



การพัฒนาตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตซี

Development of a UV-C Disinfection Chamber for Coronavirus Elimination

จารุวรรณ จันทรงทอง* ศศิประภา แสงทับทิม** คงพันธ์ อิศรานนท์ชัย**

Jaruwan Jankong,* Sasipapha Saengtabthim,** Khongphan Itsaranonchai**

* สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยคริสเตียน จ.นครปฐม

* Department of Biomedical Engineering, College of Health Sciences, Christian University of Thailand,

Nakhon Pathom Province

** แผนกวิศวกรรมเครื่องมือทางการแพทย์ บริษัท IDS Medical Systems กรุงเทพมหานคร

** Department of Biomedical Engineering, IDS Medical Systems, Bangkok

* Corresponding Author: j.jankong@gmail.com

บทคัดย่อ

การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาที่ผ่านมาส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรไทย ผู้ที่เคยติดเชื้อบางรายมีอาการต่อเนื่องระยะยาวในภายหลัง ซึ่งเชื้อไวรัสโคโรนาติดต่อได้ง่ายผ่านระบบทางเดินหายใจ การทำความสะอาดเชื้อจากอุปกรณ์การแพทย์หลังการใช้งานยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความร้อนและความชื้นจากการนึ่งอบเพื่อทำลายเชื้อกับอุปกรณ์บางชนิดทำให้อุปกรณ์ทางการแพทย์เกิดความเสียหาย โดยการนำ UV-C มาประยุกต์ใช้นั้นจะสามารถช่วยแก้ปัญหาได้

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของรังสีอัลตราไวโอเลตซี (UV-C) โดยโครงสร้างของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาสร้างมาจากอะคริลิกใส มีความกว้าง 32.60 เซนติเมตร ความสูง 33.60 เซนติเมตร และความลึก 27.60 เซนติเมตร มีหลอดไฟกำเนิดรังสี UV-C 6 วัตต์ หลังจากนั้นทดสอบผลการวัดค่าตรวจจับรังสีภายใน 5 ตำแหน่ง และการเก็บตัวอย่างอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อตรวจหาเชื้อไวรัสโคโรนา

ผลการทดลองเมื่อทดสอบตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจาก 1 - 5 ตำแหน่ง วัดค่าตรวจจับรังสีได้เท่ากับ 266.60, 268.30, 270.30, 273 และ 276.10 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นรังสี 245 - 285 นาโนเมตร ความเข้ม 260 W/cm² ระยะห่าง 11.96 เซนติเมตร เวลาการใช้งานเท่ากับ 21 วินาที และภายหลังการทดลองตรวจไม่พบเชื้อไวรัสโคโรนา

สรุปผลได้ว่าสามารถเทียบเคียงช่วงคลื่นรังสี UV-C ที่วัดได้ 245 - 285 นาโนเมตร อยู่ในค่ากำหนดอ้างอิง ดังนั้นการพัฒนาตู้อบทำลายเชื้อสามารถทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาซึ่งเป็นเชื้อที่มีโครงสร้าง RNA ที่ทำลายได้ง่าย และยังสามารถใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์อื่นด้วย เช่น ไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา เมื่อใช้งานในช่วงคลื่นรังสี UV-C ดังกล่าว

คำสำคัญ: ตู้อบทำลายเชื้อ ไวรัสโคโรนา รังสีอัลตราไวโอเลตซี อุปกรณ์การแพทย์

Received: November 6, 2024; Revised: January 27, 2025; Accepted: January 30, 2025

Abstract

The COVID-19 pandemic has significantly impacted the health of the Thai population, with some individuals experiencing prolonged symptoms post-infection. The use of UV-C light can be applied to clean medical equipment after use, especially for devices that have limitations regarding heat and moisture during steam sterilization, which could otherwise cause damage to certain types of equipment.

This study aimed to develop a sterilization chamber and evaluate its effectiveness in eliminating the coronavirus from medical equipment using ultraviolet-C (UV-C) radiation. The chamber is constructed from transparent acrylic, measuring 32.60 cm in width, 33.60 cm in height, and 27.60 cm in depth. It is equipped with a 6-watt UV-C lamp. To evaluate its efficacy, radiation levels were measured at five positions within the chamber, including the collection of samples for screening from medical devices.

The results showed UV-C radiation measurements of 266.60, 268.30, 270.30, 273 and 276.10, all within the 245 - 285 nm wavelength range, at an intensity of 260 W/cm², with a distance of 11.96 cm from the source. The usage time was 21 seconds, and the results were negative, indicating no detection of the coronavirus.

In conclusion, this study validates the UV-C wavelength range of 245 - 285 nm as an effective standard for virus inactivation. The UV-C sterilization chamber developed in this study effectively inactivates coronavirus, an RNA-structured virus, and can also be used against other microorganisms, including various viruses, bacteria, and fungi, when operated within this UV-C wavelength range.

Keywords: disinfection chamber, Corona virus, UV-C, medical instruments

ความเป็นมาและความสำคัญ ของปัญหา

ปัจจุบันมีการเกิดโรคอุบัติใหม่ที่มาจากเชื้อที่มีการกลายพันธุ์ในสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ดังเช่น มีการแพร่ระบาดเชื้อไวรัสโคโรนา (SAR-COV-2) โดยองค์การอนามัยโลกได้ประกาศให้เป็นโรคระบาดในปี พ.ศ. 2563 ทำให้ประชากรมีการเจ็บป่วยเสียชีวิตในประเทศไทยจำนวนมาก ซึ่งเชื้อไวรัสโคโรนามีการแพร่กระจายได้ง่ายโดยสามารถติดต่อจากการสัมผัส ไอ จาม เมื่อปนเปื้อนจากสารคัดหลั่งร่างกายของผู้ที่ติดเชื้อ หรืออยู่ในอากาศด้วยวิธีการหายใจ ตลอดจนผู้ที่เคยติดเชื้อมีอาการป่วยต่อเนื่องระยะยาว (Long Covid)

ในภายหลังการรักษาการติดเชื้อได้ นอกจากนี้ในโรงพยาบาลต่างๆ ที่ต้องการนำอุปกรณ์การแพทย์เพื่อซ่อมบำรุงรักษาให้พร้อมใช้งาน รวมถึงทำความสะอาดเพื่อส่งต่อไปยังแผนกต่างๆ ของโรงพยาบาลอย่างต่อเนื่อง นับว่าการทำความสะอาดอุปกรณ์การแพทย์เพื่อให้ปราศจากเชื้อยังเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อบุคลากรที่ต้องรับผิดชอบหน้าที่ในการลดความเสี่ยงในการติดเชื้อ ทั้งยังสามารถใช้งานอุปกรณ์การแพทย์ได้ทันเวลา รวดเร็วเมื่อต้องการใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้กับผู้ป่วย COVID-19 ในกระบวนการทำลายเชื้อจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทของอุปกรณ์ที่ต้องฆ่าเชื้อในระดับที่สูงซึ่งสัมผัสผู้ป่วยโดยตรง (Sterilization) และอุปกรณ์ที่ต้องฆ่าเชื้อเฉพาะบางส่วน



(Disinfection) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อ โดยปกติทั่วไปจะมีการทำความสะอาดด้วยวิธีการอบนึ่งด้วยแรงดันไอน้ำ (Autoclave) ใช้ EO gas รวมถึงสารเคมีพลาสมาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้ในผู้ป่วย COVID-19 ได้แก่ อุปกรณ์วัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse oximeters) เทอร์โมมิเตอร์แบบสัมผัส กล้องส่องหลอดลม (Bronchoscope) หน้ากากช่วยหายใจหรือ CPAP/BiPAP masks หูฟังทางการแพทย์ (Stethoscope) อุปกรณ์ดูดเสมหะ (Suction catheters) รวมทั้งอุปกรณ์สัมผัสผิวหนัง เช่น Probe หรือ Sensors ต่างๆ เป็นต้น แม้ว่าวิธีทำความสะอาดแบบเดิมจะมีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์ แต่ยังมีข้อเสียเรื่องการใช้ระยะเวลานาน การตกค้างของสารเคมี ความชื้น และข้อจำกัดการทนความร้อนของวัสดุ ปัจจุบันการพัฒนาประยุกต์ใช้รังสี UV-C ในการทำลายเชื้อโรคมีอย่างกว้างขวาง^{1,2} ซึ่งเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ทำจากพลาสติกหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถทำความสะอาดได้อย่างรวดเร็ว ปลอดภัยไม่มีการใช้สารเคมีหรือการปล่อยของเสียที่เป็นพิษในปัจจุบัน

เชื้อไวรัสโคโรนาเป็นเชื้อที่มีลักษณะ Enveloped single stranded RNA สามารถทำลายได้ง่ายด้วยรังสีซึ่งมีลักษณะโครงสร้างดังกล่าว¹ วิธีการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาอีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับ คือ การนำรังสี Ultraviolet ประเภท C (UV-C) ที่มีความยาวช่วงคลื่นรังสีอยู่ระหว่าง 200 - 280 นาโนเมตรมาใช้งาน โดยมีการรายงานการทดสอบรังสี UV-C บนผิววัสดุโลหะ พลาสติก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า เชื้อไวรัสโคโรนายังสามารถมีชีวิตได้ 1 - 2 วัน² ซึ่งเวลานำมาใช้งานจะต้องพิจารณาช่วงคลื่นรังสี ระยะเวลา และปัจจัยอื่นที่เหมาะสมร่วมด้วย ในการศึกษาที่ผ่านมาพบการรายงานการเลือกใช้รังสีในช่วง 245 - 285 นาโนเมตร ซึ่งจะเป็นช่วงคลื่นรังสี UV-C ที่มีการทำลายไวรัสแบคทีเรีย และเชื้อราได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด โดยรังสี UV-C จะสามารถทำลายส่วนประกอบของโครงสร้าง Deoxyribonucleic acid (DNA) และ Ribonucleic

acid (RNA) ที่เป็นส่วนดูดซับรังสีได้มากที่สุดจนกระทั่งเชื้อตายได้³ และมีการศึกษาเทียบเคียงของรังสี UV-C ที่สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียที่มีโครงสร้างที่ทำลายได้ยากกว่าไวรัสด้วย รวมทั้งรังสี UV-C ยังมีประสิทธิภาพลดแบคทีเรียได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์⁴ นอกจากนี้มีการศึกษาระยะเวลา 3 และ 10 นาที ในการทำลายเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* บนภาชนะชนิดต่างๆ พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาทำลายเชื้อที่ระยะเวลา 10 นาที จะสามารถทำลายเชื้อได้ทั้งหมดมากกว่า 99.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบที่บริเวณผิวของภาชนะ¹

ในงานวิจัยครั้งนี้จึงสนใจนำรังสี UV-C มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการสร้างตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจากอุปกรณ์การแพทย์ในแผนกวิศวกรรมทางการแพทย์ ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์การแพทย์ที่มีข้อจำกัดในการทำ ความสะอาดอันอาจก่อให้เกิดความเสียหายจากความร้อน ความชื้น และสารเคมีหลังการใช้งานในโรงพยาบาล แล้วเพื่อเตรียมทำความสะอาดซ่อมแซมบำรุงรักษา ให้พร้อมใช้งานและส่งกลับไปยังแผนกต่างๆ ของโรงพยาบาลอีกครั้ง ตลอดจนการสร้างตู้อบทำลายเชื้อทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C จะสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการติดต่อแพร่ระบาดเชื้อได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

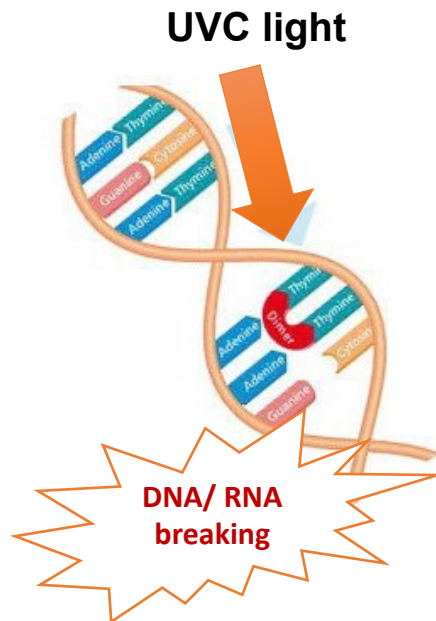
1. พัฒนาตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจากอุปกรณ์การแพทย์ด้วยรังสี UV-C
2. ศึกษาประสิทธิภาพของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจากอุปกรณ์การแพทย์ด้วยรังสี UV-C

กรอบแนวคิดการวิจัย

หลักการทำงานของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี Ultraviolet ประเภท C เป็นการปล่อยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นรังสีอยู่ระหว่าง 200 - 280 นาโนเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพที่สามารถทำลายเชื้อต่างๆ ที่ก่อโรค รวมถึงเชื้อไวรัสโคโรนาได้ หรือที่เรียกว่า Ultraviolet Germicidal Irradiation: UVGI²

โดยรังสี UV-C เมื่อตกกระทบไปยังเชื้อไวรัสโคโรนา จะเข้าไปทำลายโครงสร้างหลักของกรดนิวคลีอิกที่มีองค์ประกอบโครงสร้างของ DNA หรือ RNA ในการควบคุมทำงานของเชื้อไวรัสโคโรนาความยาวช่วงคลื่นรังสี 245 - 285 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นรังสี UV-C มีผลกระทบมากที่สุดในการดูดซับ

พันธะคู่เบส Thymine ที่เชื่อมกับพันธะ Hydrogen ที่ยึดกับ DNA หรือ RNA โดยจะส่งผลทำลายโครงสร้าง DNA หรือ RNA เปลี่ยนไป⁵ และจะมีผลทำลายยับยั้งการทำงาน การแบ่งตัว การเจริญเติบโตของเชื้อไวรัสโคโรนาตายในที่สุด⁶



ภาพที่ 1 หลักการทำงานดูดซับทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ที่มีผลทำลาย DNA/ RNA (ดัดแปลงภาพจาก PrimusTech Pte Ltd.)⁷

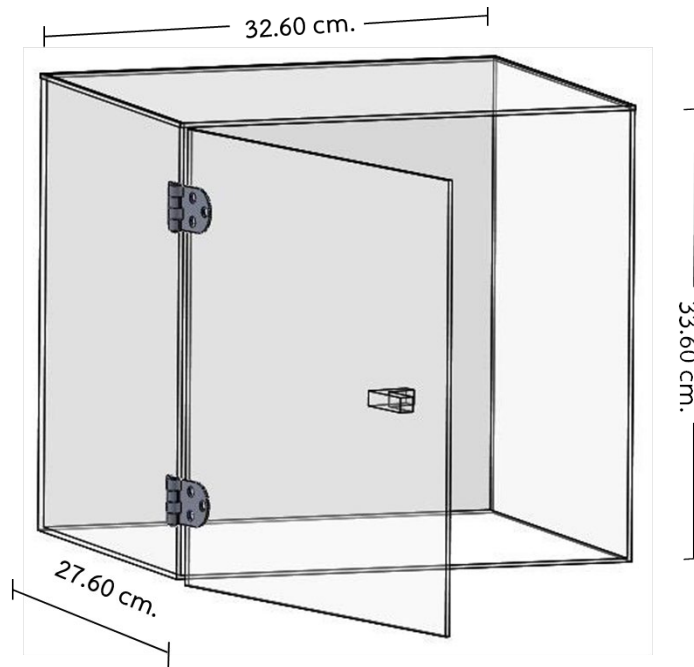
วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบดูดซับทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C สำหรับอุปกรณ์การแพทย์ขนาดเล็กหลังการใช้งานเรียบร้อยแล้ว พร้อมกับการกำหนดตำแหน่งการทดสอบการตรวจจับค่ารังสี UV-C ภายในดูดซับทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ทั้ง 5 ตำแหน่งในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการพัฒนาดูดซับทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

1.1 การออกแบบโครงสร้างดูดซับทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

การออกแบบโครงสร้างของดูดซับทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C มีขนาดความกว้าง 32.60 เซนติเมตร ความสูง 33.60 เซนติเมตร และความลึก 27.60 เซนติเมตร มีฝาเปิด-ปิดด้านหน้า ซึ่งออกแบบด้วยโปรแกรม Solidwork ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การออกแบบโครงสร้างขนาดของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

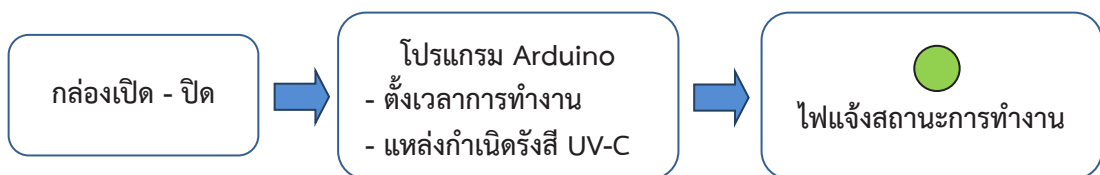
1.2 ส่วนประกอบ และวัสดุตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

โครงสร้างของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ทำมาจากอะคริลิกใสมีฝาเปิด-ปิด อยู่บริเวณด้านหน้าของตู้ โดยจะติดตั้งหลอดกำเนิดรังสีชนิดปรอท UV-C มีกำลังไฟฟ้า 6 วัตต์ ภายในจะทำ การบุด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อนด้านข้าง ด้านบน ด้านล่างรอบตู้ นอกจากนี้จะติดตั้งส่วนประกอบที่ทำมาจาก พลาสติกของกล่องวงจรควบคุมเวลาแจ้งเตือน และกล่องแผงวงจรควบคุมการเปิด-ปิด บริเวณภายนอกด้านข้าง ตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

1.3 การตรวจสอบคุณภาพตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

การตรวจสอบคุณภาพของตู้อบ โดยผู้เชี่ยวชาญในแผนกวิศวกรรมทางการแพทย์ของบริษัท เครื่องมือทางการแพทย์ตามรายการตรวจเช็คคุณภาพพื้นฐาน ได้แก่ ความแข็งแรงโครงสร้างวัสดุ ความปลอดภัย ตามมาตรฐานของระบบไฟฟ้า หน้าที่การทำงาน และอื่นๆ เบื้องต้นตามข้อกำหนดในการตรวจสอบและผ่าน มาตรฐานความปลอดภัยระบบ ISO 15714:2019 และ ASHRAE Standards (หมายเลข 185.2 - 2014, 185.1 - 2015)

2. หลักการทำงานตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

ในการทำงานของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C เริ่มจากการทำงานกล่องควบคุมการเปิด-ปิด จากแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจะส่งสัญญาณไปยังแหล่งกำเนิดรังสี UV-C ซึ่งมีกำลังไฟฟ้า 6 วัตต์ ให้ทำงานและปล่อยช่วงคลื่นรังสี 245 - 285 นาโนเมตร จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะนำส่งสัญญาณเข้าสู่กล่องควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม Arduino ซึ่งจะกำหนดระยะเวลาทำงานด้วยตัวควบคุมเวลา (Time controller) ที่ตั้งไว้ควบคุมไปกับการแสดงผลของไฟแสดงสถานะทำงานด้วย จากนั้นเมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้ ไฟแสดงสถานะทำงานจะดับลงพร้อมกับจะมีเสียงแจ้งเตือนการทำงานหลังเสร็จสิ้น และแหล่งกำเนิดรังสี UV-C จะหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ

3. การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

ในส่วนของการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C นั้นจะมีขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ดังต่อไปนี้

3.1. การคัดเลือกอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ

การคัดเลือกอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบเป็นกลุ่มอุปกรณ์ที่ต้องทำลายเชื้อเฉพาะบางส่วน (Disinfection) โดยอุปกรณ์นั้นไม่สามารถทำลายเชื้อได้โดยความร้อนหรือความชื้น ซึ่งเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ทำจากพลาสติกหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวนทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์วัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse oximeters) เทอร์โมมิเตอร์แบบสัมผัส หูฟังทางการแพทย์ (Stethoscope) และ Probe วัดตรวจค่าต่างๆ ของเครื่องมือทางการแพทย์

3.2 การวัดค่าตรวจจับรังสี UV-C จากตำแหน่งของการทดสอบภายใน ทั้ง 5 ตำแหน่ง

กำหนดตำแหน่งตรวจจับปริมาณรังสีรวมทั้งหมด 5 ตำแหน่ง (ภาพที่ 4) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากความไม่เสถียรของแหล่งกำเนิดรังสี UV-C จากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในการสุ่มทดลอง (Random errors) จากนั้นใช้เครื่องมือวัดรังสี UVC Light meter (ยี่ห้อ Tenmars รุ่น TM-218) วางแต่ละตำแหน่งเพื่อวัดความยาวรังสีที่ตรวจวัดแต่ละตำแหน่ง โดยจะทำการตรวจซ้ำตำแหน่งละ 5 ครั้ง วัดความเข้มของรังสี และระยะห่างรังสีที่ตกกระทบจากเครื่องที่วัดได้ บันทึกผลค่าตรวจจับรังสี UV-C เป็นหน่วย nm



ภาพที่ 4 ตำแหน่งของการทดสอบการตรวจจับรังสี UV-C ภายในตู้ทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา

3.3 การศึกษาระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี UV-C ต่อเวลาที่ต้องใช้ในการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานรังสี UV-C ที่ปล่อยออกมาจะตรวจสอบการกำหนดช่วงรังสี 245 - 285 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการแสดงถึงช่วงระหว่างรังสีอ้างอิงในการทำงานการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา (SAR-COV-2) ได้⁸ บันทึกข้อมูลวัดความเข้มของรังสีที่ได้หน่วย W/cm^2 วัดระยะห่างรังสีที่ตกกระทบ หน่วยเซนติเมตร (cm) และคำนวณระยะเวลาที่ต้องใช้งานหน่วยวินาที (s)

สูตรคำนวณหาระยะเวลาในการทำงานด้วยรังสี UV-C จาก The Keitz formula⁹

$$t_{exp} \text{ unit of Second (s)} = \frac{H_{e,UV-C} \text{ ปริมาณรังสียูวีซีที่ต้องใช้ (J/m}^2\text{)}}{H_{e,UV-C} \text{ ความรับรังสียูวีซีที่ระยะการใช้งาน (W/m}^2\text{)}}$$

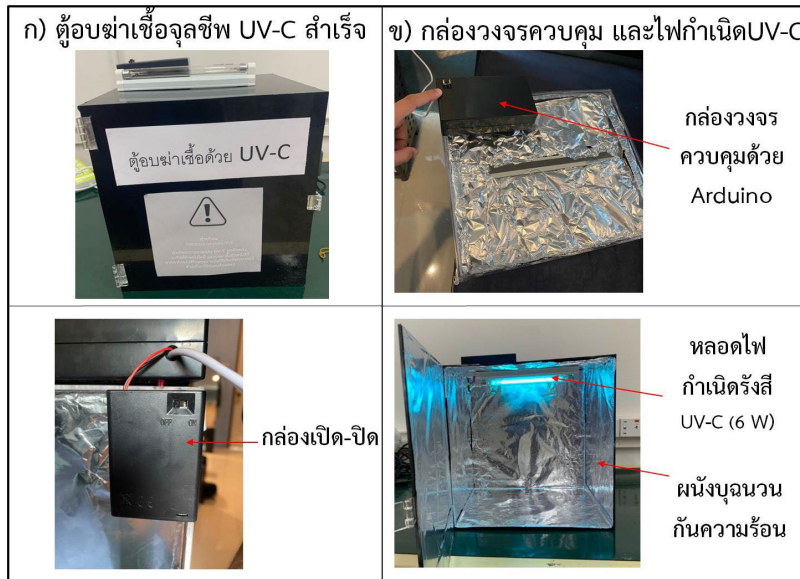
3.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจากอุปกรณ์การแพทย์

ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้วยการปล่อยรังสี UV-C ระยะเวลา 21 วินาที ภายในตู้ทำลายเชื้อโคโรนาไวรัส โดยวางอุปกรณ์การแพทย์จำนวนทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์วัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse oximeters) เทอร์โมมิเตอร์ หูฟังทางการแพทย์ (Stethoscope) และ Probe วัดค่าของเครื่องมือทางการแพทย์ บริเวณตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำอุปกรณ์มาเก็บตัวอย่างเชื้อ (Swab) ตรวจสอบเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยวิธีการ Strip test รายงานบันทึกผลโดยผู้เชี่ยวชาญในแผนกวิศวกรรมทางการแพทย์

ผลการวิจัย

ผลการสร้างโครงสร้างส่วนประกอบของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C แบบสำเร็จ

ผลการสร้างตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ซึ่งแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนประกอบภายนอกของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C เมื่อสำเร็จจะได้กล่องที่ทำมาจากอะคริลิกใส มีฝาเปิด-ปิดด้านหน้าโดยมีขนาดความกว้าง 32.60 เซนติเมตร ความสูง 33.60 เซนติเมตร และความลึก 27.60 เซนติเมตร ซึ่งจะติดตั้งกล่องแผงวงจรควบคุมการเปิด - ปิดการทำงานบริเวณด้านข้างดังภาพที่ 5 (ก) และส่วนที่สองเป็นโครงสร้างภายในจะทำการบุด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อนทุกด้าน มีกล่องวงจรควบคุมที่สามารถตั้งเวลาการทำงานด้วยโปรแกรม Arduino เพื่อแสดงไฟสถานะระหว่างการทำงานตามเวลานับถอยหลังตามกำหนดไว้ในการแจ้งเตือน เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้จะหยุดการทำงานอัตโนมัติพร้อมทั้งมีเสียงแจ้งเตือนหลังจากครบกำหนด โดยจะติดตั้งหลอดไฟประเภทไอปรอทกำเนิดรังสี UV-C (ยี่ห้อ Philips 6 วัตต์) ชนิด T5 รุ่น Germicidal Lamp อยู่ด้านบนภายในตู้ทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ดังภาพที่ 5 (ข)



ภาพที่ 5 โครงสร้างส่วนประกอบของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C แบบสำเร็จ

5 (ก) แสดงขนาดโครงสร้างส่วนประกอบภายนอก และกล่องแผงวงจรควบคุมการเปิด - ปิด

5 (ข) แสดงส่วนประกอบภายในการบุด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อน กล่องวงจรควบคุมเวลาไฟแสดงสถานะ เสียงแจ้งเตือนด้วยโปรแกรม Arduino และหลอดไฟกำเนิดรังสี UV-C

การใช้งานตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

ขั้นตอนที่ 1 เสียบปลั๊กไฟ และกดปุ่มควบคุมการเปิดการทำงานบริเวณด้านข้าง จะมีไฟแสดงสถานะทำงานปัจจุบัน รวมทั้งไฟกำเนิดรังสี UV-C เริ่มทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 นำอุปกรณ์ที่ต้องการทำลายเชื้อใส่ไว้ในบริเวณภายในของตู้อบ จากนั้นปิดฝา

ขั้นตอนที่ 3 กดปุ่มบริเวณกล่องวงจรควบคุมเพื่อตั้งเวลา 21 วินาที

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อเวลานับถอยหลังครบ 21 วินาทีที่กำหนด ไฟแสดงสถานะการทำงานและไฟกำเนิดรังสี UV-C จะหยุดการทำงาน จากนั้นจะมีเสียงดังเพื่อแจ้งเตือน

ขั้นตอนที่ 5 นำอุปกรณ์เครื่องมือทางการแพทย์ออกจากตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ได้

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C

1. ผลการวัดค่าตรวจจับรังสี UV-C จากตำแหน่งของการทดสอบภายใน ทั้ง 5 ตำแหน่ง

ผลจากการวัดค่าตรวจจับรังสี UV-C ทั้ง 5 ตำแหน่ง โดยวัดจากการคำนวณหาจากปริมาณความเข้มรังสี UV-C ที่ต้องการใช้เท่ากับ 260 W/cm^2 และวัดระยะทางไปยังจุดตำแหน่งที่ต้องการวัดเท่ากับ 11.96 เซนติเมตร จะได้เวลาที่ต้องใช้รังสี UV-C การทำงาน 20.81 วินาที หรือประมาณ 21 วินาทีในการวัดค่าตรวจจับรังสีในแต่ละตำแหน่ง

ผลการแสดงค่าเฉลี่ย 5 ครั้ง ในการตรวจจับรังสี UV-C แต่ละตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ 5 ตรวจจับรังสี UV-C ได้มากที่สุดเท่ากับ 276.10 นาโนเมตร และตำแหน่งที่ 1 ตรวจจับรังสี UV-C ได้น้อยที่สุดเท่ากับ 266.60 นาโนเมตร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าตรวจจับสนี UV-C จากตำแหน่งของการทดสอบภายใน ทั้ง 5 ตำแหน่ง

ตำแหน่ง	ผลการวัดค่าตรวจจับสนี UV-C / (หน่วย nm)					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
ตำแหน่งที่ 1	262	265	268	263	266	266.60
ตำแหน่งที่ 2	277	268	270	267	273	268.30
ตำแหน่งที่ 3	280	268	273	269	275	270.30
ตำแหน่งที่ 4	266	268	270	274	269	273.00
ตำแหน่งที่ 5	269	268	270	273	275	276.10

2. ผลการศึกษาระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี UV-C ต่อเวลาที่ต้องใช้ในการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา

ผลการแสดงระยะห่างที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มแสง และระยะเวลาที่ต้องใช้งานของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C โดยใช้ระยะห่างทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง แสดงถึงความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสี UV-C กับบริเวณตำแหน่งที่วางอุปกรณ์ เครื่องมือทางการแพทย์โดยผลการทดสอบระยะที่ 5 cm ซึ่งเป็นระยะที่อยู่ใกล้ที่สุดจะมีความเข้มรังสี UV-C ที่มากที่สุดเท่ากับ 42.04 W/m^2 ในขณะเดียวกันเวลาที่ต้องใช้ทำงานเพื่อทำลายเชื้อจะมีระยะเวลาน้อยลงเท่ากับ 12.84 วินาที ซึ่งสอดคล้องกัน และผลการทดสอบระยะที่ 20 cm ซึ่งเป็นระยะที่อยู่ไกลที่สุดจะมีความเข้มรังสี UV-C ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 10.51 W/m^2 แต่จะต้องใช้ทำงานเพื่อทำลายเชื้อซึ่งมีระยะเวลานานขึ้นเท่ากับ 38.05 วินาที ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี UV-C ต่อเวลาที่ต้องใช้ในการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา

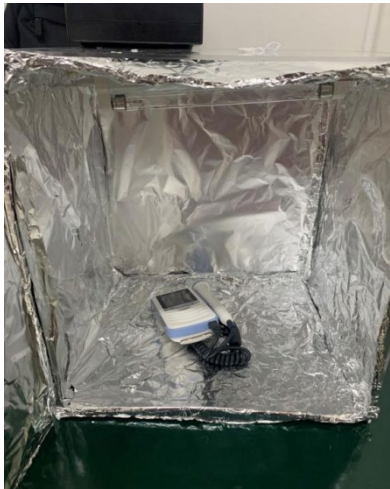
ระยะห่างที่วัดจากแหล่งกำเนิดรังสี UV-C เซนติเมตร (cm)	ปริมาณความเข้มของรังสี W/m^2	ระยะเวลาที่ต้องการใช้งาน วินาที (s)
ระยะที่ 5 cm	42.04	12.84
ระยะที่ 10 cm	21.02	19.02
ระยะที่ 15 cm	14.02	28.53
ระยะที่ 20 cm	10.51	38.05

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจากอุปกรณ์การแพทย์

ผลการทดสอบตรวจหาเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยวิธีการ Strip test หลังจากการผ่านรังสี UV-C เป็นเวลา 21 วินาที จากอุปกรณ์ทางการแพทย์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์วัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse oximeters) เทอร์โมมิเตอร์แบบสัมผัส หูฟังทางการแพทย์ (Stethoscope) และ Probe วัดค่าของเครื่องมือทางการแพทย์ไม่พบเชื้อไวรัสโคโรนา รายงานผลเป็น Negative ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจากอุปกรณ์การแพทย์ชนิดต่างๆ

Instruments	Positive	Negative
Pulse oximeters	-	✓
Thermometer	-	✓
Stethoscope	-	✓
Medical probe	-	✓



ภาพที่ 6 การทดสอบการทำงานของตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C กับ Probe วัดค่าของเครื่องมือทางการแพทย์

การอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยการพัฒนาตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C มีโครงสร้างขนาด $32.60 \times 33.60 \times 27.60$ เซนติเมตร สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถบรรจุอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีขนาดแตกต่างกันได้นั้น สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่สร้างตู้อบที่มีขนาด $46 \times 46 \times 46$ เซนติเมตร เพื่อนำมาทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาจากชุด PPE หน้ากากอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใกล้เคียงกัน¹⁰ เมื่อเปรียบเทียบโดยการนำวัสดุอะคริลิกมาประกอบโครงสร้างยังมีคุณสมบัติเรื่องความแข็งแรงที่มีน้อยกว่าโครงสร้างที่ทำมาจากโลหะ แต่อะคริลิกนั้นจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในการตัดประกอบสร้างโครงร่างได้ง่าย น้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก ขนาดเหมาะสมในการพกพาเมื่อต้องใช้งานในแผนกต่างๆ รวมถึงราคาของวัสดุไม่แพง ดังนั้นการเลือกวัสดุในการสร้างควรพิจารณาตามความต้องการของงานที่นำไปใช้จะเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง นอกจากนี้การเลือกใช้หลอดกำเนิดรังสี UV-C ต้องควบคุม คำนวณให้เหมาะสมเพียงพอกับความสามารถทำลายเชื้อไวรัส โดยงานวิจัยนี้ใช้กำลังไฟฟ้า 6 วัตต์ ขณะที่มีการรายงานวิจัยใช้

กำลังไฟฟ้า 15 วัตต์ ติดตั้งในโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจึงจะสามารถปล่อยช่วงคลื่น 260 นาโนเมตร เพื่อตกกระทบการทำลายโครงสร้าง DNA หรือ RNA ได้¹¹

เมื่อประเมินประสิทธิภาพค่ามาตรฐานซึ่งมีการกำหนดความยาวช่วงคลื่นรังสี 245 - 285 นาโนเมตร โดยมีผลที่การวัดการตรวจจับรังสี UV-C อยู่ในเกณฑ์ที่แสดงถึงผลของรังสี UV-C ที่ตกกระทบบริเวณที่รับได้ โดยเทียบเคียงที่ผ่านมาตรฐานการทำงานในการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา (SAR-COV-2)^{8,9} ซึ่งพบว่าไม่ว่าจะวางอุปกรณ์การแพทย์อยู่ที่ตำแหน่งใดก็มีผลทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาได้ การทำงานตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C มีปริมาณความเข้มรังสี UV-C เท่ากับ 260 W/cm^2 โดยการใช้งานจากแหล่งกำเนิดรังสีไปยังอุปกรณ์การแพทย์มีระยะห่าง 11.96 เซนติเมตร และเวลาการใช้งานเท่ากับ 21 วินาทีจะเป็นระยะห่างและเวลาที่มีประสิทธิภาพการทำงานในการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาได้อย่างสูงสุดสอดคล้องกับงานวิจัยที่สามารถเทียบเคียงเกี่ยวกับการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา (SAR-COV-2) ได้จากการใช้ช่วงคลื่นรังสี UV-C ดังกล่าวที่ตรงกัน⁹ นอกจากนี้มีผลการศึกษาเกี่ยวกับหุ่นยนต์อัตโนมัติที่ใช้ช่วงคลื่นรังสี UV-C

220 นาโนเมตร ความเข้ม 0.70 - 0.24 mW/cm² ในระยะ 26 - 50 เซนติเมตร สามารถทำลายเชื้อไวรัสโคโรนา (SARS-CoV-2) ได้ 88.50 และ 99.70 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 10 และ 30 นาที¹¹ จะเห็นได้ว่าการวัดรังสี UV-C ในระยะที่ห่างไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดจะส่งผลให้ความเข้มของแสงที่วัดได้ลดลง ขณะเดียวกันการใช้ระยะเวลาการทำงานจะต้องเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเลือกรังสี UV-C มาใช้งานให้เหมาะสมนั้นควรคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญในการเลือกช่วงคลื่นรังสีที่นำมาใช้งาน ความเข้ม (Dose) ของรังสีที่ตกกระทบต่อเซลล์ ระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดรังสี UV-C ต่อเซลล์ และระยะเวลาโดยพิจารณาควบคู่กับสภาพแวดล้อมการออกแบบการทดลองจะส่งผลให้มีการทำลายเชื้อได้มากขึ้น การใช้งานนั้นจะส่งผลให้มีการทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และงานวิจัยนี้ได้เพิ่มการทดสอบตรวจหาเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยการเก็บตัวอย่างเชื้อ (Swab) จากเครื่องมือทางการแพทย์ และตรวจวินิจฉัยด้วยวิธีการ Strip test หลังจากการทดลองผ่านรังสี UV-C เป็นการสุ่มตรวจใช้การตรวจคัดกรองเบื้องต้น (Screening) เพื่อช่วยยืนยันผลการทดลองอีกวิธีหนึ่ง นอกจากนี้ผลการทดลองในการวัดการตรวจสอบรังสีที่ได้อยู่ในช่วง 245 - 285 นาโนเมตร ซึ่งจะเป็นช่วงคลื่นรังสี UV-C ที่มีการทำลายไวรัส ทั้งนี้ผู้ทำการทดสอบควรต้อง Swab ทั่วทุกบริเวณพื้นผิว ซึ่งต้องระมัดระวังบริเวณที่เป็นซอก ซ่อง มุม ที่อาจจะส่งผลทำให้ตรวจผล Negative ที่คลาดเคลื่อนได้

การทดสอบด้วยเชื้อที่มีประเภทย่อยพันธุ์ที่แตกต่างกันยังมีผลต่อการทำงานของรังสี UV-C โดยมีผลการศึกษาเกี่ยวกับการทำลายเชื้อแบคทีเรียด้วยรังสี UV-C ในเวลาที่มากขึ้น 10, 15 และ 20 นาที ผลพบปริมาณแบคทีเรียแกรมบวก แกรมลบลดลง 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 20 นาที⁴ พบรายงานการศึกษาเชื้อ *Bacillus cereus* สามารถใช้รังสี UV-C ทำลายได้ที่ระยะเวลา 3 นาที¹¹ และงานวิจัยด้วย

หุ่นยนต์อัตโนมัติใช้ระยะเวลา 10 นาที จึงจะสามารถทำลายเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa*¹ ที่เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีโครงสร้างที่ทำลายยากได้ หากเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้าง RNA ของไวรัสโคโรนาที่เป็นโครงสร้างในการทำลายได้ง่ายกว่าหากนำมาทดสอบเช่นกัน^{1,12} และงานวิจัยนี้ไม่ได้เน้นการเพาะเลี้ยงเชื้อไวรัสโคโรนามาทดสอบกับตู้ทำลายเชื้อ UV-C เนื่องจากการอาจเกิดการแพร่ระบาดได้เนื่องจากเป็นเชื้ออันตรายมีการติดต่อได้ง่าย และเป็นสาเหตุของโรคที่ต้องควบคุมในห้องปฏิบัติการที่ต้องเพาะเชื้อด้วยความระมัดระวัง ต้องมีขั้นตอนในการเพาะเลี้ยงยุ่งยาก จึงได้เสนอเป็นการเทียบเคียงในการทดสอบเชื้อแบคทีเรียจากงานวิจัยอื่นๆ โดยข้อมูลจะไม่นำมาเชื่อมาทดสอบโดยตรงเช่นกัน รวมถึงเทียบเคียงการอ้างอิงถึงการทำลายเชื้อแบคทีเรียที่มีการติดเชื้อไวรัสชนิดอื่นร่วมด้วย¹³ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์การสอดคล้องถึงความสามารถทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C เมื่อนำมาตรวจจับรังสี UV-C ภายในทั้ง 5 ตำแหน่ง ผลของค่าเฉลี่ยที่วัดได้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานการที่กำหนดระหว่างช่วงคลื่นรังสี 245 - 285 นาโนเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพเทียบเคียงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาได้โดยนำไปใช้กับอุปกรณ์เครื่องมือทางการแพทย์ขนาดเล็กที่ทำความสะอาดได้ยาก หรืออุปกรณ์ชนิดที่มีข้อจำกัดไม่สามารถสัมผัสความร้อน ความชื้น แอลกอฮอล์ได้ ตามขนาดโครงสร้างที่ตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ที่ประกอบขึ้นก่อนที่อุปกรณ์เครื่องมือทางการแพทย์จะนำไปใช้งาน หรือเก็บรักษาต่อไป ทั้งนี้ตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ยังสามารถนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ ของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน

เพื่อทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการป้องกันโรคได้ เช่น ธนบัตร กุญแจรถ เป็นต้น และนอกจากนี้ตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C สามารถช่วยทำลายเชื้อไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา หากต้องการทำลายเชื้อชนิดอื่นได้ด้วย

เนื่องจากตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนามีการทำงานด้วยการปล่อยรังสี UV-C ออกมาจึงไม่ควรใช้กับอุปกรณ์ เครื่องมือบางชนิดเพราะมีโอกาสทำให้วัสดุเสื่อมสภาพได้ โดยเฉพาะพลาสติก ไวนิล และยาง เมื่อได้รับรังสี UV-C เป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการเปราะบาง แตกหักหรือเปลี่ยนสีได้¹⁴ ทั้งนี้เนื่องจากรังสี UV-C จะทำลายพันธะเคมีในโครงสร้างของวัสดุเหล่านี้ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ สำหรับแก้วบางประเภทก็อาจได้รับผลกระทบ โดยเฉพาะแก้วโซดาโลมที่ไวต่อการเปลี่ยนสีเมื่อได้รับรังสี UV-C เป็นเวลานาน¹⁵

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย ครั้งต่อไป

ตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C เหมาะสำหรับใช้ทำลายเชื้อโคโรนาไวรัสจากอุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์ที่มีขนาดเล็กเท่านั้น ซึ่งอุปกรณ์การแพทย์ขนาดใหญ่ยังไม่สามารถใช้งานได้ในงานวิจัยครั้งต่อไปควรออกแบบโครงสร้างที่ขนาดใหญ่ขึ้น

โดยมีการติดตั้งหลอดกำเนิดรังสี UV-C เป็นช่องผ่านทำลายเชื้อ หรือติดตั้งหลอดกำเนิดรังสี UV-C ภายในห้องหนึ่งเพื่อให้มีพื้นที่พอเหมาะรองรับต่อการทำลายเชื้อในเครื่องมือ อุปกรณ์การแพทย์ที่ขนาดใหญ่ขึ้น

นอกจากนี้ควรออกแบบฝาที่เปิดตู้อบทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาด้วยรังสี UV-C ให้ไม่สามารถเปิด หรือสามารถล็อกฝาตัวเองโดยอัตโนมัติระหว่างการใช้งาน เนื่องจากในบางกรณีผู้ใช้งานอาจไม่ทันได้สังเกตหรือไฟที่แจ้งสถานะมีการชำรุดทำให้ไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้งานเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน เปิดฝาระหว่างการทำงานของตู้อบได้ และจะส่งผลให้รังสี UV-C หลุดรอดออกมาทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งาน โดยรังสี UV-C จะสามารถทำให้เกิดการระคายเคือง แผลไหม้ที่ผิวหนัง รวมทั้งอาจทำให้กระจกตาอักเสบได้ ข้อเสนอแนะระหว่างการใช้งาน ควรสวมอุปกรณ์ป้องกัน และไม่ควรอยู่ในพื้นที่นั้นนานเกินไป ควรใช้ในระยะเวลาสั้นๆ ควรเปิดใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีคนอยู่เพื่อความปลอดภัย ตลอดจนหากจะต้องปฏิบัติงานหรือทำวิจัยเกี่ยวกับเชื้อไวรัสโคโรนาในอนาคตควรศึกษาปัจจัยต้องเฝ้าระวังต่อการติดเชื้อ การปฏิบัติตน¹⁶ เพื่อป้องกันการเกิดสถานการณ์แพร่ระบาดกลับคืนมาอีกครั้ง

เอกสารอ้างอิง

1. Pannika V, Rawiwan T, Tanittha C, Kanittha P, Boonrat L, Somrat C, et al. Effectiveness study of disinfection of microbes by innovation robotic UVC radiation: response to COVID-19 pandemic. Thai J Anesthesiol 2020;46(3):8-15. (in Thai).
2. Pradya P, Chalermkiat A, Pheeraphon J. Automatic UVC sterilization robot. KKU Research Journal (Graduate Studies) 2022;22(4):78-95. (in Thai).
3. Kasemsap C. UV-C disinfection in the environment of pathogen transmission. Journal of Food Health and Bioenvironmental Science 2021;14(1):64-72.

4. Bunpheng W, Sungoum C, Klinsukhon S, Rotjan P, Potisapat J, Leelasiriwilai C, et al. Design of a hazardous waste bin system to eliminate bacteria with UVC. *Journal of Manufacturing and Management Technology* 2023;2(2):30-40. (in Thai).
5. Rutala WA, Weber DJ, The Healthcare Infection Control. Practices Advisory Committee (HICPAC) guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities, 2008. Atlanta: Center for Disease Control and Prevention; 2019. p. 1-163.
6. Alak T. Application of UV/Ozone technology to reduce *E. coli*/Coliforms contamination in food processing and intermediate products in minimizing wastewater and promoting more raw material recycling in the process. [Research Report]. Chonburi: Faculty of Engineering, Burapha University; 2018. (in Thai).
7. PrimusTech Pte Ltd. Smart health monitoring device interface [Image on Internet]. Singapore: PrimusTech Pte Ltd; 2024. [cited 2024 Nov 5]. Available from: <https://www.primustech.com.sg/uvgi/>.
8. Zhou, W. The coronavirus prevention handbook: 101 science-based tips that could save your life. Wuhan China: Hubei Science and Technology Press; 2020.
9. National Institute of Metrology (Thailand). Using UV light to disinfect COVID-19. [Internet]. [cited 2024 Nov 5]. Available from: <https://www.nimt.or.th/main/?p=31767>
10. Claytor S, Campbell R, Hattori A, Brown E, Hollis C, Schureck M, et al Portable ultraviolet-C chambers for inactivation of SARS-CoV-2. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 2021;126:1-20.
11. She RC, Chen D, Pak P, Armani DK, Schubert A, Armani AM. Lightweight UV-C disinfection system. *Biomedical Optics Express* 2020;11(8):4326-32.
12. Kitagawa H, Nomura T, Nazmul T, Omori K, Shigemoto N, Sakaguchi T, et al. Effectiveness of 222 nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination. *American Journal of Infection Control* 2021;49(3):299-301.
13. Bartolomeu M, Braz M, Costa P, Duarte J, Pereira C, Almeida A. Evaluation of UV-C radiation efficiency in the decontamination of inanimate surfaces and personal protective equipment contaminated with phage $\phi 6$. *Microorganisms* 2022;10(3):593.
14. Faculty of Pharmacy, Mahidol University. Disinfection using UVC radiation: efficiency, advantages, and precautions [Internet]. Bangkok: Mahidol University; 2023 [cited 2024 Dec 16]. Available from: <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/488>.
15. Chulalongkorn University. Effects of UV-C radiation on materials and equipment [Internet]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2023 [cited 2024 Dec 16]. Available from: <https://www.chula.ac.th/news/44406>.
16. Kannalin S, Panan P, Sunee Lakampun. Factors predicting COVID-19 infection surveillance operations of Bangkok public health volunteers. *RTN Med J* 2024;51(2):316-32. (in Thai).