว ทำสัญลักษณ์บนหน้ากากแสดงจำนวนครั้งที่นำมาฆ่าเชื้อ แล้วนำหน้ากากใส่ถุงสีขาวใบใหม่ ให้ตรงตามชื่อ, แผนก แล้วเย็บผนึกปากถุง



- พนักงานนำถุงบรรจุหน้ากากที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ไปยังห้องที่กำหนดเพื่อรับหน้ากากที่ฆ่าเชื้อแล้ว (ควรเป็นคนละห้องกับห้องที่ส่งฆ่าเชื้อ)



13. บุคลากรมารับถุงหน้ากากของตัวเองที่ห้องรับหน้ากากตามชื่อบนถุง หากพบว่าสภาพหน้ากากชำรุด หรือไม่กระชับพอดีหน้า ไม่ควรใช้หน้ากากนั้นต่อ



<http://www.soscovid19.com>



## คำแนะนำในการใช้ตู้อบรังสีอัลตราไวโอเล็ต-ยูวีซี (SOS-UVC) ในการอบฆ่าเชื้อหน้ากากเพื่อใช้ซ้ำ

1. หน้ากากที่เปื้อนคราบเลือด คราบสิ่งคัดหลั่ง ควรทิ้ง ไม่ควรนำกลับมาอบฆ่าเชื้อเพื่อใช้ซ้ำ คราบเครื่องสำอางและครีมกันแดด อาจบดบังแสงทำให้ลดประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อลงได้
2. ผู้ที่ทำหน้าที่อบฆ่าเชื้อหน้ากาก ควรสวมชุดป้องกันการติดเชื้อที่เหมาะสมโดยยึดหลักปลอดเชื้อ (sterile technique) ทั้งการนำหน้ากากเข้าตู้และการนำหน้ากากออกจากตู้
3. ผู้ทำหน้าที่อบฆ่าเชื้อหน้ากากต้องล้างมือด้วยสบู่บริเวณใกล้ห้องอบฆ่าเชื้อหลังการปฏิบัติหน้าที่
4. คลื่นหน้ากากออกให้รับแสงได้ทั่วทั้งหน้ากากให้มากที่สุดทั้งด้านหน้าและด้านหลังโดยใช้ตะขอด้านข้างและด้านบนบนเกาะตามลักษณะของหน้ากากเพราะส่วนที่ถูกบังไม่โดนแสงอาจได้รับแสงไม่เพียงพอในการฆ่าเชื้อ
5. ขณะเปิดตู้เพื่อแขวนหน้ากากให้ปิดสวิทช์เครื่องเมื่อปิดตู้แล้วจึงเปิดสวิทช์เครื่อง ให้สังเกตว่ามีแสงสีฟ้าที่ป้าย SOS สว่างขึ้น หากไม่พบแสงสว่างที่ป้าย SOS หลังการเปิดสวิทช์เครื่องแสดงว่าหลอดไม่ติด
6. ตั้งเวลา 5-15 นาทีต่อรอบการอบ โดยพิจารณาจากชนิดหน้ากาก ถ้าเป็นแบบทางการแพทย์ที่กันน้ำ ผิวเรียบ ไม่มีซอกมุมบังแสง ใช้เวลา 5 นาที แต่หากเป็นหน้ากากไม่กันน้ำ ผิวเป็นคลื่นลอนขรุขระ มีมุมบังแสงใช้เวลา 15 นาที
7. ตามข้อมูลการทดลองสามารถอบหน้ากากซ้ำได้ถึง 24 รอบหากใช้เวลาอบ 5 นาที หรือ อบซ้ำได้ 8 รอบหากใช้เวลาอบ 15 นาที โดยไม่ทำให้คุณสมบัติในการกรองสูญเสียทั้งนี้ผู้ใช้หน้ากากต้องทดสอบความเหมาะสมของหน้ากากบนใบหน้าเองด้วยตามคำแนะนำของ CDC ข้างต้น

## ข้อแนะนำระยะเวลาในการทำความสะอาดหน้ากากทางการแพทย์ด้วยเครื่องอบฆ่าเชื้อ SOS-UVC ใช้ได้ทั้งรุ่น 15 และ 30 วัตต์

ประเภทหน้ากาก	ตัวอย่างหน้ากาก (รุ่น)	ระยะเวลาในการอบ (นาที)	จำนวนรอบที่อบสูงสุด (ครั้ง)
หน้ากากอนามัย	Surgical mask ชนิด 3 ชั้น	5	24
หน้ากากทางการแพทย์ รูปร่างเป็นโดม ชนิดผิวเรียบ กันน้ำ	3M 1860	5	24
หน้ากาก ชนิดผิวเรียบ ไม่กันน้ำ	Gerson 1730 Safety AD2N95A	15	8
หน้ากากทางการแพทย์ ชนิดผิวขรุขระ หรือมีรูปร่างที่ทำให้มีมุมบังแสง	3M vflex 1870 3M viflex 1805 Kimberly Clark 46727	15	8

หมายเหตุ: ข้อแนะนำนี้ใช้ได้เฉพาะตู้อบรังสียูวี SOS-UVC เท่านั้น ไม่สามารถนำไปดัดแปลงใช้กับ ตู้อบ UVC ขนาดอื่น ๆ ได้ และยางสายรัดอาจไม่โดนแสงเต็มที่จากการบิดพับ ควรใช้น้ำยาฆ่าเชื้อเช็ดทำความสะอาดต่างหาก

8. ในการใช้งานตู้อบฆ่าเชื้อ UVC จะเกิดปฏิกิริยา ระหว่างแสง UVC กับอากาศ (ออกซิเจน) โดยจะเกิด ก๊าซโอโซนขึ้นในปริมาณหนึ่ง ซึ่งจะได้กลิ่นได้ในระหว่างทำงาน หรือเมื่อเปิดเครื่องและอาจมีกลิ่นติดบนหน้ากาก ซึ่งเมื่อทิ้งไว้สักพักกลิ่นจะหายไปเอง ซึ่งไม่เป็นอันตรายหากมีปริมาณไม่เกิน 0.1 ppm (อาการระคายเคืองเยื่อจมูก ตา และคอ ถ้าเกิน 0.1 ppm) ดังนั้น จึงควรตั้งเครื่องอบ UVC ในห้องที่มีอากาศถ่ายเทดี มีพัดลมเป่าและเปิด หน้าต่างในห้องที่ใช้อบฆ่าเชื้อด้วย UVC เพื่อระบายอากาศ
9. แสง UVC มีอันตรายต่อผิวหนังและดวงตา ห้ามจ้องแสง UVC เพราะอาจทำให้กระจกตาอักเสบ และอย่าเปิดตู้ขณะเปิดสวิตช์เพราะแสง UVC เป็นสารก่อมะเร็งผิวหนัง
10. ควรเช็ดทำความสะอาดหลอด UVC ด้วยผ้าสะอาดอยู่เป็นระยะด้วยผ้าไมโครไฟเบอร์แห้ง เพราะไอน้ำหรือฝุ่นที่มาจับ จะบดบังแสงและทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้
11. ควรเช็ดทำความสะอาดสายรัดด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมกับวัสดุของสายรัด ตามตารางคำแนะนำแนบท้าย ( วัสดุสายรัดส่วนใหญ่เป็นยาง nitrite และ polypropylene (PP) ดังนั้นอาจใช้ Hydrogen Peroxide)
12. ให้เจ้าหน้าที่จذبบันทึกจำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน เมื่อใช้งานครบ 6000 ชั่วโมงควรเปลี่ยนหลอด เพราะค่ารังสีอาจลดลง 20% โดยหลอดที่ใช้ต้องเป็นหลอดที่ผลิตรังสี UVC ความยาวคลื่น 253.7nm และมีสัญลักษณ์ Hg ซึ่งบ่งชี้ว่ามีปรอทด้วยเสมอ

### ความทนทานระหว่างวัสดุต่อสารทำความสะอาด

วัสดุพลาสติกและโพลีเมอร์	Alcohols, Aliphatic	Sodium Hypochlorite 15%	Hydrogen Peroxide 3%
ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)	*	*	*
Acetal ( polyoxymethylene)	A	C	X
Acrylic	X	A	A
CAB (Cellulose acetate butyrate)	*	*	*
CPVC (Chlorinated Polyvinyl Chloride)	*	*	*
ECTFE(Halar)	A	A	A
Fluorosint	A	A	A
HDPE (High density polyethylene)	*	A	*
Nylon, Type6/6	B	X	X
PEEK (Polyether ether ketone)	A	A	A

A = No Attack, possibly slight absorption. Negligible effect on mechanical properties.

B = Slight attack by absorption. Some swelling and a small reduction in mechanical likely.

C = Moderate attack of appreciable absorption. Material will have limited life.

X = Material will decompose or dissolve in a short. ( not resistance )

\* = No data available ที่มา: <https://www.plasticsintl.com/chemical-resistance-chart> 13 เมษายน 2563 Rev1.0

### ความทนทานระหว่างวัสดุต่อสารทำความสะอาด

วัสดุพลาสติกและโพลีเมอร์	Alcohols, Aliphatic	Sodium Hypochlorite 15%	Hydrogen Peroxide 3%
PET (Polyethylene Terephthalate)	A	A	A
Polycarbonate	*	A	A
PP (Polypropylene)	*	A	*
PSU (Polysulfone)	*	A	A
PPS ( Polyphenyl sulphide)	A	B	A
PVC (Polyvinylchloride) Type1	*	A	*
PVE (Polyvinylchloride) Type2	*	A	*
PVDF/PVF (Polyvinylidene fluoride)	A	A	B
PTFE/Teflon (Polytetrafluoroethylene)	A	A	A
Tecator/Torlon	A	A	*
UHMW-PE (Ultra-high molecular weight polyethylene)	A	A	A

ที่มา: <https://www.plasticsintl.com/chemical-resistance-chart>

13 เมษายน 2563 Rev1.0

### ความทนทานระหว่างวัสดุต่อสารทำความสะอาด

วัสดุเส้นใย สิ่งทอ	Alcohols, Aliphatic	Sodium Hypochlorite 15%	Hydrogen Peroxide 3%
Natural cotton	R	NR	R
Nylon	R	NR	NR
polypropylene	R	R	R
Rayon	R	NR	NR

วัสดุอื่น ๆ	Alcohols, Aliphatic	Sodium Hypochlorite 15%	Hydrogen Peroxide 3%
Natural rubber	A	C	C
Stainless	A	A	B
Aluminum	B	C	A
Ceramic	A	X	A

A: No effect - Excellent

B: Minor effect - Good

C: Moderate effect - Fair

D: Severe effect

\* = No data available

R : Resistant

NR : non-resistance

ที่มา: <https://www.quickcutgasket.com/pdf/Chemical-Resistance-Chart.pdf>

<https://www.plasticsintl.com/chemical-resistance-chart>

13 เมษายน 2563 Rev1.0

### ความทนทานระหว่างวัสดุต่อสารทำความสะอาด

วัสดุ PPE ถุงมือ รองเท้าบูท	Ethyl Alcohol 92%	Sodium Hypochlorite 15%	Hydrochloric acid 37%	Hydrogen Peroxide 30%
Natural rubber latex	VG	*	G	VG
Nitrite	F	*	VG	G
Polyvinyl chloride (PVC)	VG	*	VG	VG
Neoprene	VG	*	VG	VG
Polyvinyl alcohol (PVA)	NR	*	NR	NR
Neoprene + Natural rubber (Chemi-Pro™)	P	*	VG	VG
Butyl Rubber (Chem-Tek™)	VG	*	*	*
Butyl Rubber + VITRON (Chem-Tek™)	VG	*	VG	*

VG : Very good

G : Good

F : Fair

P : Poor

NR : Not recommended

\* = No data available

ที่มา: <https://www.labtek.com.au/SuppliersData/Ansell/Chemical%20Handling%20Glove%20Guide.pdf>

13 เมษายน 2563 Rev1.0

## คำแนะนำในการใช้หน้ากากที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อเพื่อใช้ซ้ำสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ (CDC guidelines) (10)

1. ล้างมือด้วยสบู่หรือ alcohol-based hand sanitizer ก่อนและหลังสัมผัสหรือตรวจสอบความเหมาะสมของหน้ากาก
2. หลีกเลี่ยงการสัมผัสด้านในของหน้ากาก
3. สวมถุงมือสะอาด (non sterile) ขณะใส่หน้ากากหรือทำการทดสอบความเหมาะสมของหน้ากาก
4. ตรวจสอบหน้ากากก่อนใช้ทั้งตัวหน้ากาก สายรัด โฟมที่จุ่มก ขอบโลหะที่สันจุ่มก ขอบหน้ากกว่ายังอยู่ในสภาพดีและยังคงประสิทธิภาพในความเหมาะสมกับผิวหน้า
5. หากพบว่าลักษณะทางกายภาพของหน้ากากไม่สมบูรณ์ หรือเมื่อสวมใส่แล้วไม่เหมาะสม บนใบหน้าเหมือนเดิม ไม่ควรใช้หน้ากากนั้นต่อ

**Reference:**

1. Chun-Chieh Tseng and Chih-Shan Li: Inactivation of Viruses on Surfaces by Ultraviolet Germicidal Irradiation. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2007,4:400-405
2. Devin Mills, Delbert A. Harnish, Caryn Lawrence, Megan Sandoval-Powers, Brian K. Heimbuch. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American Journal of Infection Control*, July 2018; e49-e55
3. Shu-Ming Duan, Xin-Sheng Zhao, Rui-Fu Wen, Jing-Jing Huang, Guo-Hua Pi, et al. Stability of SARS Coronavirus in Human Specimens and Environment and its Sensitivity to Heating and UV Irradiation. *Biomedical and Environmental Science*, 2003; 246-255
4. John J Lowe, Katie D Paladino, Jerald D Farke, Kathleen Boulter, Kelly Cawcutt, et. al. N95 Filtering Facepiece Respirator Ultraviolet Germicidal Irradiation ( UVGI ) Process for Decontamination and Reuse. *Nebraska Medicine*. Available from <https://www.nebraskamed.com/sites/default/files/documents/covid-19/n-95-decon-process.pdf>
5. Miriam E. R. Darnell, Kanta Subbarao, Stephen M. Feinstone, Deborah R. Taylor: Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *Journal of Virological Methods*, 2004; 121:85-91
6. Dr. Peter Tsai: Information and FAQs on the Performance, Protection, and Sterilization of Face Mask Materials. *UTRF News* (2020); Available from <http://utr.tennessee.edu/information-faqs-performance-protection-sterilization-of-face-mask-materials/>
7. William G. Lindsley, Stephen B. Martin, Jr., Robert E. Thewlis, Khanchatur Sarkisian, Julian O. Nwoko, Kenneth R. Mead, and John D. Noti: Effects of Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) on N95 Respirator Filtration Performance and Structural Integrity. *J. Occup Environ Hyg.* 2015; 12(8):509-517
8. Dr. Lei Liao, et al, Prof. Steven Chu, Prof. Yi Cui: Can Face masks be safely disinfected and reused? Report from the collaboration of Stanford University and 4CAir, Inc. March 2020
9. Consideration for healthcare organizations and occupational health professionals. *Technical Bulletin* March 2020; Available from : <https://multimedia.3m.com/mws/media/18165760/disinfection-of-disposable-respirators-technical-bulletin.pdf>
10. COVID- 19 Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators. Center for Disease Control and Prevention 2020; Available from : [http://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ ppe-strategy/ decontamination- reuse-respirators.html?fbclid=IwAR2Y\\_RxZFEsxml1swFOUHQBLH1Re4bt5d1h20DMKao65WJvzFkiMX\\_9WTr0](http://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html?fbclid=IwAR2Y_RxZFEsxml1swFOUHQBLH1Re4bt5d1h20DMKao65WJvzFkiMX_9WTr0)
11. Jengarn J, Wong thida P, Wanasen N, Franz PN, et al. Genetic manipulation of porcine epidemic diarrhoea virus recovered from a full length infectious cDNA clone. *J. Gen. Virol* 2015 Aug ; 96(8):2206-2218.