

การจำแนกสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยแบบใช้ครั้งเดียว
CHARACTERIZATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS EMITTED
FROM SINGLE-USE HYGIENIC FACE MASKS

ทับทิม ชชาติสุวรรณ^{1*} และ มณีรัตน์ องค์กรวรรณดี²

¹อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
150 ถนนศรีจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000, thabtim.ch@rmuti.ac.th

²อาจารย์, วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพฯ
อาคารนวมินทร์ 1 198 ซอยสามเสน 13 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต
กรุงเทพฯ 10300, maneerat.ong@nmu.ac.th

Thabtim Chatsuvan^{1*} and Maneerat Ongwandee²

¹Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen
Campus, 150 Srichan Road, KhonKaen 40000, Thailand, thabtim.ch@rmuti.ac.th

²Lecturer, Institute of Metropolitan Development Navamindradhiraj University,
Navamindra 1 Building, 198 Samsen Soi 13 Samsen Road, Wachira Phayaban,
Dusit, Bangkok 10300, Thailand, maneerat.ong@nmu.ac.th

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันหน้ากากอนามัยเป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่นิยมใช้สำหรับป้องกันการติดเชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศและฝุ่นละอองขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามหน้ากากอนามัยผลิตจากพอลิเมอร์ที่ปล่อยสารอินทรีย์ระเหยซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้สวมใส่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดเชิงปริมาณและคุณภาพของสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยแบบใช้ครั้งเดียวสำหรับใช้ทางการแพทย์และสำหรับใช้ทั่วไป อย่างละ 4 ผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองโดยนำชิ้นส่วนตัวอย่างหน้ากากขนาด 1 x 5 ตร.ซม. ใส่ในขวดแก้วเก็บตัวอย่างขนาด 20 มล. ปิดฝาให้แน่นสนิท เขย่าตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30 °ซ. เป็นเวลา 24 ชม. ซักตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยด้วยเทคนิคโซลิดเฟสไมโครเอกแทรกชันและวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ผลการทดลองตรวจพบสารในกลุ่มแอลเคนเป็นหลักซึ่งมาจากวัตถุดิบของเส้นใยพอลิโพรพิลีน และยังพบสารในกลุ่มคีโตน อะโรมาติก และแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจถูกเติมลงไปในกระบวนการผลิตหน้ากากอนามัย อัตราการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยรวม เท่ากับ 0.015-0.137 มก./ตร.ม. ต่อชม. จากผลการ

วิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น พบว่า จำนวนวันและชนิดของหน้ากากอนามัยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value > 0.05) ต่อปริมาณสารอินทรีย์ระเหยรวมที่ปลดปล่อยออกมาจากหน้ากากอนามัย สำหรับแนวทางลดสารอินทรีย์ระเหยด้วยการให้หน้ากากผึ่งลมเป็นเวลา 3 วัน โดยประมาณ สามารถลดอัตราการปล่อยลงได้ 2-5 เท่า นอกจากนี้การกำหนดมาตรฐานการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยที่จำหน่ายในท้องตลาดจัดเป็นมาตรการควบคุมสินค้าที่ช่วยสร้างความปลอดภัยให้กับผู้บริโภค

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ระเหย, หน้ากากอนามัย, เทคนิค SPME-GCMS

ABSTRACT

Nowadays hygiene face masks, personal protective equipment, are widely used for protection against airborne transmission diseases and particulate matter. However, hygiene face masks made of polymer can emit volatile organic compounds (VOCs) which is harmful to wearers. This study aimed to measure VOCs quantitatively and qualitatively from four brands of single-use medical face masks and four brands of non-medical face masks. Each face mask was tested by cutting into a 1 x 5 cm² piece, placing it into a 20 mL glass sample vial, and sealing it tightly. The sample was then shaken at 30 °C for 24 hours. In-vial VOCs were sampled using solid-phase microextraction (SPME) with a DVB/CAR/PDMS fiber for 3 minutes, then analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Results show alkanes were major emitted compounds from all tested face masks due to their production of using polypropylene fibers. Additionally, ketone, aromatic, and alcohol compounds were detected, which are presumed to be additives in the manufacturing process. The total VOC emission rates were 0.03-0.14 µg/m²h⁻¹. The statistical analysis using the linear regression method indicated that the number of days and type of face mask had no statistically significant effect (p -value > 0.05) on the quantity of TVOC emitted from the face masks. A simple method of air-drying face masks for 3 days was found to reduce TVOC by two to five times. Furthermore, VOC emission standards for single-use face masks are thought to assist protecting consumers.

KEYWORDS: volatile organic compounds, face masks, SPME-GCMS technique

1. บทนำ

ปัจจุบันโรคโควิด-19 (coronavirus disease 2019; COVID-19) ในประเทศไทยปรับเป็นโรคติดต่อที่ต้องเฝ้าระวังตาม พ.ร.บ.โรคติดต่อ พ.ศ. 2558 จากการรายงานของกองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค, ประเทศไทย รายงานว่า ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2568 - 4 มิถุนายน 2568 พบผู้ป่วยสะสมจำนวน 333,844 คน เสียชีวิตสะสม 73 คน และคาดว่าพบผู้ป่วยรายใหม่อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการแพร่ระบาดของโรคมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมหรือการรวมกลุ่มของคนจำนวนมาก ส่วนการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ (influenza) รายงานว่า ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2568 - 24 พฤษภาคม 2568 พบผู้ป่วยสะสม จำนวน 343,285 คน เสียชีวิต จำนวน 47 คน และมีอัตราการป่วย 528.85 ต่อประชากรแสนคน ซึ่งอัตราการป่วยยังคงสูงกว่าค่ามัธยฐานของ 5 ปี ย้อนหลัง [1,2] รวมถึงปัญหาด้านมลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก (particulate matters; PM) ที่ยังคงเป็นปัญหาและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากการรายงานของ บีบีซีนิวส์ ในปี พ.ศ. 2566 พบว่าคนไทยกว่า 10.5 ล้านคนป่วยด้วยโรคที่เชื่อมโยงกับมลพิษทางอากาศ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม เมื่อปี พ.ศ. 2565 ร้อยละ 116 และ ในช่วง 9 สัปดาห์แรกของปี พ.ศ. 2567 พบผู้ป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศแล้ว 1.6 ล้านคน เพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาเดียวกันเมื่อปี พ.ศ. 2566 อยู่ที่ 1.3 ล้านคน [3] จากการรายงานของสภาวะอากาศโลกฉบับที่ 5 (state of global air - SoGA) พบว่า มลพิษทางอากาศกำลังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และได้กลายเป็นปัจจัยเสี่ยงอันดับที่สองต่อการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก โดยเฉพาะกลุ่มเปราะบาง [4]

จากสถานการณ์ดังกล่าวเป็นผลให้คนไทยหันมาใช้หน้ากากอนามัยเพิ่มขึ้น หน้ากากอนามัยที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นหน้ากากที่มีลักษณะ 3 ชั้น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ประกอบไปด้วยชั้นนอกและชั้นในถูกเคลือบด้วยสารที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของของเหลวได้ มีรูปร่างต่างๆ เช่น แบบจีบ (pleated) แบบถุง (pouch) หรือแบบปากเปิด (duck-bill) ขนาด 15-25 ไมครอน ชั้นกลางเป็นแผ่นกรอง (filter media) ทำหน้าที่กรองอนุภาคขนาดเล็กหรือแบคทีเรีย ผลิตจากเส้นใยพลาสติกที่ไม่ผ่านการทอ (nonwovens) ขนาด 4-5 ไมครอน วัสดุที่ใช้สำหรับผลิตหน้ากากอนามัยโดยส่วนใหญ่เป็นพอลิโพรพิลีน (polypropylene; PP) หรือบางครั้งอาจมีการใช้พอลิเอทิลีน (polyethylene) พอลิสไตรีน (polystyrene) หรือ เซลลูโลส [5]

ในกระบวนการผลิตหน้ากากอนามัยมีขั้นตอนการเติมสารเคมีบางประเภท เช่น กาว สเปรย์ กาว (foam glue spray) หรือโฟมกาว (foam glue adhesive) เพื่อช่วยยึดเกาะเส้นใยเข้าด้วยกัน การเติมสารย้อมสี การเติมสารแต่งกลิ่น และการเพิ่มสารทนไฟ [6] สารเคมีที่ถูกเติมลงไป ในกระบวนการผลิตอาจจะเหยออกมาขณะที่สวมใส่ และส่งผลกระทบต่อผู้สวมใส่ได้ เช่น หายใจลำบาก อาการแสบจมูก แสบคอ อาการวิงเวียนศีรษะ เป็นต้น นอกจากนี้สารเคมีที่ปลดปล่อยออกมานั้นอาจเป็นเหตุทำให้ผู้ที่สวมใส่มีอาการระคายเคืองผิว ผดผื่น แดง คัน หรืออาจก่อให้เกิดสิ่วร่วมด้วย [7-9] งานวิจัยของ Scheid et al [10] พบว่า การสวมใส่หน้ากากอนามัยมีผลกระทบต่อ

ทางสรีระวิทยา (physiological) เช่น หายใจลำบาก อาการปวดศีรษะ ความรู้สึกกระคายเคืองบริเวณ ใบหู หรือบริเวณที่สัมผัสกับหน้ากากอนามัย เป็นต้น และผลกระทบทางจิตวิทยา (psychological) เช่น รู้สึกไม่พอใจ หรือต่อต้านการสวมใส่หน้ากากอนามัย เป็นต้น งานวิจัยของ Park et al [11] และ Park et al [12] พบว่า การสวมหน้ากากอนามัยมีผลทำให้เกิดรอยแดง (redness) เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญบริเวณที่สวมใส่ โดยเฉพาะบริเวณหน้าผากและแก้ม ความชุ่มชื้นของผิว (hydration) บริเวณที่สวมใส่ลดลง และมีการสูญเสียน้ำจากผิว (trans-epidermal water loss) เพิ่มขึ้น ขนาดของรูขุมขน (skin pore area) มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับบริเวณที่ไม่สัมผัสหน้ากากอนามัย และจากการวิจัยของ Szepietowski et al [13] พบว่า ร้อยละ 20 ของ ผู้ตอบแบบสอบถามที่สวมหน้ากากอนามัย มีอาการคันจากการสวมใส่หน้ากากอนามัย โดยอาการ คันมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่สวมใส่หน้ากากอนามัย โดยเฉพาะเมื่อสวมใส่หน้ากากอนามัย ติดต่อกันนานกว่า 5 ชั่วโมง มีผลทำให้อาการคันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

จากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่ายังไม่มีการศึกษาตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัย ที่อาจมีผลทำให้เกิดอาการระคายเคืองผิว ผดผื่น แดง คัน หรือการเกิดสิ่ว ของผู้ที่สวมใส่ ดังนั้น งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยที่จำหน่ายในท้องตลาด โดย ทำการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในเชิงปริมาณ (quantitative) และเชิงคุณภาพ (qualitative) พร้อมทั้งหาแนวทางอย่างง่ายในการลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยก่อน การสวมใส่

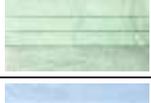
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 หน้ากากอนามัยสำหรับทดสอบ

หน้ากากอนามัยที่ผู้วิจัยเลือกทดสอบเป็นหน้ากากอนามัยแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (disposable face mask) แบบจีบ (pleated) มีลักษณะ 3 ชั้น ซึ่งเป็นประเภทที่นิยมใช้มากที่สุด [14] จำนวน 8 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ (1) หน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทางการแพทย์ (medical mask) จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์ และ (2) หน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทั่วไป (non-medical mask) จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์ หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในสถานพยาบาล เช่น โรงพยาบาล คลินิก หรือห้องผ่าตัด โดยได้รับการรับรองมาตรฐานการออกแบบ เช่น ASTM F2100 (american society for testing and materials) หรือ EN 14683 (มาตรฐานยุโรป) ลักษณะของ หน้ากากมีโครงสร้างหลายชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นกรองที่สามารถป้องกันเชื้อโรค ละอองฝอย และ ของเหลวจากสารคัดหลั่ง ประสิทธิภาพในการกรองแบคทีเรีย (bacterial filtration efficiency; BFE) สูงกว่าร้อยละ 95 ซึ่งเหมาะสมสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ในการป้องกันการแพร่กระจายของ เชื้อโรค ส่วนหน้ากากอนามัยทั่วไปถูกออกแบบมาสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน เช่น การป้องกัน

ฝุ่นละออง หรือเพื่อลดการแพร่กระจายของละอองฝอยจากการพุด ไอ หรือจาม หน้ากากประเภทนี้ไม่มีมาตรฐานการออกแบบที่ชัดเจน วัสดุที่ใช้ในการผลิตอาจเป็นผ้า วัสดุสังเคราะห์ หรือกระดาษ เป็นต้น ประสิทธิภาพในการกรองเชื้อโรคอาจต่ำกว่าหน้ากากทางการแพทย์ [5,15,16] หน้ากากอนามัยทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยเลือกตัวอย่างแบบตามสะดวก (convenient sampling) เนื่องจากง่ายและสะดวกในการเลือกตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว และตัวอย่างหน้ากากอนามัยที่หลากหลาย หน้ากากอนามัยสำหรับทดสอบผู้วิจัยได้จากร้านสะดวกซื้อ และร้านขายยาทั่วไปในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และจังหวัดมหาสารคาม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของหน้ากากอนามัยสำหรับทดสอบ

| ประเภท | สี | ผลิตภัณฑ์ | วัน/ เดือน/ ปี ผลิต | วัน/ เดือน/ ปี หมดอายุ | เลขที่ครั้งที่ผลิต | จำนวนวัน [†] | ภาพประกอบ |
|---|-------|-----------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|---|
| หน้ากาก อนามัย สำหรับใช้ ทาง การแพทย์ | ฟ้า | M1 | 13-12- 2020 | 13-12- 2023 | 201202 | 47 วัน |  |
| | เขียว | M2 | 13-12- 2020 | 13-12- 2023 | 201202 | 47 วัน |  |
| | เขียว | M3 | 11-12- 2020 | 11-12- 2023 | 201201 | 49 วัน |  |
| | ฟ้า | M4 | 01-08- 2020 | 01-08- 2023 | - | 181 วัน |  |
| หน้ากาก อนามัย สำหรับใช้ ทั่วไป | เขียว | N1 | 20-07- 2020 | 20-07- 2023 | - | 193 วัน |  |
| | ฟ้า | N2 | 28-10- 2020 | 28-10- 2023 | F2010170007G | 93 วัน |  |
| | ฟ้า | N3 | 20-07- 2020 | 20-07- 2023 | - | 193 วัน |  |
| | ฟ้า | N4 | 25-12- 2020 | 25-12- 2023 | - | 35 วัน |  |

หมายเหตุ: † หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่ผลิตจนถึงวันที่ทดสอบ

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ (1) ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัย เพื่อระบุชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยออกมา โดยผู้วิจัยเลือกทดสอบหน้ากากอนามัยทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ (2) ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยที่ผ่านการฝังลม 3 วัน โดยประมาณ เพื่อศึกษาแนวทางในการลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยก่อนนำไปใช้งาน โดยผู้วิจัยเลือกตัวอย่างหน้ากากอนามัยจากการทดลองที่ 1 ที่ปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยสูงที่สุด และ (3) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณสารอินทรีย์ระเหยรวมที่ปลดปล่อยจากหน้ากากอนามัยแต่ละผลิตภัณฑ์

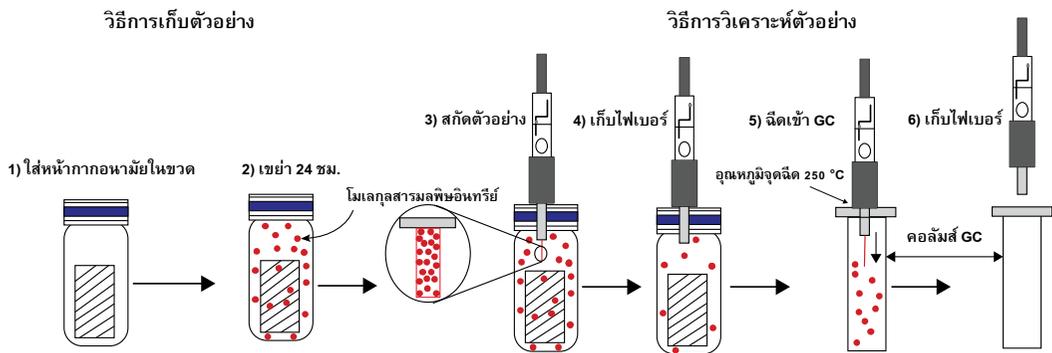
หน้ากากอนามัยสำหรับทดสอบถูกจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ หน้ากากอนามัย หมายถึง หน้ากากอนามัยที่ยังไม่ถูกเปิดใช้งาน หน้ากากอนามัยไม่ฝังลม หมายถึง หน้ากากอนามัยที่ถูกบรรจุภายในถุงซิปล็อกเป็นระยะเวลา 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบ หน้ากากอนามัยฝังลม หมายถึง หน้ากากอนามัยที่ถูกบรรจุภายในถุงซิปล็อกเป็นเวลา 28 วัน และถูกนำออกมาฝังลมเป็นเวลา 3 วัน โดยประมาณ หมายเหตุ หน้ากากอนามัยถูกเก็บรักษาในถุงซิปล็อกเป็นเวลา 28 วัน เนื่องจากอยู่ในช่วงรอใช้งานของเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ระเหย

หน้ากากอนามัยที่ใช้ในการทดลองจะห่อหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) และเก็บในถุงซิปล็อก (zip lock bag) สองชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปสัมผัสกับหน้ากากอนามัย โดยเก็บที่อุณหภูมิ 28 ± 0.8 °ซ. และความชื้นร้อยละ 61 ± 1.1 ในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (TODAY'S INSTRUMENTS, Taipei) ก่อนนำไปทดสอบ การทดสอบอุณหภูมิในการทดสอบควบคุมที่ 30 °ซ. เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมของประเทศไทย

2.2.1 การทดลองที่ 1 การวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัย

การทดสอบอ้างอิงตามการวิจัยของ Chatsuvan et al [17] ดังรูปที่ 1 ขั้นตอนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง เริ่มทดสอบโดยตัดหน้ากากอนามัย ขนาด 1×5 ตร.ซม. ใส่ในขวดแก้วเก็บตัวอย่างขนาด 20 มล. ปิดฝาให้แน่นสนิท เขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °ซ. เป็นระยะเวลา 24 ชม. เพื่อให้หน้ากากอนามัยปล่อยสารอินทรีย์ระเหยสู่อากาศภายในขวดเก็บตัวอย่างจนถึงสภาวะสมดุล (equilibrium) ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิและเขย่า (shaking incubator) (Miulab, China) จากนั้นเริ่มเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยภายในขวดเก็บตัวอย่างด้วยเทคนิคโซลิดเฟสไมโครเอกแทรกชัน (solid-phase microextraction; SPME) ไฟเบอร์ชนิด DVB/CAR/PDMS (Bellefonte, PA, USA) เป็นเวลา 3 นาที ไฟเบอร์มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มที่ไม่มีขั้ว (apolar) และกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่มีขั้วสองขั้ว (bipolar) [18,19] จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-

แมสสเปกโตรมิเตอร์ (gas chromatography-mass spectrometry; GCMS) (Shimadzu, Japan) โดยอุณหภูมิจุดฉีดของเครื่อง 250 °ซ. ระยะเวลาคายสารอินทรีย์ระเหยจากไฟเบอร์ 3 นาที ใช้คอลัมน์ชนิด Rt[®]5-MS, อุณหภูมิคอลัมน์ 40-60 °ซ. (อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1 °ซ./นาที) และ 60-80 °ซ./นาที (อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 20 °ซ./นาที) เป็นเวลา 21 นาที, โหมดสแกน 40-500 amu ปรับเทียบค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยรวม (total volatile organic compound; TVOC) กับสารมาตรฐานโทลูอีนที่ความเข้มข้น 0-400 มกค./ลบ.ม. [17] การทดสอบนี้เป็นการทดสอบครั้งเดียว (single test) ผู้วิจัยไม่ได้ทำซ้ำ เพื่อให้สามารถเลือกตัวอย่างจากผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและครอบคลุมหน้ากอนามัยที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยด้วยเทคนิค SPME-GCMS

2.2.2 การทดลองที่ 2 การวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากอนามัยที่ผ่านการฝังลม 3 วัน

การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากอนามัยที่ผ่านการฝังลมภายในอาคาร 3 วัน โดยประมาณ ตัดหน้ากอนามัย ขนาด 1 x 5 ตร.ซม. จำนวนอย่างละ 2 ชิ้น โดยชิ้นแรกถูกนำไปใส่ในขวดแก้วเก็บตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยโดยทันที ส่วนชิ้นที่สองถูกนำไปฝังลมภายในอาคาร (บริเวณทางเดินด้านนอกของศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม) ดังรูปที่ 2 โดยแขวนบนราวเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยเชือกมัดชอนปลายเป็นเวลา 3 วัน โดยประมาณ จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ระเหย โดยใช้เทคนิค SPME-GCMS เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 หมายเหตุ สถานที่ฝังลมของหน้ากอนามัยเป็นที่โล่ง ลมโกรกจากด้านนอกอาคารเข้าสู่ด้านในอาคารตลอดเวลา ซึ่งเหมาะสำหรับการจำลองสถานการณ์จริงสำหรับฝังหน้ากอนามัยภายในอาคาร



รูปที่ 2 ลักษณะการฝังลมของหน้ากากอนามัย

2.2.3 การคำนวณอัตราการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยรวม (TVOC emission)

สมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาอัตราการปลดปล่อย TVOC จากหน้ากากอนามัยในหน่วยต่อพื้นที่ต่อชม. ดังสมการ (1)

$$E = (C_{\text{mask}} - C_{\text{blank}}) * V / A \quad (1)$$

โดยที่ E = อัตราการปลดปล่อย TVOC จากหน้ากากอนามัย (มคก./ตร.ม.ต่อชม.)

C_{mask} = ความเข้มข้น TVOC ภายในขวดที่ใส่หน้ากากอนามัย (มคก./ลบ.ม.)

C_{blank} = ความเข้มข้น TVOC ภายในขวดควบคุมที่ไม่ใส่หน้ากากอนามัย (มคก./ลบ.ม.)

V = ปริมาตรอากาศภายในขวดตัวอย่าง (ลบ.ม.)

A = พื้นที่หน้ากากอนามัย 2 ด้าน (ตร.ม.)

2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น (linear regression) เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณ TVOC ที่ปลดปล่อยจากหน้ากากอนามัยแต่ละผลิตภัณฑ์ (y) โดยกำหนดตัวแปรอิสระ (independent variable) 2 ตัวแปร คือ จำนวนวัน (x_1) และชนิดของหน้ากากอนามัย (x_2)

2.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว (functional groups)

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของหน้ากากอนามัยด้วยเครื่องฟูเรียรทรานซฟอร์มีอินฟราเรด (fourier transform infrared spectrometer; FTIR) แบบ Attenuated Total Reflectance (ATR) ชนิด Universal (UATR) ติดตั้งด้วยผลึกผสม KRS 5-เพชร (Perkin Elmer, USA) โดยทำการวัดในช่วงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยออกมาจากหน้ากากอนามัย หน้ากากอนามัยสำหรับวิเคราะห์ผู้วิจัยเลือกใช้หน้ากาก

อนามัยทางการแพทย์ผลิตภัณฑ์ M1 เป็นตัวแทนทดสอบ เนื่องจากหน้ากากอนามัยโดยทั่วไปผลิตจากวัสดุพอลิโพรพิลีนเป็นหลัก [5]

3. ผลการทดลอง

3.1 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยจากหน้ากากอนามัย

ตารางที่ 2 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยออกมาจากหน้ากากอนามัย พบว่า สารส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มแอลเคน (alkane) เช่น สาร 2,4-dimethylheptane, 2,4-dimethyl-1-heptene, 4-methyloctane, 2,5,5-trimethylheptane, 3,3-dimethyloctane, 3,7-dimethyl-1-octene และสารอินทรีย์ระเหยที่พบในปริมาณสูง ได้แก่ สาร 2,5,5-trimethylheptane, 3,3-dimethyloctane, 2,4-dimethyl-1-heptene, 2,4-dimethylheptane, 2,2,4,6,-pentamethyl heptane, 3,7-dimethyl decane, dodecane, hexadecane สารที่ระเหยออกมาจากหน้ากากอนามัยมีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันที่พื้นผิวของหน้ากาก ซึ่งทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรด ที่ช่วงดุกคลื่นรังสีอินฟราเรด 400-4000 cm^{-1} พบแถบสเปกตรัมดุกคลื่นรังสีในช่วง 2800-3000 cm^{-1} แสดงถึงพันธะ C-H ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันนอลของสารในกลุ่มแอลเคน (อภิปรายในหัวข้อ 3.5)

ตารางที่ 2 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยจากหน้ากากอนามัย

| No. | PubChem CID | สารอินทรีย์ระเหย | หน้ากากอนามัยใช้ ทางการแพทย์ | | | | หน้ากากอนามัยใช้ ทั่วไป | | | |
|----------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|----|----|----|----------------------------|----|----|----|
| | | | M1 | M2 | M3 | M4 | N1 | N2 | N3 | N4 |
| alkene | | | | | | | | | | |
| 1 | 21085 | 3,7-dimethyl-1-octene | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| alkanes | | | | | | | | | | |
| 2 | 11512 | 4-methylheptane | | | ✓ | | | | ✓ | |
| 3 | 35768 | 2,6,11-trimethyldodecane | | | | | | ✓ | | |
| 4 | 14045 | 2,3,5-trimethylhexane | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | |
| 5 | 519423 | 5-methyldodecane | | ✓ | | | | | | |
| 6 | 16656 | 2,4-dimethylheptane | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| 7 | 519254 | 4,5-diethyloctane | | | ✓ | | | | | ✓ |

ตารางที่ 2 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยจากหน้ากากอนามัย (ต่อ)

| No. | PubChem CID | สารอินทรีย์ระเหย | หน้ากากอนามัยใช้ ทางการแพทย์ | | | | หน้ากากอนามัยใช้ ทั่วไป | | | |
|-----------------|----------------|----------------------------------|---------------------------------|----|----|----|----------------------------|----|----|----|
| | | | M1 | M2 | M3 | M4 | N1 | N2 | N3 | N4 |
| 8 | 11511 | 2,4-dimethylhexane | | | ✓ | | | | ✓ | |
| 9 | 94213 | 5-methylundecane | | | ✓ | | | | | |
| 10 | 28468 | 3,7-dimethyldecane | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| 11 | 537765 | 2,3,6,7-tetramethyloctane | | | | | | ✓ | | |
| 12 | 16665 | 4-methyloctane | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| 13 | 18591 | 2-methyloctane | | | | | ✓ | | | |
| 14 | 545936 | 5-(2-methylpropyl) nonane | | | | ✓ | | | | ✓ |
| 15 | 22202 | 3-methylnonane | | | | | | | ✓ | |
| 16 | 519389 | 4,7-dimethylundecane | | | ✓ | | | | | |
| 17 | 26058 | 2,2,4,6,6- pentamethylheptane | | | | ✓ | | | ✓ | |
| 18 | 28459 | 2,2-dimethyldecane | | | | | ✓ | | | ✓ |
| 19 | 14257 | undecane | | | | ✓ | | | ✓ | |
| 20 | 14478 | 2,5,5-trimethylheptane | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 21 | 138117 | 3,3-dimethyloctane | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 22 | 17835 | 4-methyldecane | | | | ✓ | | | | |
| 23 | 182333 | 2,2,4,4-tetramethyloctane | | | | ✓ | | | ✓ | |
| 24 | 8182 | dodecane | ✓ | | | | | | | |
| 25 | 86539 | 3,6-dimethylundecane | | | | | | | | ✓ |
| 26 | 8186 | 1-undecan | | | | | | | ✓ | |
| 27 | 11006 | hexadecane | | ✓ | | | | | | |
| aromatic | | | | | | | | | | |
| 28 | 1140 | toluene | | | | | | | ✓ | ✓ |

ตารางที่ 2 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยจากหน้ากากอนามัย (ต่อ)

| No. | PubChem CID | สารอินทรีย์ระเหย | หน้ากากอนามัยใช้ ทางการแพทย์ | | | | หน้ากากอนามัยใช้ ทั่วไป | | | | |
|-------------------------|----------------|--|---------------------------------|----|----|----|----------------------------|----|----|----|---|
| | | | M1 | M2 | M3 | M4 | N1 | N2 | N3 | N4 | |
| | | | alcohols | | | | | | | | |
| 29 | 98034 | tetrahydro-2,5-dimethyl- 2H-pyranmethanol | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ |
| 30 | 86776 | 2-methyl-1-decanol | | | | | | | ✓ | | |
| 31 | 7720 | 2-ethylhexanol | | | | | | | ✓ | | ✓ |
| ketone | | | | | | | | | | | |
| 32 | 7909 | methyl isobutyl ketone | | | | | | | | | ✓ |
| 33 | 31261 | acetylacetone | | | | | | | | | ✓ |
| 34 | 94317 | 4-methyl-2-heptanone | | ✓ | | | | | | | |
| sulfuric | | | | | | | | | | | |
| 35 | 65111 | decyl methyl sulfoxide | | | | | | | ✓ | ✓ | |
| carboxylic acids | | | | | | | | | | | |
| 36 | 11048796 | methoxy phenyl oxime | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | |
| terpene | | | | | | | | | | | |
| 37 | 440917 | d-limonene | | | | | | | ✓ | | |

หมายเหตุ: ✓ หมายถึง ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัย

สารที่พบเหล่านี้ส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตพลาสติก อุตสาหกรรมแปรรูปยางและกระดาษ เป็นต้น [20] ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่า สารกลุ่มนี้อาจถูกเติมในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymer) เนื่องจากหน้ากากอนามัยส่วนใหญ่ผลิตจากการหลอมเม็ดพลาสติกที่ใช้โดยส่วนใหญ่เป็นพอลิโพรพิลีน [5] นอกจากนี้ยังตรวจพบสาร acetyl acetone, toluene และ 2-ethylhexanol ปลดปล่อยจากหน้ากากผลิตภัณฑ์ N4 สารทั้ง 3 ชนิดนี้อยู่ในกลุ่มคีโตน กลุ่มอะโรมาติก และกลุ่มแอลกอฮอล์ ซึ่งสารในกลุ่มเหล่านี้มักถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการทางอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น สารเติมแต่งน้ำมันหล่อลื่น ทำสี สีเคลือบเงา เรซิน หมึกสีย้อมยา และสารเคมีอื่น ๆ เป็นต้น [21,22] จึงมี

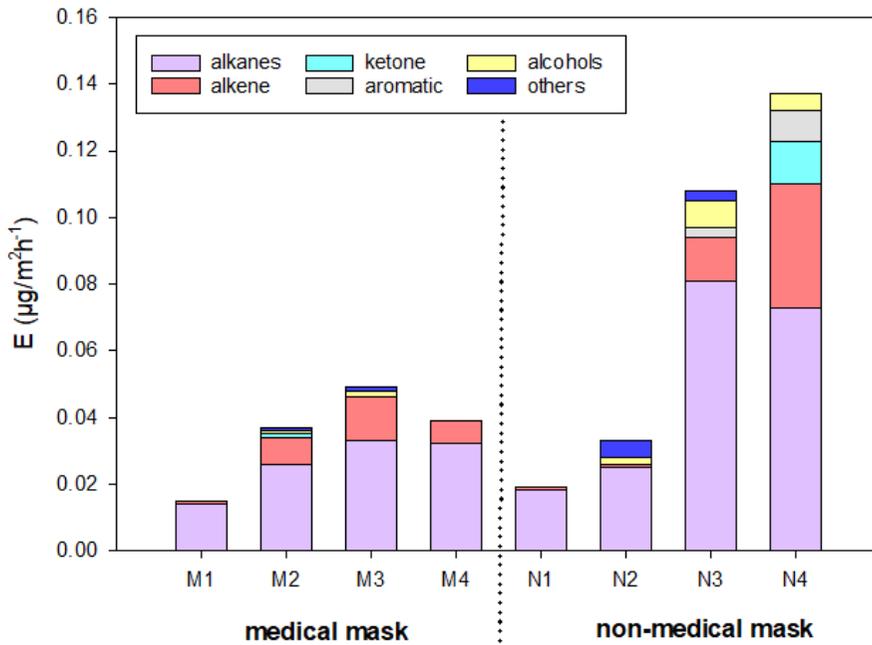
ความเป็นไปได้ว่าสารทั้ง 3 ชนิดนี้อาจมาจากการเติมแต่งสีของหน้ากากอนามัย งานวิจัยของ Cabanes et al [20] ตรวจพบสารในกลุ่มแอลเคน แอลคีน อะโรมาติก แอกอฮอล์ คีโตน และสารประกอบกลุ่มอื่น ๆ จากพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน และงานวิจัยของ Ren et al [23] ตรวจพบสารในกลุ่มแอลเคน แอลคีน แอลไคน์ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มอื่น ๆ จากอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก

สารเหล่านี้เมื่อสูดดมเข้าสู่ร่างกายเป็นระยะเวลาาน อาจมีผลต่อระบบทางเดินหายใจ ระคายเคืองจมูก เจ็บคอ วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ เป็นต้น [24] นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยเหล่านี้อาจเป็นเหตุให้ผู้สวมใส่มีอาการอาการระคายเคืองผิว ผดผื่น แดง คัน หรืออาจก่อให้เกิดสิว [7-13]

3.2 อัตราการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยรวมจากหน้ากากอนามัย

รูปที่ 3 แสดงอัตราการปล่อย TVOC จากหน้ากากอนามัย หน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทางการแพทย์ ทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ มีอัตราการปล่อย TVOC อยู่ในช่วง 0.015-0.048 มกค./ตร.ม.ต่อชม. และหน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทั่วไปทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.019-0.137 มกค./ตร.ม.ต่อชม. จากกราฟจะเห็นได้ว่าหน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทั่วไปผลิตภัณฑ์ N4 มีการปล่อยปริมาณ TVOC สูงกว่าหน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์อื่น 1-9 เท่า เนื่องจากมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มแอลเคน แอลคีน คีโตน และกลุ่มสารอะโรมาติก ออกมาสูงกว่าหน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์อื่น ในขณะที่บางผลิตภัณฑ์ปลดปล่อยเฉพาะสารในกลุ่มแอลเคน ทั้งนี้ปริมาณ TVOC ที่ปลดปล่อยออกมาจากหน้ากากอนามัยแต่ละผลิตภัณฑ์ อาจขึ้นอยู่กับวัตถุดิบการผลิตของหน้ากากอนามัยแต่ละผลิตภัณฑ์ เช่น ชนิดของสารเคมีหรือพลาสติกจากการสังเคราะห์เส้นใยพอลิโพรพิลีน สารเคมีที่เติมลงไปในการบวนการผลิตขึ้นรูปหน้ากากอนามัยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของหน้ากากอนามัย เช่น การย้อมสี การเพิ่มกลิ่น และการเพิ่มสารทนไฟ เป็นต้น งานวิจัยของ Ren et al [23] ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มแอลเคน แอลคีน แอลไคน์ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มอื่น ๆ จากอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก งานวิจัยของ Chatsuvan et al [17] ตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยจากผ้าที่มาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพใด ๆ พบว่า ผ้าสีขาวมีอัตราการปล่อยน้อยกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมสีด้วยวิธีทางเคมี 1.9 เท่า

พิจารณาตารางที่ 3 พบว่า อัตราการปลดปล่อย TVOC จากหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ และหน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับวัสดุประเภทไม้เคลือบผิวที่ผ่านการทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 3 และ 28 วัน และมีค่าต่ำกว่าวัสดุประเภทผ้าบางชนิดประมาณ 10^1 - 10^2 เท่า รวมถึงเส้นใยบางชนิดประมาณ 10^3 - 10^4 เท่า หน้ากากอนามัยเป็นวัสดุที่สัมผัสกับบริเวณใบหน้า จมูก และปาก สารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยออกมาจึงอาจเข้าสู่ร่างกายและก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้สวมใส่ได้ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการใช้งานเป็นเวลานาน



หมายเหตุ: others หมายถึง สารอินทรีย์ระเหยรวมของกลุ่ม sulfuric, carboxylic acids และ terpene

รูปที่ 3 อัตราการปล่อย TVOC จากหน้ากากอนามัย

ตารางที่ 3 อัตราการปลดปล่อย TVOC จากหน้ากากอนามัยและวัสดุประเภทต่าง ๆ

| ประเภทวัสดุ | วัสดุทดสอบ | E (µg/m³h⁻¹) | | | |
|-------------|------------|--------------------|-------|--------|------|
| | | 0 วัน [†] | 3 วัน | 28 วัน | Ref. |
| พลาสติก | M1 – M4 | 0.015 – 0.048 | - | - | |
| | N1 – N4 | 0.019 – 0.137 | | | |
| ผ้า/สิ่งทอ | SU | 4.80 | - | - | [17] |
| | SN | 0.70 | | | |
| | SC | 9.00 | | | |
| | COT | 3.20 | | | |
| | POE | 3.70 | | | |
| | T/C | 1.90 | | | |

ตารางที่ 3 อัตราการปลดปล่อย TVOC จากหน้ากอกานามัยและวัสดุประเภทต่าง ๆ (ต่อ)

| ประเภทวัสดุ | วัสดุทดสอบ | E ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}^{-1}$) | | | |
|--------------------------|--|---|-------|--------|------|
| | | 0 วัน [†] | 3 วัน | 28 วัน | Ref. |
| เส้นใย | cellulose flakes | - | 11 | ND | [25] |
| | wool | - | 4 | ND | |
| | hemp fibre | - | 33 | 8 | |
| | wood fibre/Wool | - | 911 | 160 | |
| | hemp lime mix (330 kg/m ³) | - | 34 | ND | |
| | hemp lime mix (275 kg/m ³) | - | 28 | ND | |
| | rigid wood fibre | - | 14 | 9 | |
| ไม้ดิบ ร้อยละ 100 | expanded cork | - | 50 | 16 | [26] |
| ไม้กึ่งสังเคราะห์ | particle board | - | 70 | 19 | |
| ไม้สังเคราะห์ ร้อยละ 100 | ESP insulation | - | 155 | 26 | |
| ไม้เคลือบผิว | wood-plywood (teak oil) | - | 0.25 | 0.15 | [27] |
| | MDF (spray paint) | - | 0.25 | 0.10 | |
| | OBS (spray paint) | - | 0.25 | 0.10 | |
| | MDF (acrylic paint) | - | 0.15 | 0.05 | |
| | OBS (acrylic paint) | - | 0.15 | 0.05 | |
| | Wood-plywood (soft cover) | - | 0.05 | 0.05 | |
| | MDF (soft cover) | - | 0.05 | 0.05 | |

หมายเหตุ: † = ตรวจวัดทันทีหลังเปิดบรรจุภัณฑ์

ND = Not detected

3.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) ซึ่งให้เห็นว่าทั้งสองตัวแปรไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณ TVOC โดยมีค่า Adjusted R² เท่ากับ 0.017 นั้นหมายความว่ารูปแบบสมการถดถอยมีความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลจากจำนวนตัวอย่างที่น้อย

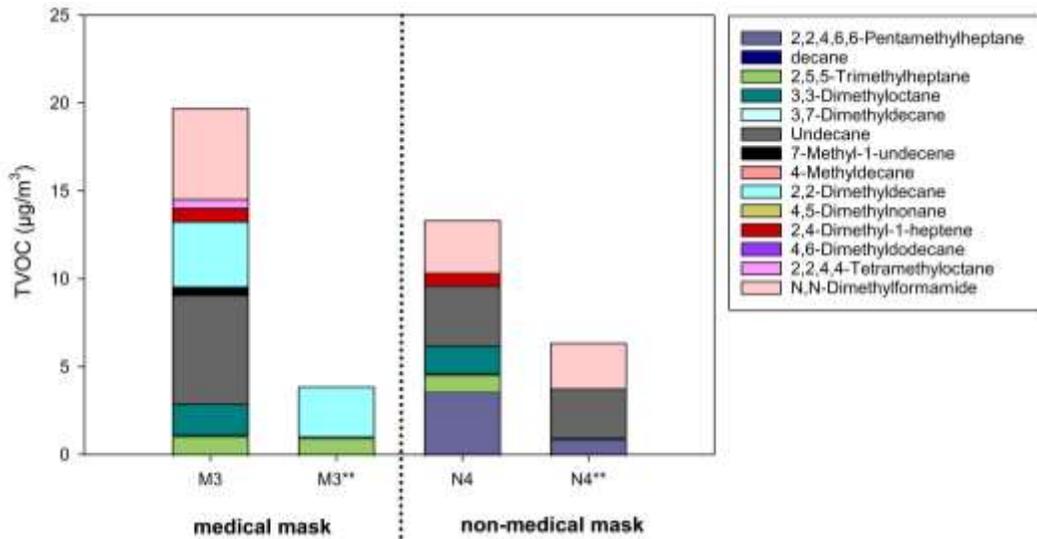
ตารางที่ 4 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น

| ตัวแปร | Unstandardized B | Standardized Coefficients Beta | p-value |
|---------------------------------|------------------|--------------------------------|---------|
| Constant | 58.071 | - | 0.160 |
| จำนวนวัน (x_1) | -0.205 | -0.280 | 0.515 |
| ชนิดของหน้ากากอนามัย (x_2) | 56.718 | 0.578 | 0.209 |
| Adjusted R ² = 0.017 | | | |

3.4 แนวทางการลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัย

รูปที่ 4 ปริมาณ TVOC จากหน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์ M3 ตัวอย่างทดสอบหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ และหน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์ N4 ตัวอย่างทดสอบหน้ากากอนามัยใช้ทั่วไป กรณีที่ไม่ผ่านการฟุ้งลมพบความเข้มข้นในขวดแก้วของสาร TVOC เท่ากับ 20 และ 13 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ สารที่พบส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มแอลเคนที่มีอยู่เดิมในหน้ากากอนามัย (การทดลอง 1 ตารางที่ 2) เช่น สาร 2,5,5-trimethylheptane, 3,3-dimethyloctane, undecane เป็นต้น จากนั้นเมื่อนำหน้ากากอนามัยทั้งสองผลิตภัณฑ์ ไปฟุ้งลมเป็นเวลาต่อเนื่อง 3 วัน โดยประมาณ (หมายเหตุ สัญลักษณ์ดังรูปที่ 4 M3** และ N4**) พบว่า ความเข้มข้นของสาร TVOC ลดลง 5 เท่า และ 2 เท่า ตามลำดับ

พิจารณาตารางที่ 5 พบว่า หลังการฟุ้งลมปริมาณสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยมีแนวโน้มลดลง โดยหน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์ M3 พบสารบางชนิด เช่น สาร 2,5,5-trimethylheptane และ 2,2-dimethyldecane มีค่าความเข้มข้นลดลงร้อยละ 9.43 และ 23.92 ตามลำดับ ขณะที่สารบางชนิด เช่น สาร 3,3-dimethyloctane, undecane และ 7-methyl-1-undecene ตรวจไม่พบหลังการฟุ้งลม สำหรับผลิตภัณฑ์ N4 พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยสาร 2,2,4,6,6-pentamethylheptane, undecane และ N,N-dimethylformamide มีปริมาณลดลงในช่วงร้อยละ 13.0-73.7 และมีสารบางชนิด เช่น สาร 2,5,5-trimethylheptane และ 3,3-dimethyloctane ตรวจไม่พบหลังการฟุ้งลม ทั้งนี้ ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยออกมาแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารแต่ละชนิดที่อาจมีผลต่อการระเหย



รูปที่ 4 ปริมาณ TVOC ของหน้ากากผลิตภัณฑ์ M3 และ N4 กรณีไม่ผ่านการฟุ้งลม เทียบกับกรณีผ่านการฟุ้งลม M3** และ N4**

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นและร้อยละการลดลงของสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยก่อนและหลังการฟุ้งลม

| สารอินทรีย์ระเหย | หน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์ M3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | หน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์ N4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|------------------------------|--|--------|------------|--|--------|------------|
| | ไม่ฟุ้งลม | ฟุ้งลม | ร้อยละลดลง | ไม่ฟุ้งลม | ฟุ้งลม | ร้อยละลดลง |
| 2,2,4,6,6-pentamethylheptane | ND | ND | 0 | 3.66 | 0.96 | 73.7 |
| 2,5,5-trimethylheptane | 1.11 | 1.00 | 9.43 | 0.95 | 0 | 100.0 |
| 3,3-dimethyloctane | 1.75 | 0 | 100 | 1.55 | 0 | 100.0 |
| undecane | 6.20 | 0 | 100 | 3.44 | 2.77 | 19.5 |
| 7-methyl-1-undecene | 0.47 | 0 | 100 | ND | ND | 0 |
| 2,2-dimethyldecane | 3.72 | 2.83 | 23.92 | ND | ND | 0 |
| 2,4-dimethyl-1-heptene | 0.77 | 0 | 100 | 0.72 | 0 | 100.0 |
| 2,2,4,4-tetramethyloctane | 0.51 | 0 | 100 | ND | ND | 0 |
| N,N-dimethylformamide | 5.18 | 0 | 100 | 2.99 | 2.60 | 13.0 |

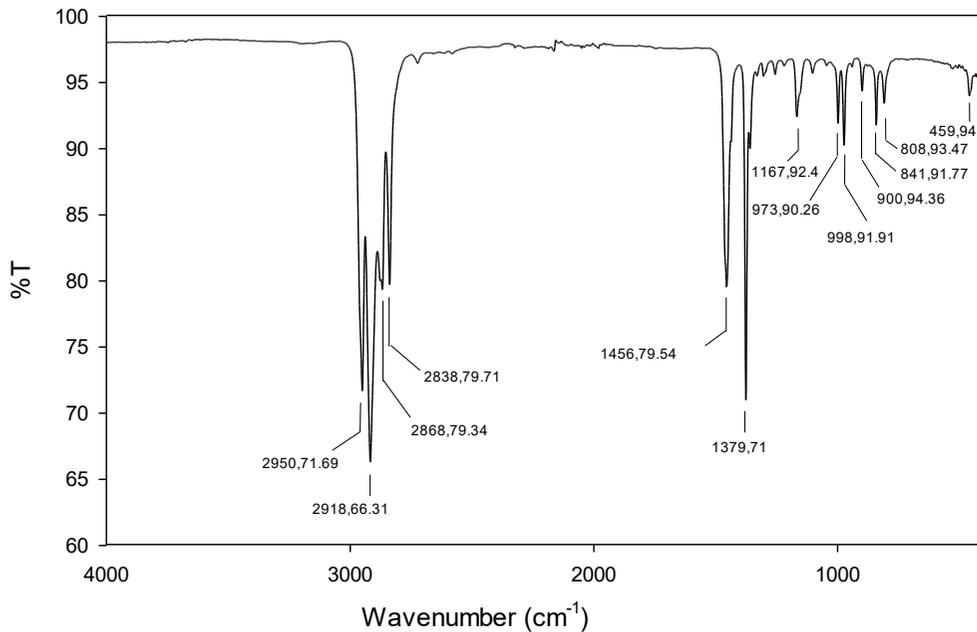
หมายเหตุ: ND = Not detected

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์ระเหยที่ถูกเติมจากกระบวนการผลิตยังคงมีอยู่และระเหยออกมา ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ระเหยออกมานั้นอาจส่งผลกระทบต่อผู้ที่สวมใส่หน้ากากอนามัย โดยเฉพาะผู้ที่สวมใส่หน้ากากอนามัยต่อเนื่องหลายชั่วโมง เพื่อดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวัน อาทิเช่น บุคลากรในสถานพยาบาล ได้แก่ โรงพยาบาล คลินิก หรือห้องผ่าตัด เป็นต้น อาจได้รับความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเข้าสู่ร่างกายขณะดำเนินกิจกรรม สารเหล่านี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายเป็นระยะเวลานานอาจมีผลทำให้จุก คอ และปวดเกิดการระคายเคือง มีอาการไอ หายใจมีเสียงหวีด หรือหายใจถี่รวมถึงสารเหล่านี้อาจเป็นต้นเหตุที่ทำให้ผู้เกิดอาการระคายเคืองผิวหนัง ผื่น แดง คัน หรืออาจก่อให้เกิดสิว [7-13]

อย่างไรก็ดี สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2424-2562 ได้มีการกำหนดลักษณะทั่วไปของหน้ากากอนามัยว่าต้องไม่มีกลิ่นผิดปกติ การทดสอบให้ทำโดยตรวจพิจารณาการกำหนดคุณลักษณะทางฟิสิกส์ ตามมาตรฐาน ASTM F2100 รวมถึงการกำหนดคุณลักษณะทางชีวภาพของหน้ากากอนามัยระดับ 3 คือหน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทางการแพทย์ในศัลยกรรม แผลบาดเจ็บขนาดใหญ่ ว่าต้องไม่ระคายเคืองผิวหนัง และไม่เกิดการแพ้ทางผิวหนัง การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก. 2395 เล่ม 10-2565 แต่ยังไม่มีการกำหนดระดับความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ปล่อยออกมาจากหน้ากากอนามัย ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้สวมใส่ อาจมีความจำเป็นต้องตรวจวัดหน้ากากอนามัยด้วยวิธีมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ ก่อนออกจำหน่าย หรือหาแนวทางเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยออกมา

3.5 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของหน้ากากอนามัย

รูปที่ 5 สเปกตรัมดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟราเรดของหน้ากากอนามัย ที่ช่วงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด 400-4000 cm^{-1} ด้วยเครื่อง FT-IR จากกราฟพบช่วงดูดกลืนรังสีประมาณ 460-2950 cm^{-1} โดยพบช่วงดูดกลืนรังสี 2950, 2918, 2868 และ 2838 cm^{-1} ที่แสดงถึงพันธะ C-H ฟังก์ชันแอลในกลุ่มแอลเคน (alkanes) ซึ่งมีความสอดคล้องกับชนิดของสารอินทรีย์ที่ปลดปล่อยออกมา งานวิจัยของ Fan et al [28] ศึกษาหมู่ฟังก์ชันแอลที่พื้นผิวของเม็ดพลาสติกโพรพิลีน (polypropylene; PP) ด้วยเครื่อง FT-IR ที่ช่วงดูดกลืนรังสี 650-4000 cm^{-1} จากการทดลองพบช่วงดูดกลืนรังสี 2958, 2916, 2868, 2837, 1456 cm^{-1} และช่วง 841-998 cm^{-1} ที่แสดงถึงพันธะ C-H ซึ่งเป็นกลุ่มฟังก์ชันแอลของกลุ่มแอลเคนบนพื้นผิวแผ่น PP



รูปที่ 5 แถบสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหน้ากากอนามัย ด้วยเครื่อง FT-IR

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัยสำหรับทางการแพทย์ และหน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทั่วไป พบการปลดปล่อยสารในกลุ่มแอลเคนออกมาเป็นหลัก เนื่องจากสารในกลุ่มนี้ถูกนำมาใช้ในการผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนสำหรับผลิตหน้ากากอนามัย นอกจากนี้ยังตรวจพบสารในกลุ่ม คีโตน อะโรมาติก และแอกอฮอล์ จากหน้ากากอนามัยบางผลิตภัณฑ์ ซึ่งคาดว่ามาจากการเติมลงไปในช่วงขั้นตอนกระบวนการผลิต มีอัตราการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยรวมอยู่ในช่วง 0.015-0.137 มก./ตร.ม.ต่อชม. หน้ากากอนามัยผลิตภัณฑ์ N4 ซึ่งเป็นตัวอย่างหน้ากากอนามัยสำหรับใช้ทั่วไป ปลดปล่อยออกมาในปริมาณสูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่น 1-9 เท่า พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยรวมจากหน้ากากอนามัยด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าจำนวนวันและชนิดของหน้ากากอนามัยไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) การฝังลมของหน้ากากอนามัยในพื้นที่โล่งนาน 3 วัน โดยประมาณ ช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยรวมที่ปลดปล่อยออกมา 2-5 เท่า ทั้งนี้หน้ากากอนามัยยังคงเป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่ใช้อย่างแพร่หลายเพื่อป้องกันตนเองจากโรคทางเดินหายใจ เช่น โควิด-19 (COVID-19) ไข้หวัดใหญ่ (influenza) ภูมิแพ้ (allergy) เป็นต้น ผู้ละอองขนาดเล็กเข้าสู่ร่างกาย หรือการสวมใส่เพื่อดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวัน อาทิเช่น บุคลากรในสถานพยาบาล ได้แก่ โรงพยาบาล คลินิก เป็นต้น ดังนั้นจึงควรมีมาตรฐานกำหนดระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยจากหน้ากากอนามัย การ

ตรวจวัดหน้ากากอนามัยด้วยวิธีมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการก่อนนำออกจำหน่าย รวมถึงการเลือกใช้วัสดุผลิตหน้ากากอนามัยที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยต่ำ (low VOCs) สำหรับผลิตหน้ากากอนามัย เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะกลุ่มเปราะบาง เช่น เด็กเล็ก คนท้อง ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น และศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

References

- [1] Division of Epidemiology, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. The situation of COVID-19 [Internet]. 2025 [cited 2025 May 30]. Available from: https://ddc.moph.go.th/uploads/ckeditor2//files/Alert_covid_04.26.2568.pdf. (In Thai)
- [2] Division of Epidemiology, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. The situation of influenza [Internet]. 2025 [cited 2025 May 30]. Available from: <https://ddc.moph.go.th/doe/pagecontent.php?page=607&dept=doe>. (In Thai)
- [3] BBC News. PM2.5: More than 10 million people in Thailand will be sick from “air pollution” in 2023 [Internet]. 2025 [cited 2025 May 30]. Available from: <https://www.bbc.com/thai/articles/c723508nx22o>. (In Thai)
- [4] Unicef Thailand. Air pollution accounted for 8.1 million deaths globally in 2021, becoming the second leading risk factor for death, including for children under five years [Internet]. 2025 [cited 2024 Oct 30]. Available from: <https://shorturl.asia/3ki60>. (In Thai)
- [5] World Health Organization. Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 5 June 2020 [Internet]. 2025 [cited 2024 Oct 30]. Available from: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/045f4cc8-f9a2-4792-b3a6-bb2e22b42ea4/content>.
- [6] Grandwang NonWoven. Non-woven production process [Internet]. 2025 [cited 2024 Oct 2]. Available from: <https://www.grandwangnonwoven.com/content/26707/Non-woven-production-process>. (In Thai)

- [7] Techasatian L, Lebsing S, Uppala R, Thaowandee W, Chaiyarit J, Supakunpinyo C, et al. The effects of the face mask on the skin underneath: A prospective survey during the COVID-19 pandemic. *Journal of Primary Care & Community Health* 2020;11. doi: 10.1177/2150132720966167.
- [8] Park S, Han J, Yeon YM, Kang NY, Kim E, Suh BF. Effects of one year of daily face mask wearing on the skin during the coronavirus disease 2019 pandemic. *Skin Research and Technology* 2022;28(5):729-39. doi: 10.1111/srt.13193.
- [9] Taleb R, Jad R, Salem R, Lababidi N, Awassa N, Atchan H, et al. The effect of frequently wearing face masks during the COVID-19 pandemic on the development of acne in adults: a crosssectional descriptive study. *BAU Journal - Health and Wellbeing* 2022;4(2):4. doi: 10.54729/MXTG6413.
- [10] Scheid JL, Lupien SP, Ford GS, West SL. Commentary: physiological and psychological impact of face mask usage during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(18):6655. doi: 10.3390/ijerph17186655.
- [11] Park S, Han J, Yeon YM, Kang NY, Kim E. Effect of face mask on skin characteristics changes during the COVID-19 pandemic. *Skin Research and Technology* 2020;27(4): 554-9.
- [12] Park S, Han J, Yeon YM, Kang NY, Kim E, SUH BF. Long-term effects of face masks on skin characteristics during the COVID-19 pandemic. *Skin Research and Technology*. 2022;28(1):153-61. doi: 10.1111/srt.13107.
- [13] Szepietowski JC, Matusiak Ł, Szepietowska M, Krajewski P, Białyński-Birula R. Face mask-induced itch: a self-questionnaire study of 2,315 responders during the COVID-19 pandemic. *Acta Dermato-Venereologica*. 2020;100(10):1-5. doi: 10.2340/00015555-3536.
- [14] Plastics Institute of Thailand. Medical face mask products [Internet]. 2025 [cited 2025 Jan 2]. Available from: <https://rmuti.me/gkGBxAQ6Q>. (In thai)
- [15] ASTM International. ASTM F2100-21. Standard specification for performance of materials used in medical face masks. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2021
- [16] European Committee for Standardization. EN 14683:2019+AC:2019. Medical face masks - requirements and test methods [Internet]. 2019 [cited 2025 Jan 30]. Available from: <http://www.shanghaijifa.com/uploadfile/file/20200318/1584515148111951.pdf>.

- [17] Chatsuvan T, Homwuttiwong S, Morris J, Ongwandee M. Volatile organic compounds from unexpected sources: fabric softener-initiated emissions. *EnvironmentAsia* 2022; 15(1):131-41. doi: 10.14456/ea.2022.12.
- [18] Vas G, Vékey K. Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. *Journal of Mass Spectrometry* 2004;39(3):233-54. doi: 10.1002/jms.606.
- [19] Goss KU, Schwarzenbach RP. Linear free energy relationships used to evaluate equilibrium partitioning of organic compounds. *Environmental Science & Technology* 2001;35(1):1-9. doi: 10.1021/es000996d.
- [20] Cabanes A, Valdés F, Fullana A. A review on VOCs from recycled plastics. *Sustainable Materials and Technologies* 2020;25:e00179. doi: 10.1016/j.susmat.2020.e00179.
- [21] National Center for Biotechnology Information. PubChem compound summary for CID 31261, Acetylacetone [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 3]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/%20%09acetylacetone>.
- [22] National Center for Biotechnology Information. PubChem compound summary for CID 1140, Toluene [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 3]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Toluene>.
- [23] Ren Y, Guan X, Peng Y, Gong A, Xie H, Chen S, et al. Characterization of VOC emissions and health risk assessment in the plastic manufacturing industry. *Journal of Environmental Management* 2024;357:120730. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120730.
- [24] Mckee RH, Adenuga MD, Carrillo JC. Characterization of the toxicological hazards of hydrocarbon solvents. *Critical Reviews in Toxicology* 2015;45(4):273-365. doi: 10.3109/10408444.2015.1016216.
- [25] Maskell D, da Silva CF, Mower K, Rana C, Dengel A, Ball RJ, et al. Properties of bio-based insulation materials and their potential impact on indoor air quality. *Academic Journal of Civil Engineering* 2015;33(2):156-63. doi: 10.26168/icbbm2015.24.
- [26] de Kort JMA, Gauvin F, Loomans MGLC, Brouwers HJH. Emission rates of bio-based building materials, a method description for qualifying and quantifying VOC emissions. *Science of the Total Environment* 2023;905:167158. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.167158.

- [27] Saengphet T, Yimprayoon C. A comparative study of TVOC and HCHO emissions from various multilayer built-in furniture components based on ISO 16000-9:2006 emission test chamber methods. *Nakhara: Journal of Environmental Design and Planning* 2022;21(1):205. doi: 10.54028/NJ202221205.
- [28] Fan C, Huang Y, Lin J, Li J. Microplastic constituent identification from admixtures by Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy: the use of polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC) and nylon (NY) as the model constituents. *Environmental Technology & Innovation* 2021;23:101798. doi: 10.1016/j.eti.2021.101798.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ทับทิม ชาดิสุวรรณ ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต ขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

Email: thabtim.ch@rmuti.ac.th



มนิรัตน์ องค์กรธรณี ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาการพัฒนาและจัดการเมือง วิทยาลัยพัฒนามหานคร อาคารนวมินทร์ 1 วิทยาลัยพัฒนามหานคร 198 ซอยสามเสน 13 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 Email: maneerat.ong@nmu.ac.th

Article History:

Received: June 17, 2025

Revised: November 22, 2025

Accepted: November 25, 2025