นิพนธ์ต้นฉบับ **Original Article**

การออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ราคาถูกตามมาตรฐาน EN12942 สำหรับบุคลากรทางการแพทย์

Design and construction of a low-cost, powered air purifying respirator in accordance with EN12942 standard for healthcare professionals

อนันตศักดิ์ วงศ์กำแหง Anantasak Wongkamhang
ปรียา อนุพงษ์องอาจ Preya Anupongongarch
วิทยาลัยวิศกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต *College of Biomedical Engineering Rangsit University*

DOI: 10.14456/dcj.2023.47
Received: September 13, 2022 | **Revised:** December 1, 2022 | **Accepted:** December 7, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ราคาถูกตามมาตรฐาน EN12942 สำหรับบุคลากรทางการแพทย์ โดยเครื่องนี้ใช้กับหน้ากากอาร์เอสยูพีมาสก์เอ็น 99 โดยการประยุกต์จากหน้ากากดำน้ำตื้น เพื่อเป็นเครื่องป้องกันเชื้อโรคระหว่างปฏิบัติงาน ผลการจัดทำสามารถออกแบบสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน EN12942 และสามารถนำเครื่องมาใช้งานกับหน้ากากชนิดครอบเต็มใบหน้าได้ โดยเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์นี้ ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ 1) ส่วนของวงจรไฟฟ้าใช้วงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2) แหล่งจ่ายไฟใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนแบบชาร์จได้ขนาด 12 โวลต์ 20,000 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง และ 3) โครงสร้างของตัวเครื่องจ่ายอากาศ ผลการทดสอบพบว่า เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธ์สามารถจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่มีอัตราการไหลของอากาศสูงสุด 120 ลิตรต่อนาที สามารถใช้งานได้สูงสุด 5 ชั่วโมง 17 นาที มีระบบแสดงสัญญาณเตือนบอกระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีระดับเสียงรบกวนเฉลี่ย 69.91 เดซิเบลเอ มีน้ำหนักรวม 2.42 กิโลกรัม และสามารถใช้งานร่วมกับหน้ากากชนิดครอบเต็มใบหน้าระหว่างปฏิบัติงานได้ วัสดุที่ใช้ในการออกแบบและสร้างสามารถหาซื้อได้ในประเทศและราคาถูก และผลประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคลากรทางการแพทย์จากโรงพยาบาลรามาธิบดีที่ต้องใช้เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์เป็นประจำ จำนวน 4 คน พบว่าความพึงพอใจต่อการใช้งานอยู่ในระดับพึงพอใจมาก

ติดต่อผู้นิพนธ์ : ปรียา อนุพงษ์องอาจ อีเมล : preya.a@rsu.ac.th

Abstract

The objective of this research is to design and construct a low-cost, Powered air purifying respirator (PAPR) in accordance with the EN12942 standard for healthcare professionals. This device is used with the RSU PMASK N99 by applying a snorkeling mask as a preventive measure against germs during work. As a

result of the research, the study was able to successfully design and construct a powered air purifying respirator (PAPR) device in accordance with EN12942 standard and this PAPR can be used with a full-face mask. The powered air purifying respirator device consisted of 3 components: 1) an electrical circuit using a DC motor control circuit; 2) a DC 12V 20,000 mAh rechargeable lithium-ion battery being used as a power supply, and 3) the device structure. Test results have demonstrated that the PAPR device was able to supply fresh air with a maximum airflow of 120 liters per minute and could be used for a maximum of 5 hours and 17 minutes. There was an alarm indicating the battery voltage level. An average noise level of device was 69.91 dBA; a total weight was 2.42 kg and the device could be used in combination with a full-face mask during work. The materials used in the design and construction of the device can be purchased locally and inexpensively. The results of the satisfaction assessment of the use of the sample group of medical personnel from Ramathibodi hospital who regularly use the powered air purifying respirator with fresh air supply by 4 samples found that they are very satisfied.

Correspondence: Preya Anupongongarch E-mail: preya.a@rsu.ac.th

คำสำคัญ
เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์, อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล, เครื่องจ่ายอากาศบริสุทธิ์, บุคลากรทางการแพทย์

Keywords
Powered Air Purifying Respirator (PAPR), personal protective equipment (PPE), fresh air supply, healthcare professionals

บทนำ

จากสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด 19) แพร่ระบาดในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563[1] ทำให้ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากวิกฤตการณ์ดังกล่าว รวมทั้งการขาดแคลนเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ หน้ากากอนามัยและชุดป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (personal protective equipment: PPE) เนื่องจากมีมาตรการควบคุมโรคที่ส่งผลให้ต้องปิดเส้นทางการเข้าออกทั้งภายในและต่างประเทศ จึงทำให้ไม่สามารถนำเข้าและส่งออกหน้ากากอนามัยและชุดป้องกันเชื้อโรคได้ จึงเกิดการกักตุนสินค้า ส่งผลให้สินค้ามีราคาสูง นอกจากนี้ยังมีการผลิตหน้ากากอนามัยและอุปกรณ์ป้องกันเชื้อโรคต่าง ๆ ที่ไม่ได้มาตรฐานมาจำหน่ายอย่างแพร่หลาย[2]

วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต จึงได้พัฒนาหน้ากากชนิดครอบเต็มใบหน้า โดยการประยุกต์จากหน้ากากดำน้ำตื้นรุ่น Pneumask M2068G ซึ่งเป็นหน้ากากดำน้ำตื้นทั่วไปที่มีขายในท้องตลาดมาใช้ในการป้องกันการฟุ้งกระจายของเชื้อโรคผ่านทางเดินหายใจ เพื่อทดแทนหน้ากาก N95[3] ให้กับบุคลากรทางการแพทย์ โดยทางวิทยาลัยได้ออกแบบข้อต่อที่ต่อเข้ากับท่ออากาศด้านบนของหน้ากาก โดยข้อต่อนี้ใช้สำหรับสวมตัวกรองแบคทีเรีย (bacterial filter) เพื่อใช้ในการป้องกันเชื้อโรค หน้ากากที่พัฒนานี้มีชื่อว่า RSU PMASK N99 ซึ่งหน้ากากนี้มีประสิทธิภาพการกรองถึง 99 เปอร์เซ็นต์ โดยผ่านการทดสอบเชิงคุณภาพจากศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา[4] (U.S. Centers for Disease Control and Prevention Division of Global Health Protection (DGHP) laboratory branch, Thailand: U.S. CDC) แต่หน้ากาก RSU PMASK N99 นี้ ยังมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น เมื่อใช้งานหน้ากากเป็นระยะเวลา 30-45 นาที ผู้ใช้งานจะต้องพักการใช้งาน แล้วถอดหน้ากากนอกบริเวณพื้นที่เสี่ยงโรค เพื่อรับอากาศปกติ ลดความ

อึดอัด แล้วจึงกลับไปสวมใส่ได้อีกครั้ง ทำให้การใช้งานไม่สามารถทำต่อเนื่องในเวลานานได้ เกิดความไม่สะดวกต่อการใช้งานอย่างมาก

ปัจจุบัน ในต่างประเทศมีเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ (powered air purifying respirator: PAPR) เป็นเครื่องช่วยหายใจแบบมีพัดลมช่วยดูดอากาศโดยจะใช้งานร่วมกับหน้ากากป้องกันเชื้อโรคชนิดครอบใบหน้าหรือหมวกคลุมศีรษะ ทำให้การหายใจสบายขึ้น[5-6] เครื่อง PAPR โดยทั่วไปจะประกอบด้วย ชุดแบตเตอรี่ พัดลมแบบมอเตอร์ ตัวกรองและหน้ากาก โดยใช้พัดลมเป็นตัวดูดอากาศและจ่ายอากาศไปยังตัวกรองเพื่อกรองอากาศและกำจัดสิ่งปนเปื้อนก่อนที่จะไหลเข้าไปภายในหน้ากากหรือหมวกคลุมศีรษะ[7] เครื่อง PAPR ถูกใช้ในด้านอุตสาหกรรมและพาณิชย์ สำหรับบุคลากรที่ทำงานในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการสูดอากาศจากสภาพแวดล้อมที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ[8] เครื่อง PAPR ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน EN12942 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ใช้ในทวีปยุโรป[9] โดยระบุข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจที่ใช้สำหรับหน้ากากแบบเต็มใบหน้า ดังนี้ อัตราการไหลของอากาศไม่น้อยกว่า 115 ลิตรต่อนาที (liters per minute: LPM) ระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ไม่ต่ำกว่า 4 ชั่วโมง ระดับเสียงรบกวนจะต้องมีค่าไม่เกิน 75 เดซิเบลเอ (dBA) น้ำหนักของตัวเครื่องจะต้องไม่เกิน 5 กิโลกรัม และจะต้องมีจอแสดงระดับของแบตเตอรี่

สำหรับเครื่อง PAPR ถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์นั้น ใช้สำหรับป้องกันระบบทางเดินหายใจให้กับบุคลากรทางการแพทย์ที่ปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการติดโรคติดต่อผ่านทางเดินหายใจ[5,10-11] โดยเครื่องนี้จะป้องกันละอองไอจามหรือของเหลวในร่างกายอื่น ๆ จากผู้ป่วยที่ติดเชื้อ แต่เครื่อง PAPR ที่นำมาใช้ทางการแพทย์นี้มีราคาสูงมาก โดยมีราคาประมาณตั้งแต่ 15,000-50,000 บาท เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้บุคลากรทางการแพทย์ที่อยู่ในโรงพยาบาลส่วนมากไม่สามารถเข้าถึงได้ นอกจากนี้ถ้าเครื่องเสียจะต้องรอสั่งอะไหล่จากต่างประเทศ ทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง และถ้าไม่สามารถซ่อมแซมได้จะต้องซื้อใหม่ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

ในประเทศไทยได้มีหน่วยงานพยายามแก้ไขปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ เช่น สมาคมส่งเสริมการรับช่วงการผลิตไทย (Thai SUBCON) ร่วมกับคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ได้พัฒนาชุดหน้ากากป้องกันเชื้อโรคแบบคลุมศีรษะพร้อมชุดกรองอากาศประสิทธิภาพสูง โดยได้ออกแบบชุดพัดลมพร้อมตัวกรองอากาศคุณภาพสูง ที่มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคได้มากกว่า 0.3 ไมครอน แต่เครื่องนี้มีข้อจำกัด คือการทำงานของชุดพัดลมค่อนข้างเสียงดัง ทำให้ผู้สวมใส่ได้ยินเสียงไม่ถนัด เนื่องจากชุดหน้ากากป้องกันเชื้อโรคเป็นแบบคลุมศีรษะ จึงกักเก็บเสียงไว้ภายในหมวกคลุม ทำให้ได้ยินเสียงพัดลมชัดเจน อีกทั้งยังป้องกันเสียงจากภายนอกที่เข้ามาในหน้ากาก ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่พบในอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ชนิดนี้รวมถึงที่มาจากต่างประเทศด้วย[12]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่มีราคาถูกและสอดคล้องตามมาตรฐาน EN12942 โดยสามารถใช้งานร่วมกับหน้ากากชนิดครอบเต็มใบหน้าเพื่อป้องกันเชื้อโรคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ และไม่ทำให้เกิดปัญหาในด้านการฟังเสียงและการกักเก็บเสียงการทำงานของมอเตอร์ไว้ภายในหน้ากาก การใช้งานเครื่องสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพและป้องกันทางเดินหายใจจากการฟุ้งกระจายของเชื้อโรคให้กับบุคลากรทางการแพทย์ได้ โดยการออกแบบและสร้างเครื่องนี้โดยใช้วัสดุที่สามารถหาซื้อได้ในประเทศ มีราคาถูก และเป็นการลดการนำเข้าจากต่างประเทศ และทำให้บุคลากรทางการแพทย์รวมถึงหน่วยงานที่ทำงานด้านการดูแลผู้ป่วยติดเชื้อทางเดินหายใจสามารถเข้าถึงเครื่องมือนี้ได้

วัสดุและวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่มีราคาถูกและเป็นไปตามมาตรฐาน EN12942 สำหรับบุคลากรทางการแพทย์ การวิจัยนี้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในคน จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยรังสิต โดยวิธีการศึกษาแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

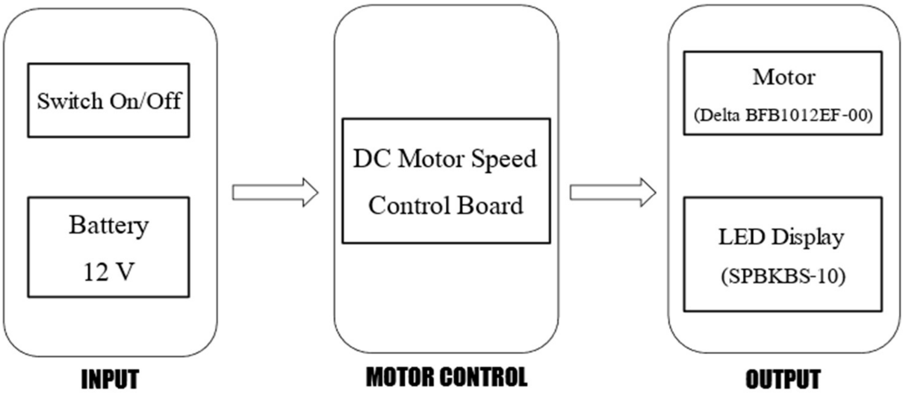
ส่วนที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ ได้แบ่งการออกแบบและสร้างเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การออกแบบและสร้างภาควงจรไฟฟ้า การออกแบบและสร้างภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้า และการออกแบบและสร้างตัวเครื่อง ดังนี้

1) การออกแบบและสร้างภาควงจรไฟฟ้า ประกอบด้วย

1.1) ข้อมูลนำเข้า (input) ประกอบด้วย สวิตช์เปิด-ปิด ทำหน้าที่เปิด-ปิดการทำงานของวงจรไฟฟ้า และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนชนิดชาร์จได้ ขนาด 12 โวลต์ 20,000 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์พัดลม

1.2) การควบคุมมอเตอร์ ประกอบด้วย บอร์ดวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (dc motor speed control board) เพื่อใช้ในการควบคุมรอบการหมุนของพัดลม

1.3) ข้อมูลนำออก (output) เลือกใช้พัดลมมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ 6 แอมแปร์ อัตราการหมุนที่ 7,500 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลของอากาศสูงสุดที่ 1,587.62 ลิตรต่อนาที เพื่อทำหน้าที่สร้างอัตราการไหลของอากาศให้กับเครื่อง PAPR ซึ่งเมื่อทดสอบค่าอัตราการไหล โดยต่อพัดลมกับท่อจ่ายอากาศร่วมกับแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (high efficiency particular air filter: HEPA)[13] และตัวกรองแบคทีเรีย (bacterial filter) โดยทดสอบ 5 ครั้ง พบว่า อัตราการไหลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 117.99 ลิตรต่อนาที และมีหน้าจอแอลอีดีแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยจะแสดงทั้งหมด 4 ระดับ แบ่งเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% สามารถเขียนแผนภาพการออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ (PAPR) ได้ดังภาพที่ 1

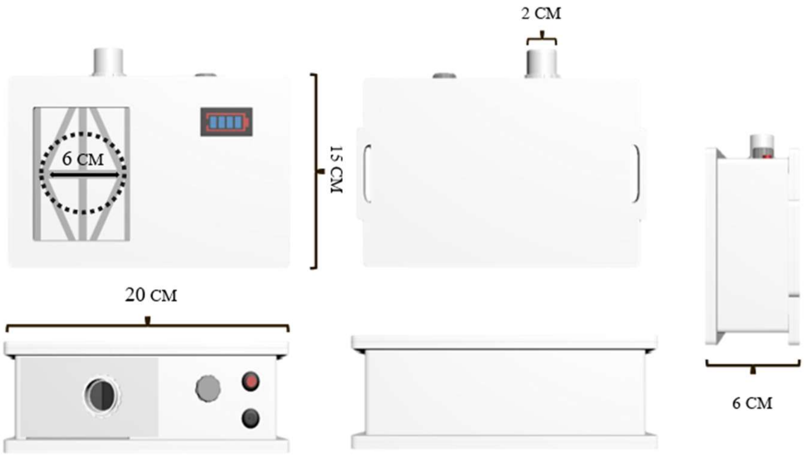


ภาพที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ (PAPR)

Figure 1 Design and construction of a powered air purifying respirator (PAPR)

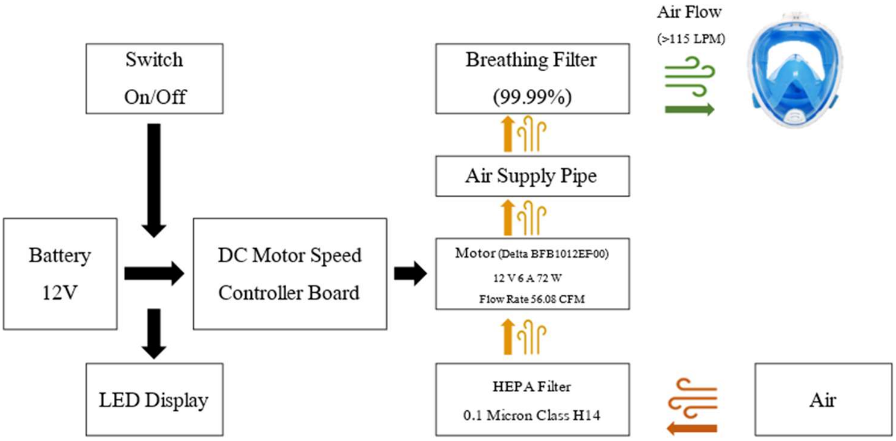
2) การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ โดยระยะเวลาการใช้งานของเครื่อง PAPR ตามมาตรฐาน EN12942 จะต้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง โดยภายในวงจรใช้กระแสไฟฟ้าทั้งหมด 3.57 แอมแปร์ และใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 42.84 วัตต์ จึงต้องเลือกใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ที่มีขนาดตั้งแต่ 18,000 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมงขึ้นไป

3) การออกแบบตัวเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ ทำการออกแบบด้วย 3ds Max Program ในการสร้างโมเดลสามมิติ โดยตัวเครื่องมีขนาด 20x15x6 เซนติเมตร ช่องทางอากาศขาเข้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ช่องทางอากาศขาออกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และมีช่องขนาด 8.5x12 เซนติเมตร สำหรับใส่แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง ซึ่งทำหน้าที่กรองฝุ่นและสิ่งแปลกปลอมในอากาศก่อนที่อากาศจะเข้าสู่ตัวเครื่อง มีตำแหน่งของปุ่มสวิตช์เปิด-ปิด ปุ่มปรับอัตราการไหล และช่องสำหรับชาร์จพลังงาน อยู่ที่ด้านบนของตัวเครื่อง และมีช่องสำหรับใส่เข็มขัดเพื่อยึดตัวเครื่องให้ติดตัวผู้ใช้งานได้ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การออกแบบโครงสร้างของเครื่อง PAPR ในรูปแบบ 3 มิติ
Figure 2 Structural design of the PAPR machine in 3 dimensions

เมื่อเปิดการใช้งานเครื่องโดยการกดสวิตช์เปิด-ปิด ในลักษณะเปิด จะเป็นการเปิดการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ เข้าสู่ตัวเครื่อง ส่งผลให้หน้าจอแอลอีดีสว่าง แสดงว่าแบตเตอรี่ทำงาน โดยระดับแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าที่มาจากแบตเตอรี่ ในส่วนของวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์พัดลม 12 โวลต์ 6 แอมแปร์ สำหรับการสร้างอัตราการไหลของอากาศที่สามารถปรับค่าอัตราการไหลของอากาศจากค่าน้อยไปมากได้ ในส่วนของการทำงานพัดลมจะทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกโดยจะผ่านตัวกรองชั้นแรกที่เป็นแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง มีการกรองอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน[13] ทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ในอากาศก่อนจะเข้าสู่ตัวเครื่อง จากนั้นอากาศจะถูกส่งผ่านท่อจ่ายอากาศและผ่านตัวกรองอีก 1 ชั้น โดยตัวกรองในชั้นนี้จะใช้เป็นตัวกรองแบคทีเรีย (bacterial filter)[14] ซึ่งมีประสิทธิภาพการกรองอยู่ที่ 99.99% ทำหน้าที่กรองแบคทีเรียและไวรัสก่อนที่อากาศจะไหลเข้าสู่หน้ากาก โดยก่อนจะใช้งานหน้ากากทุกครั้งจะต้องมีการทดสอบความพอดีของหน้ากากเฉพาะบุคคล เมื่อได้หน้ากากที่มีความพอดีกับผู้สวมใส่แล้ว จึงนำไปใช้งานร่วมกับเครื่อง PAPR ที่สามารถจ่ายอัตราการไหลของอากาศได้ไม่น้อยกว่า 115 ลิตรต่อนาที ขั้นตอนการทำงานแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง PAPR ขณะต่อใช้งาน

Figure 3 Working process of the PAPR machine during use

ส่วนที่ 2 การทดสอบการทำงานของเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ ทดสอบฟังก์ชันการใช้งานที่สอดคล้องกับการทดสอบตามมาตรฐาน EN12942 ดังนี้

2.1) ทดสอบอัตราการไหลของอากาศ โดยนำเซ็นเซอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล (flow meter) ต่อเข้ากับปลายท่อที่ติดตั้งตัวกรองแบคทีเรีย ปรับอัตราการไหล จากนั้นทำการบันทึกค่าอัตราการไหลที่วัดได้เทียบกับเวลา ทำการทดสอบ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.2) ทดสอบระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยวัดแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เมื่อเปิดใช้งานต่อเนื่องและจดบันทึกค่าทุก ๆ 1 ชั่วโมง และทดสอบระยะเวลาสูงสุดที่สามารถใช้งานได้ โดยเปิดเครื่องจนกระทั่งแบตเตอรี่หมด วัดระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้งาน ทำการทดสอบ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.3) ทดสอบระดับเสียงรบกวน ทำการเปิดใช้งานเครื่อง PAPR และวัดระดับเสียงรบกวน โดยติดตั้งเครื่องวัดระดับเสียงห่างจากตัวเครื่องพี PAPR เป็นระยะ 1 เมตร ทำการวัดระดับเสียงทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา และวัดระดับเสียงภายในห้องขณะที่ยังไม่เปิดเครื่อง ทำการทดสอบ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4) ทดสอบน้ำหนักของตัวเครื่อง โดยนำไปชั่งบนเครื่องชั่งน้ำหนักชนิดดิจิทัล ทำการทดสอบ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.5) ทดสอบการแสดงผลของแบตเตอรี่ โดยนำมัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ โดยแสดงผลผ่านจอแอลอีดี 4 ระดับ ได้แก่ 25%, 50%, 75% และ 100% บันทึกแรงดันไฟฟ้า ทำการทดสอบ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.6) การทดสอบความพอดีและการรั่วซึมของหน้ากากชนิดเต็มใบหน้าแบบเชิงคุณภาพ (qualitative fit test: QLFT) โดยนำหน้ากากไปทดสอบเชิงคุณภาพจากศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (U.S. CDC) ทดสอบความพอดีของหน้ากาก RSU PMASK N99 ซึ่งประยุกต์มาจากหน้ากากดำน้ำตื้นมาตรฐานรุ่น Pneumask M2068G ที่มียางกันรั่วซึมครอบใบหน้าเป็นซิลิโคนชนิดที่ใช้ในทางการแพทย์ ขนาดหน้ากากที่ใช้ในการทดสอบ คือ ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) โดยคัดเลือกผู้ทดสอบแบบเจาะจง โดยกำหนดให้เป็นชาย 2 คน และหญิง 2 คน อายุตั้งแต่ 25-50 ปี ให้ผู้ทดสอบสวมใส่หน้ากาก RSU PMASK

N99 โดยให้ผู้ทดสอบเลือกขนาดของหน้ากากให้เหมาะสมกับใบหน้าของตน โดยสวมหน้ากากให้พอดีกับใบหน้า จากนั้นทำการอุดช่องทางอากาศเข้าของหน้ากากทุกช่องทางแล้วให้ผู้ทดสอบหายใจเข้าออกปกติ ทำการทดสอบ 3 ครั้ง หากรับรู้ได้ถึงอากาศจากภายนอกที่ไหลเข้ามาในหน้ากาก หมายความว่าหน้ากากไม่พอดีและไม่ได้แนบสนิทกับใบหน้า และทดสอบการรั่วซึมของหน้ากาก RSU PMASK N99 โดยผู้ทดสอบสวมหน้ากากและสวมฮูดคลุมศีรษะที่ปกคลุมมาถึงบริเวณไหล่ จากนั้นจึงพ่นสารให้ความหวานหรือสารให้ความขมเข้าไปภายในฮูดโดยที่ให้ผู้ทดสอบหายใจเข้าออกปกติ โดยให้ผู้ทดสอบเดินอยู่กับที่และวิ่งอยู่กับที่พร้อมกับทำท่าก้มหน้า เงยหน้า หันซ้าย และหันขวา หากผู้ทดสอบรับรู้ได้ถึงรสชาติของสารที่ใช้ในการทดสอบ หมายความว่าหน้ากากมีการรั่วซึม หากผู้ทดสอบไม่รับรู้ถึงรสชาติของสารที่ใช้ในการทดสอบ หมายความว่าหน้ากากไม่มีการรั่วซึม

ส่วนที่ 3 การทดสอบความพึงพอใจต่อการใช้งานของหน้ากาก RSU PMASK N99 ร่วมกับเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ คือ หน้ากาก RSU PMASK N99 เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่ออกแบบและสร้าง และแบบสอบถามความความพึงพอใจต่อการใช้งานของหน้ากาก RSU PMASK N99 ร่วมกับเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัยเป็นบุคลากรทางการแพทย์จากโรงพยาบาลรามาธิบดีที่ต้องใช้เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์เป็นประจำ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นบุคลากร จำนวน 4 คน คัดเลือกโดยวิธีสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling)

การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยดำเนินการขอเอกสารรับรองจริยธรรมจากคณะกรรมการจริยธรรมในคน มหาวิทยาลัยรังสิต เอกสารรับรองเลขที่ COA. No. RSUERB2021-030 วันที่รับรอง 8 เมษายน 2564 การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างโดยดำเนินการชี้แจงวัตถุประสงค์ วิธีการทดสอบ เปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัย ทำหนังสือชี้แจงการให้ข้อมูลและหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยของกลุ่มตัวอย่าง โดยจะเปิดเผยข้อมูลทางวิชาการในภาพรวมเท่านั้น ข้อมูลจะถูกเก็บเป็นความลับต้องมีรหัสจึงจะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย

1) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เพื่อแสดงค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft excel)

2) การประเมินผลความพึงพอใจต่อการใช้งานของหน้ากาก RSU PMASK N99 ร่วมกับเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ ลักษณะแบบประเมินเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) ใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย (mean) ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนเฉลี่ย ดังนี้

4.50-5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด
3.50-4.49 หมายถึง พึงพอใจมาก
2.50-3.49 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
1.50-2.49 หมายถึง พึงพอใจน้อย
1.00-1.49 หมายถึง ไม่พึงพอใจ

ผลการศึกษา

การออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ราคาถูกตามมาตรฐาน EN12942 สำหรับบุคลากรทางการแพทย์ ให้สามารถใช้งานร่วมกับหน้ากาก RSU PMASK N99 แสดงดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์พร้อมใช้งานกับหน้ากาก RSU PMASK N99
Figure 4 Powered air purifying respirator ready to use with RSU PMASK N99 mask

1) ผลทดสอบอัตราการไหลเทียบกับเวลา พบว่า ค่าอัตราการไหลตั้งแต่ 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 119.97±0.02, 119.56±0.02, 118.87±0.02, 117.91±0.00 และ 116.18±0.01 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ โดยอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 118.50±0.02 ลิตรต่อนาที

2) ผลทดสอบระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยวัดแรงดันไฟฟ้า พบว่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.44±0.01, 12.32±0.01, 12.07±0.02, 11.89±0.01 และ 11.72±0.01 โวลต์ ตามลำดับ โดยแรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน และระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่จนกระทั่งแบตเตอรี่หมด มีค่า 5 ชั่วโมง 17 นาที

3) ผลการทดสอบระดับเสียงรบกวนขณะการเปิดใช้งานเครื่อง PAPR พบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับเสียงรบกวนที่ตำแหน่งด้านหน้ามีค่า 73.5±0.2 เดซิเบลเอ ที่ตำแหน่งด้านหลังมีค่า 67.5±0.2 เดซิเบลเอ ที่ตำแหน่งด้านซ้าย มีค่า 68.7±0.0 เดซิเบลเอ ที่ตำแหน่งด้านขวา มีค่า 68.9±0.1 เดซิเบลเอ ที่ตำแหน่งด้านบน มีค่า 67.8±0.0 เดซิเบลเอ และระดับเสียงในห้องทดสอบมีค่า 46.0±0.0 เดซิเบลเอ

4) ผลการทดสอบน้ำหนักของเครื่อง PAPR รวมแบตเตอรี่ พบว่ามีน้ำหนัก 2.42±0.00 กิโลกรัม

5) ผลการทดสอบระบบการแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ผ่านหน้าจอ LED มีดังนี้ การแสดงระดับ LED 4, 3, 2 และ 1 ขีด วัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 12.0±0.1, 11.4±0.1, 10.8±0.1 และ 10.2±0.1 โวลต์ ตามลำดับ

6) การทดสอบความพอดีและการรั่วซึมของหน้ากาก RSU PMASK N99 แบบเชิงคุณภาพ (qualitative fit test: QLFT) โดยนำหน้ากากไปทดสอบเชิงคุณภาพจากศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค ผู้ทำการทดสอบใช้งานทั้งหมด 4 คน ผลการทดสอบความพอดีของหน้ากาก RSU PMASK N99 แบบเชิงคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 1 และผลการทดสอบการรั่วซึมของหน้ากาก RSU PMASK N99 แบบเชิงคุณภาพ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความพอดีของหน้ากาก RSU PMASK N99 แบบเชิงคุณภาพ

Table 1 Results of the fit test of the qualitative RSU PMASK N99 mask

ผู้ทดสอบ	การรับรู้ได้ถึงอากาศจากภายนอกที่ไหลเข้ามาในหน้ากาก			Fit Test Result
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
คนที่ 1	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน
คนที่ 2	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน
คนที่ 3	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน
คนที่ 4	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบความพอดีของหน้ากาก RSU PMASK N99 แบบเชิงคุณภาพ ผู้ทดสอบทำการอุดช่องทางอากาศเข้าของหน้ากากทุกช่องทางแล้วให้ผู้ทดสอบหายใจเข้าออกปกติ พบว่า ผู้ทดสอบทั้ง 4 คน ไม่รับรู้ถึงอากาศจากภายนอกที่ไหลเข้ามาในหน้ากาก แสดงว่าหน้ากากมีความพอดีกับใบหน้าของผู้ทดสอบ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการรั่วซึมของหน้ากาก RSU PMASK N99 แบบเชิงคุณภาพ

Table 2 Results of the leakage test of the qualitative RSU PMASK N99 mask

ผู้ทดสอบ	การรับรู้ได้ถึงอากาศจากภายนอกที่ไหลเข้ามาในหน้ากาก								Leakage Test Result
	เดินอยู่กับที่				วิ่งอยู่กับที่				
	หันซ้าย	หันขวา	ก้มหน้า	เงยหน้า	หันซ้าย	หันขวา	ก้มหน้า	เงยหน้า	
คนที่ 1	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน
คนที่ 2	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน
คนที่ 3	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน
คนที่ 4	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ไม่รับรู้	ผ่าน

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบการรั่วซึมของหน้ากาก RSU PMASK N99 แบบเชิงคุณภาพ ผู้ทดสอบทั้ง 4 คน หายใจเข้าออกปกติ โดยให้ผู้ทดสอบเดินอยู่กับที่และวิ่งอยู่กับที่พร้อมกับทำท่า ก้มหน้า เงยหน้า หันซ้าย และหันขวา พบว่า ผู้ทดสอบไม่รับรู้ถึงรสชาติของสารให้ความหวานและสารให้ความขม ในขณะที่ใส่หน้ากาก แสดงว่า ไม่มีการรั่วซึมของหน้ากาก RSU PMASK N99

1) ผลประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่ออกแบบและสร้างจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคลากรทางการแพทย์จากโรงพยาบาลรามาธิบดีที่ต้องใช้เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์เป็นประจำ โดยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 4 คน ผลการประเมิน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจต่อการใช้งานของเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์

Table 3 Satisfaction with the use of powered air purifying respirator

รายการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย	การแปลความหมาย
การออกแบบของเครื่อง PAPR	4.50	พึงพอใจมากที่สุด
น้ำหนักของตัวเครื่อง	5.00	พึงพอใจมากที่สุด
อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับเครื่อง	4.75	พึงพอใจมากที่สุด
ความสะดวกในการพกพา	4.00	พึงพอใจมาก
ประสิทธิภาพในการใช้งาน	4.75	พึงพอใจมากที่สุด
ความสะดวกในการใช้งาน	4.00	พึงพอใจมาก
ความสะดวกในการหายใจขณะใช้งาน	4.75	พึงพอใจมากที่สุด
สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้	4.75	พึงพอใจมากที่สุด
การประกอบเครื่องเข้ากับหน้ากากทำได้อย่างสะดวก	3.75	พึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ	4.47	พึงพอใจมาก

จากผลประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 4 คน โดยรูปแบบการประเมินเป็นการให้คะแนนตั้งแต่ 0-5 คะแนน พบว่า การออกแบบของเครื่อง PAPR น้ำหนักของตัวเครื่อง อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับเครื่อง ประสิทธิภาพในการใช้งาน ความสะดวก ในการหายใจขณะใช้งาน และสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้ กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อการใช้งานอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ในด้านความสะดวกในการพกพา ความสะดวกในการใช้งาน และการประกอบเครื่องเข้ากับหน้ากากทำได้อย่างสะดวก มีความพึงพอใจต่อการใช้งานอยู่ในระดับพึงพอใจมาก และค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมาก

วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ โดยมีต้นทุนในการออกแบบและสร้างประมาณ 6,000 บาท

วิจารณ์

เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่ได้ออกแบบและสร้าง ใช้แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนชนิดชาร์จได้ ขนาด 12 โวลต์ 20,000 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง ใช้พัดลมมอเตอร์ในการจ่ายอากาศของตัวเครื่อง และใช้บอร์ดวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการปรับอัตราการไหลของอากาศ ใช้ตัวกรองอากาศ 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูงขนาด 0.1 ไมครอน ในการกรองฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนในอากาศก่อนเข้าสู่ตัวเครื่อง และใช้ตัวกรองแบคทีเรียฟิลเตอร์ที่มีประสิทธิภาพการกรองอยู่ที่ 99.99% ในการกรองอากาศก่อนที่อากาศจะไหลเข้าภายในหน้ากาก โดยเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่ออกแบบและสร้างนี้มีอัตราการไหลของอากาศเฉลี่ย 118.50 ลิตรต่อนาที ใช้จอแอลอีดีในการแสดงระดับการแจ้งเตือนของแบตเตอรี่ 4 ระดับ โดยแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้สูงสุด 5 ชั่วโมง 17 นาที ขณะที่เครื่องทำงานมีค่าระดับเสียงรบกวนเฉลี่ยเท่ากับ 69.91 เดซิเบลเอ ตัวเครื่องมีน้ำหนัก 2.42 กิโลกรัม โดยเครื่องที่ออกแบบและสร้างนี้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน EN12942 คือ อัตราการไหลของอากาศไม่น้อยกว่า 115 ลิตรต่อนาที มีจอแสดงผลระดับของแบตเตอร์รี่ที่เหลืออยู่เป็นเปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่มีค่าไม่ต่ำกว่า 4 ชั่วโมง ระดับเสียงรบกวนจะต้องมีค่าสูงสุดไม่เกิน 75 เดซิเบลเอ และน้ำหนักของตัวเครื่องไม่เกิน 5 กิโลกรัม

วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์เป็นวัสดุที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน และตัวกรองอากาศที่เลือกใช้ทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านการทดสอบจากโรงงานผู้ผลิต มีผลรับรองที่สามารถทวนสอบได้ จึงทำให้เชื่อมั่นได้ว่า เครื่องปกป้อง

ทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์เมื่อใช้ร่วมกับหน้ากาก RSU PMASK N99 น่าจะปกป้องทางเดินหายใจของผู้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ วัสดุหาซื้อในประเทศ ต้นทุนในการออกแบบและสร้างอยู่ที่ 6,000 บาท

ในส่วนของหน้ากาก RSU PMASK N99 ผลการทดสอบพบว่า มีความพอดีและไม่มีการรั่วซึมเกิดขึ้นในหน้ากากขณะใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nicholson et al[15] ที่นำหน้ากากดำน้ำตื้นชนิดครอบเต็มใบหน้ามาใช้ในการป้องกันโรคโควิด 19 จึงสามารถนำหน้ากากนี้ไปประยุกต์ใช้งานเพื่อปกป้องทางเดินหายใจแก่ผู้ที่สวมใส่ได้ นอกจากนี้หน้ากาก RSU PMASK N99 เป็นหน้ากากชนิดครอบเต็มใบหน้าเท่านั้น จึงไม่กักเก็บเสียงการทำงานของมอเตอร์ไว้ภายในหน้ากาก ทำให้ผู้สวมใส่สามารถได้ยินเสียงจากภายนอกและพูดในขณะทำงานได้

ในการทดสอบด้านความพึงพอใจต่อการใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคลากรทางการแพทย์จากโรงพยาบาลรามาธิบดีที่ต้องใช้เครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์เป็นประจำ จำนวน 4 คน พบว่า การประเมินความพึงพอใจเฉลี่ยทุกรายการเท่ากับ 4.47 แปลความหมายว่า พึงพอใจมาก

สรุปผลการศึกษา

ผลวิจัยที่พบครั้งนี้ สามารถออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่มีราคาถูกและสอดคล้องกับมาตรฐาน EN12942 ตามวัตถุประสงค์โดยมีอัตราการไหลของอากาศเฉลี่ย 118.50 ลิตรต่อนาที ใช้จอแอลอีดีในการแสดงระดับการแจ้งเตือนของแบตเตอรี่ 4 ระดับ โดยแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้สูงสุด 5 ชั่วโมง 17 นาที ขณะที่เครื่องทำงานมีค่าระดับเสียงรบกวนเฉลี่ยเท่ากับ 69.91 เดซิเบลเอ ตัวเครื่องมีน้ำหนัก 2.42 กิโลกรัม โดยสามารถใช้กับหน้ากาก RSU PMASK N99 ได้ ซึ่งต้นทุนในการออกแบบและสร้างอยู่ที่ 6,000 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ที่จำหน่ายในท้องตลาดและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันได้[16] โดยกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์นี้อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ดังนั้นบุคลากรทางการแพทย์ที่ทำงานด้านการดูแลผู้ป่วยติดเชื้อทางเดินหายใจสามารถใช้เครื่องมือนี้ในขณะปฏิบัติงานได้

ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย จากการออกแบบและสร้างเครื่องปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ยังมีช่วงอัตราการไหลของอากาศที่ปรับได้ค่อนข้างน้อยและอัตราการไหลที่เหมาะสำหรับการใช้งานกับหน้ากากชนิดเต็มใบหน้าและหน้ากากชนิดครึ่งใบหน้าเพียงเท่านั้น และยังไม่สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศแบบอัตโนมัติ ทำให้เวลาใช้งานผู้ใช้งานจะต้องปรับอัตราการไหลของอากาศด้วยตัวเอง ถ้าในขณะปฏิบัติงานทำให้เกิดความไม่สะดวก และการใช้งานโดยการเสียบข้อต่อที่ช่องทางเดินอากาศที่อยู่ด้านบนของหน้ากากแล้วนำตัวกรองแบคทีเรียสวมที่ข้อต่อแล้วต่อกับเครื่องจ่ายอากาศบริสุทธิ์ ตัวเครื่องมีอุปกรณ์หลายส่วนประกอบทำให้ผู้ใช้งานต้องเรียนรู้การประกอบเครื่องก่อนนำมาใช้งาน นอกจากนี้การใช้งานกับหน้ากาก RSU PMASK N99 ผู้ใช้งานที่สวมแว่นตาจะเกิดการกดทับที่บริเวณหูและใบหน้า ทำให้ไม่สะดวกสบายในขณะใช้งาน ควรใช้คอนแทคเลนส์แทนการสวมแว่นตา

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไป จากการออกแบบและสร้างควรพัฒนาในส่วนของอัตราการไหลของอากาศให้มีช่วงการปรับอัตราการไหลที่มากขึ้นและสามารถเพิ่มอัตราการไหลให้สามารถใช้งานร่วมกับหน้ากากได้หลากหลายชนิด และควรติดตั้งเซนเซอร์ในการควบคุมการไหลของอากาศเพื่อปรับระดับอัตราการไหลที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานแบบอัตโนมัติ และพัฒนาให้สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าในห้องผ่าตัดเพื่อให้แพทย์ในห้องผ่าตัดสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ด้านการทดสอบ ควรเพิ่มกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีการคำนวณขนาดตัวอย่างตามกระบวนการทางสถิติ ด้านการออกแบบรูปทรงของตัวเครื่องให้มีอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมน้อยที่สุดเพื่อความสะดวก การใช้งานที่ง่ายและทำให้

ราคาต้นทุนลดลง เพื่อให้สามารถใช้ได้กับบุคลากรที่ทำงานในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการสูดอากาศจากสภาพแวดล้อมที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจได้ ควรทดสอบกับบุคลากรด้านนี้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนเพื่อพัฒนานวัตกรรมจากมหาวิทยาลัยรังสิต ทางทีมงานผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะกรรมการพิจารณาทุนและศาสตราจารย์ ดร.พญ.ภัทรวัณย์ วรธนารัตน์ หัวหน้าภาควิชาออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานพัฒนานวัตกรรมนี้

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) WHO Thailand Situation Report 213-9 December 2021 [EN/TH] [Internet]. [cited 2021 Dec 25]. Available from: https://reliefweb.int/report/thailand/coronavirus-disease-2019-covid-19-who-thailand-situation-report-213-9-december-2021
2. Limwongtong N, Muangtharm W. Providing an offence of stockpiling controlled goods and selling over priced products as the predicate offence in accordance with the anti-money laundering act. Journal of Research and Academics [Internet]. 2020 [cited 2021 Sep 15];4(1):73-85. Available from: https://so06.tci-thaijo.org/index.php/jra/article/download/243262/166374 (in Thai)
3. Tompkins BM, Kerchberger JP. Special article: personal protective equipment for care of pandemic influenza patients: a training workshop for the powered air purifying respirator. Anesth Analg. 2010;111(4):933-45.
4. U.S. Centers for Disease Control and Prevention Division of Global Health Protection (DGHP) laboratory branch, Thailand: U.S. CDC. Fit testing the newly designed Pneumask model M2068G developed by Biomedical Engineering College Rangsit University [Internet]. 2020 [cited 2022 Sep 13]. Available from: https://drive.google.comfile/d/1hKX3kmus7aaPHZ0EBeZMT tzoyaMQmXt8/view?usp=drive_link
5. Khoo KL, Leng PH, Ibrahim IB, Lim TK. The changing face of healthcare worker perceptions on powered air-purifying respirators during the SARS outbreak. Respirology (Carlton, Vic). 2005;10(1):107-10.
6. Bharatendu C, Ong JJY, Goh Y, Tan BYQ, Chan ACY, Tang JZY, et al. Powered Air Purifying Respirator (PAPR) restores the N95 face mask induced cerebral hemodynamic alterations among Healthcare Workers during COVID-19 Outbreak. J Neurol Sci. 2020;417:117078.
7. Eyre AJ, Hick JL, Thorne CD. Chapter 46 - Personal Protective Equipment. In: Ciottone GR, editor. Ciottone's Disaster Medicine (2nd ed). Philadelphia: Elsevier; 2016. doi: 10.1016/B978-0-323-28665-7.00046-7.
8. Hubbard BR, Pearce JM. Conversion of self-contained breathing apparatus mask to opensource powered air-purifying particulate respirator for fire fighter COVID-19 response. HardwareX. 2020;8:e00129.
9. British Standards Institution (BSI) (26641). Respiratory protective devices-Power assisted filtering devices incorporating full face masks, half masks or quarter masks-Requirements, testing, marking. London: British Standards Institution;

1999.

10. Licina A, Silvers A. Use of powered air-purifying respirator (PAPR) as part of protective equipment against SARS-CoV-2-a narrative review and critical appraisal of evidence. Am J Infect Control. 2021;49(4):492-9.

11. Licina A, Silvers A, Stuart RL. Use of powered air-purifying respirator (PAPR) by healthcare workers for preventing highly infectious viral diseases-a systematic review of evidence. Syst Rev. 2020;9(1):173.

12. Wangtawesap K. PAPR masks made by Thais help in the fight against COVID-19 and substitute for N95 masks. [Internet]. 2020 [cited 2021 Sep 15]. Available from: https://sustainability.pttgcgroup.com/en/newsroom/featured-stories/262/papr-masks-made-by-thais-help-in-the-fight-against-covid-19-and-substitute-for-n95-masks-%E0%B8%AA%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%90

13. Sparks T, Chase G. Filters and Filtration Handbook [Internet]. Oxford: Butterworth-Heinemann; Section 3 - Air and Gas Filtration. 2016 [cited 2021 Sep 15]. Available from: https://www.sciencedirect.com/book 9780080993966/filters-and-filtration-handbook

14. Demers RR. Bacterial/Viral Filtration: Let the Breather Beware! Chest. 2001;120(4):1377-89.

15. Nicholson K, Henke-Adams A, Henke DM, Kravitz AV, Gay HA. Modified full-face snorkel mask as COVID-19 personal protective equipment: Quantitative results. HardwareX. 2021; 9:e00185.

16. Siam Healthy World. Powered Air Purifying Respirator model Freflow V1 TM-H2 TEC-MEN. Available from: https://www.shw.co.th/tecmen-powered-air-purifying-respirator.html (in Thai)