



รายงานการวิจัย

โครงการการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียู
ทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ

Utilization of insulation waste of PU foam as air purifier filter

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2562

ปีที่พิมพ์ พ.ศ. 2563

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 ข้อมูลโครงการ	บทที่ 1 1
1. ข้อมูลทั่วไป	บทที่ 1 1
2. หลักการและเหตุผล	บทที่ 1 1
3. วัตถุประสงค์	บทที่ 1 4
4. ขอบเขตของโครงการวิจัย	บทที่ 1 4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	บทที่ 2 1
1. การลงพื้นที่สำรวจโคมไฟยู	บทที่ 2 1
2. การทบทวนวรรณกรรม	บทที่ 2 3
3. เอกสารอ้างอิง	บทที่ 2 19
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	บทที่ 3 1
1. การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศจากเศษโคมไฟยู	บทที่ 3 1
2. การออกแบบและสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 3 28
3. เอกสารอ้างอิง	บทที่ 3 32
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย	บทที่ 4 1
1. เครื่องฟอกอากาศจากเศษโคมไฟยู	บทที่ 4 1
2. เครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 9
3. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์	บทที่ 4 22
4. เอกสารอ้างอิง	บทที่ 4 35
บทที่ 5 ผลผลิต (Output) หรือตัวชี้วัดแต่ละช่วงรายงานความก้าวหน้า	บทที่ 5 1
บทที่ 6 ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้	บทที่ 6 1

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1-1 แนวความคิดแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular economy	บทที่ 1 2
รูปที่ 2-1 เศษซากโฟมพียู พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดอุดรธานี	บทที่ 2 1
รูปที่ 2-2 การเผาเศษซากโฟมพียู พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดอุดรธานี	บทที่ 2 2
รูปที่ 2-3 เศษซากโฟมพียู พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์	บทที่ 2 2
รูปที่ 2-4 กราฟไอโซเทอมแบบแลงเมียร์	บทที่ 2 14
รูปที่ 2-5 กราฟไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช	บทที่ 2 15
รูปที่ 2-6 กระบวนการรีไซเคิลตู้เย็น	บทที่ 2 18
รูปที่ 3-1 วิธีการแยกโฟมพียูออกจากโครงตู้เย็น	บทที่ 3 2
รูปที่ 3-2 ลักษณะกายภาพเชิงประจักษ์ของ (ก) โฟมพียูที่จัดเก็บไม่ถูกแดด และ (ข) โฟมพียูที่ถูกแดดลม	บทที่ 3 2
รูปที่ 3-3 ภาพถ่ายโฟมพียูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด กำลังขยาย 50 และ 100 เท่า ของ (ก) โฟมที่เก็บในที่ร่ม และ (ข) โฟมที่ถูกแดดลม	บทที่ 3 3
รูปที่ 3-4 การแช่โฟมในน้ำ 24 ชั่วโมง	บทที่ 3 4
รูปที่ 3-5 การชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ	บทที่ 3 4
รูปที่ 3-6 สเปกตรัมการส่งผ่านแสงอินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรด ของโฟมพียูที่จัดเก็บในที่ร่ม	บทที่ 3 5
รูปที่ 3-7 โมโนเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์โฟมพียู (ก) isocyanate (ข) polyol	บทที่ 3 5
รูปที่ 3-8 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ	บทที่ 3 7
รูปที่ 3-9 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม	บทที่ 3 9
รูปที่ 3-10 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดเป็นแผ่นบาง	บทที่ 3 10
รูปที่ 3-11 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหารูปแบบไส้กรองดักจับฝุ่น (ก) รูปแบบที่ 1 โฟมตัดชิ้นสี่เหลี่ยม และ (ข) รูปแบบที่ 2 โฟมตัดแผ่นบาง	บทที่ 3 10

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3-12 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นพื้ญ	บทที่ 3 12
รูปที่ 3-13 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโคมพื้ญ	บทที่ 3 13
รูปที่ 3-14 แผ่นโคมพื้ญที่ตัดด้วยเส้นลวดให้ความร้อน	บทที่ 3 14
รูปที่ 3-15 แผ่นโคมพื้ญที่ตัดด้วยใบมีด	บทที่ 3 14
รูปที่ 3-16 เครื่องจักรตัดโคม (บริษัท ปตท. จำกัด)	บทที่ 3 15
รูปที่ 3-17 แผ่นโคมที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องจักรตัดโคม	บทที่ 3 15
รูปที่ 3-18 พิลเตอร์พัดลมทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม	บทที่ 3 16
รูปที่ 3-19 ไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญ	บทที่ 3 17
รูปที่ 3-20 รูปร่างโคมพื้ญที่บรรจุในกระบอกไส้กรอง	บทที่ 3 17
รูปที่ 3-21 พัดลมที่เลือกใช้สำหรับเครื่องฟอกอากาศไส้กรองทรงกระบอกบรรจุโคมพื้ญ	บทที่ 3 19
รูปที่ 3-22 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญ	บทที่ 3 20
รูปที่ 3-23 ภาพ 3 มิติเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญ	บทที่ 3 20
รูปที่ 3-24 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญ	บทที่ 3 21
รูปที่ 3-25 แบบร่าง 2 มิติ เครื่องฟอกอากาศทรงตู้	บทที่ 3 22
รูปที่ 3-26 เครื่องฟอกอากาศทรงตู้ที่สร้างเสร็จ	บทที่ 3 23
รูปที่ 3-27 เพรมิไส้ไส้กรองทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	บทที่ 3 24
รูปที่ 3-28 พัดลมหอยโข่ง ขนาด 250 วัตต์	บทที่ 3 24
รูปที่ 3-29 ห้องทดสอบขนาดเล็กและการติดตั้งอุปกรณ์	บทที่ 3 25
รูปที่ 3-30 ทินเนอร์ทั่วไปเกรด AAA	บทที่ 3 31

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3-31 เครื่องวัดไอสารระเหยแบบ Photo Ionized Detector	บทที่ 3 31
รูปที่ 3-32 เครื่องวัดความเร็วลมแบบ Pitot Tube	บทที่ 3 31
รูปที่ 4-1 ไอโซเทอมการดูดซับก๊าซโทลูอินด้วยสมการฟรุนดลิชของโฟมพียู	บทที่ 4 1
รูปที่ 4-2 ผลการทดสอบเครื่องฟอกไส้กรองทรงกระบอกในห้องปฏิบัติการ	บทที่ 4 4
รูปที่ 4-3 การทดสอบเครื่องฟอกไส้กรองทรงกระบอก ณ ร้านผู้ประกอบการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์	บทที่ 4 5
รูปที่ 4-4 ผลการทดสอบเครื่องฟอกไส้กรองทรงกระบอกภาคสนาม	บทที่ 4 6
รูปที่ 4-5 ผลการทดสอบเครื่องฟอกทรงตู้โดยใช้ไส้กรองโฟมก้อนในการกำจัด PM2.5	บทที่ 4 7
รูปที่ 4-6 การลงพื้นที่ถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู	บทที่ 4 8
รูปที่ 4-7 การตัดแผ่นโฟมพียู (ก) วัตถุดิบแผ่นโฟมพียู (ข) โฟมพียูที่ตัดแล้ว (ค) เลื่อยฉลุมือ	บทที่ 4 9
รูปที่ 4-8 การทดสอบการเผาไหม้แล้ว (ก) การเผาโฟมพียู (ข) ไฟเผาไหม้ดับ (ค) โฟมพียูที่เผาแล้ว (ง) ภายในโฟมพียูที่เผาแล้ว	บทที่ 4 10
รูปที่ 4-9 การทดสอบการดูดซับไอสารระเหยเบื้องต้นด้วยการดมกลิ่น	บทที่ 4 10
รูปที่ 4-10 การทดสอบหาระยะเวลาการดูดซับไอสารระเหย (Contact time)	บทที่ 4 11
รูปที่ 4-11 พัดลม (Centrifugal fan) ขนาดเล็ก	บทที่ 4 12
รูปที่ 4-12 แบตเตอรี่ (24V, 10 Amp.hr.)	บทที่ 4 12
รูปที่ 4-13 ขั้วแบตเตอรี่ที่เกิดการลัดวงจร (ไฟไหม้ขั้ว)	บทที่ 4 13
รูปที่ 4-14 แบบร่างเบื้องต้นของเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 13
รูปที่ 4-15 ส่วนประกอบภายในของเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ	บทที่ 4 14
รูปที่ 4-16 ส่วนประกอบสำหรับการติดตั้ง	บทที่ 4 14
รูปที่ 4-17 ขนาดภายนอกของเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 15

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4-18 มุมมอง Top view ของเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ	บทที่ 4 15
รูปที่ 4-19 มุมมอง Iso view ของเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ	บทที่ 4 16
รูปที่ 4-20 เครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ	บทที่ 4 16
รูปที่ 4-21 การทดสอบการลดอุณหภูมิของเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 17
รูปที่ 4-22 แก้วอัดแปลงของเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 18
รูปที่ 4-23 ถ้วยทินเนอร์	บทที่ 4 19
รูปที่ 4-24 ปริมาณไอสารระเหยก่อนเข้าเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 19
รูปที่ 4-25 ปริมาณไอสารระเหยภายในเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 20
รูปที่ 4-26 ปริมาณไอสารระเหยที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 20
รูปที่ 4-27 โฟมพียูที่นำมาใช้งานในเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 21
รูปที่ 4-28 โฟมพียูภายในเครื่องกรองไอสารระเหย (ก) การเติมไส้กรองโฟมพียูครั้งแรกที่เติมเต็มช่อง (ข) โฟมพียูเมื่อผ่านการเคลื่อนย้ายและใช้งานมาสักระยะ	บทที่ 4 22

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2-1	ประเภทและแหล่งที่มาของมลพิษอากาศในอาคาร
ตารางที่ 2-2	กลุ่มและตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย
ตารางที่ 2-3	สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ
ตารางที่ 2-4	ความสามารถในการดูดซับ (qe) สำหรับไอสารบางชนิดบนถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ขนาด 6x10 mesh
ตารางที่ 2-5	องค์ประกอบหลักของตู้เย็นขนาด 7-10.2 คิว
ตารางที่ 3-1	สมบัติการเป็นรูพรุนของโฟมพียู
ตารางที่ 3-2	สถานะของเครื่อง GC-FID ที่ใช้วิเคราะห์โทลูอิน
ตารางที่ 3-3	ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นของรูปแบบที่ 2 (โฟมตัดแผ่นบาง)
ตารางที่ 3-4	เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู
ตารางที่ 3-5	พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองแผ่นโฟมพียู
ตารางที่ 3-6	ข้อมูลสำหรับการคำนวณในการออกแบบเครื่องฟอกอากาศตามลักษณะของไส้กรองโฟมพียู
ตารางที่ 3-7	พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองโฟมพียูทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู
ตารางที่ 4-1	ความสามารถของโฟมพียูในการดูดซับก๊าซโทลูอิน
ตารางที่ 4-2	ผลของการทดสอบเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ไส้กรองโฟมพียู ด้วยห้องทดสอบ
ตารางที่ 4-3	แผนงานการสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย
ตารางที่ 4-4	สรุปการเปรียบเทียบวิธีการจัดการซากโฟมพียู
ตารางที่ 4-5	ต้นทุนค่าอุปกรณ์เครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

สารบัญตาราง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 4-6 ค่าใช้จ่ายดำเนินการเครื่องฟอกอากาศในอาคาร เพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก	บทที่ 4 31
ตารางที่ 4-7 ต้นทุนค่าอุปกรณ์เครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 32
ตารางที่ 4-8 ค่าใช้จ่ายดำเนินการเครื่องกรองไอสารระเหย	บทที่ 4 33
ตารางที่ 5-1 แผนการดำเนินของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัยการใช้ประโยชน์จากฉนวน กันความร้อนเหลือทิ้งจากโคมไฟยู ทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ	บทที่ 5 1
ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้	บทที่ 6 1
ตารางที่ 7-1 งบประมาณที่ได้ใช้จ่ายไปนับตั้งแต่เริ่มโครงการ	บทที่ 7 1

บทที่ 1

ข้อมูลโครงการ

1. ข้อมูลทั่วไป

โครงการ (ภาษาไทย) การใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียู
ทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ
(ภาษาอังกฤษ) Utilization of insulation waste of PU foam as air purifier filter

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2562 จำนวน 4,220,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 8 เดือน เริ่มทำการวิจัยเมื่อ พฤษภาคม 2562 ถึง ธันวาคม 2562

รายงานฉบับสมบูรณ์ ระหว่าง พฤษภาคม 2562 ถึง มีนาคม 2563

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล

ตำแหน่ง/สังกัด ผู้อำนวยการศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย (TAQM)

สถานที่ติดต่อ ห้อง 101 ชั้น 1 อาคารภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

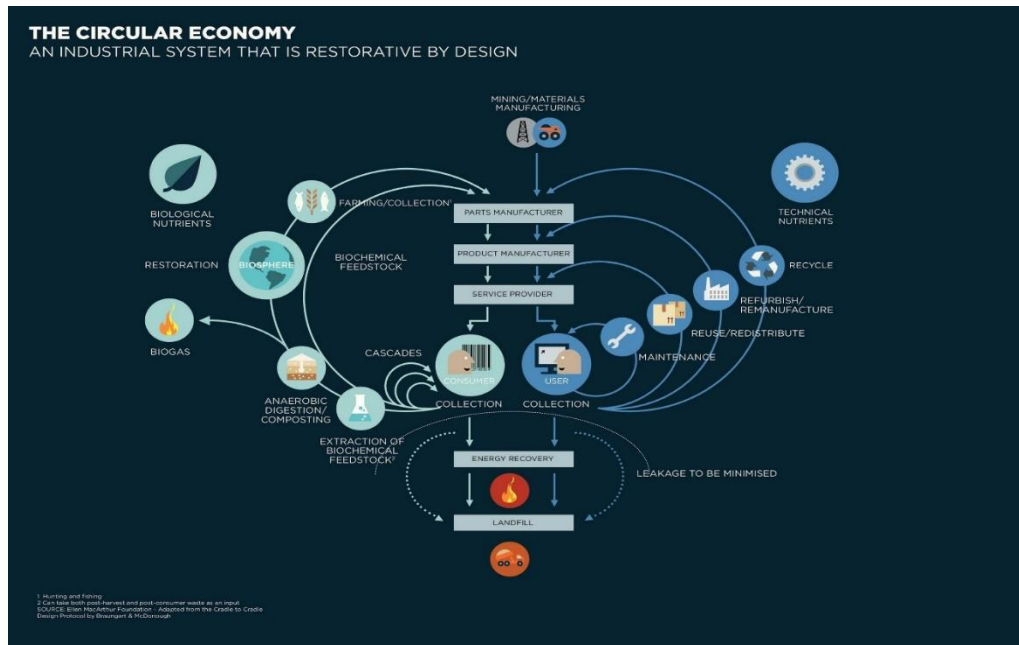
โทรศัพท์ 02 218 6667

อีเมล Sirima.P@chula.ac.th

2. หลักการและเหตุผล

แนวความคิดแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular economy หมายถึง แนวคิดเกี่ยวกับการนำทรัพยากรที่ถูกนำไปใช้แล้วให้กลับมาแปรรูปและนำกลับไปใช้ได้อีกในอนาคต เป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการใช้ทรัพยากรเกินขนาดจากการขยายตัวในอัตราที่สูงขึ้นของประชากรโลกและปัญหาการจัดการขยะ จากปัญหาดังกล่าว เมื่อปี 2558 คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission) จึงได้พิจารณาหาแนวทางในการแก้ไข โดยได้นำเสนอแนวคิด “Industry 2020 in the Circular Economy” ดังรูปที่ 1-1 ซึ่งครอบคลุมมิติเกี่ยวกับด้านการผลิตของอุตสาหกรรมในรูปแบบใหม่ การปรับพฤติกรรมของผู้บริโภค และการจัดการขยะให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งหนึ่งในแนวทางของเศรษฐกิจหมุนเวียน คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงขยะให้กลายเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยที่ทรัพยากร/วัตถุดิบบางประเภทที่ถูกใช้ไปแล้ว สามารถนำกลับมาแปรรูปและใช้เป็นวัตถุดิบขั้นต้นในกระบวนการผลิตของบางอุตสาหกรรมได้อีก คณะกรรมาธิการยุโรปจึงสนับสนุนให้มีโครงการวิจัยเกี่ยวกับการแปรรูปวัตถุดิบที่ถูกใช้แล้วมาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงให้มีการจัดตั้งตลาดในการซื้อขายวัตถุดิบ

ที่มาจากกรณีศึกษาด้วย นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบรีไซเคิลยังคงมีปัญหาในเรื่องคุณภาพ คณะกรรมการยุโรปจึงเสนอแนวทางให้มีการปรับปรุงข้อบังคับ กฎเกณฑ์ด้านคุณภาพของวัตถุดิบจากการรีไซเคิลให้เข้มงวดมากขึ้น ซึ่งรวมถึงกำหนดจำนวนครั้งที่สามารถนำวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่ และการพัฒนามาตรการควบคุมปริมาณสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในวัตถุดิบจากขั้นตอนรีไซเคิลให้เข้มงวดมากขึ้นด้วย



รูปที่ 1-1 แนวความคิดแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular economy

แนวความคิดแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular economy จะเห็นได้ว่ามีแนวความคิดมากมาย ที่พยายามนำทรัพยากรกลับมาใช้ด้วยวิธีการต่างๆ นั้น การพยายามที่จะทำให้ของเสียหรือที่เราเรียกกันว่า “ขยะ” นั้นกลับมามีชีวิตใหม่อีกครั้ง หรือ remake/re-life ก็จะเป็นอีกแนวความหนึ่งที่จะช่วยลดขยะหรือของเสียที่จะเข้าสู่วงจรการทำลายหรือการเผาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งรัฐบาลได้กำหนดวาระการจัดการขยะเป็นวาระเร่งด่วนซึ่งได้บรรจุลงในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ซึ่งมีการมองเป็นภาพรวมโดยแบ่งตามประเภทและแหล่งกำเนิดของขยะแต่ละชนิดและมีการบริหารจัดการแตกต่างกันไป กล่าวคือขยะชุมชนได้มีการกำหนดให้แปลงขยะชุมชนและขยะอุตสาหกรรมเป็นพลังงานไฟฟ้าและอื่นๆ ขยะอินทรีย์ได้มีการกำหนดให้ดำเนินการเป็นสารปรับปรุงดินหรือก๊าซเชื้อเพลิงชีวภาพ ประเด็นปัญหาด้านมลพิษอากาศในพื้นที่หลายๆ ที่ จะเกิดจากผู้คัดแยกขยะที่ย่ำแย่ที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว ที่ได้มีการรับซื้อหรือเก็บจากชุมชนมาถอดแยกชิ้นส่วน เพื่อให้ได้อะไหล่ที่ขายได้เช่นทองแดงและนำไปขายต่ออีกทอดหนึ่ง ส่วนประกอบที่ไม่มีการรับซื้อ เช่น ฉนวนกันความร้อนตู้เย็น ที่ทำมาจากโฟมพียูจะทำการแยกและกองทิ้งไว้ในพื้นที่ตนเองหรือลักลอบทิ้งในที่บุคคลอื่นหรือสาธารณะ โดยในบางครั้งอาจจะเกิดเพลิงไหม้เองหรือ

บุคคลอื่น หรือผู้ลักลอบทิ้งเองเพื่อต้องการพื้นที่ทิ้งเพิ่มเติม ซึ่งจะเป็นมลพิษทางอากาศอย่างมากและจะ
 ลุกไหม้รุนแรงเนื่องจากโม่ปูนเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี

การจัดการฉนวนกันความร้อนตู้เย็น มีวิธีการที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันคือ การแยกและกองรวมทั้ง
 การเผาที่โล่งแจ้งในเวลากลางคืน ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมา หากภาครัฐจะใช้กฎหมายที่
 เข้มงวดเข้าไปจัดการโดยไม่มีทางออกที่สร้างประโยชน์ร่วมกันระหว่างสิ่งแวดล้อมและธุรกิจให้กลุ่มคน
 ระดับปริมณีนั้น ย่อมเป็นเรื่องที่สร้างผลกระทบด้านลบทางสังคมต่อไป อีกทั้งการสั่งซื้อเครื่องจักรจาก
 ต่างประเทศเข้ามาติดตั้ง บุคคลที่ประกอบการจำต้องตั้งเป็นโรงงานรีไซเคิลที่มีกฎหมายอื่นๆ มาประกอบ
 จำนวนมาก เช่น การรับฟังชุมชนและการสร้างความยอมรับ การขออนุญาตจากหน่วยงานท้องถิ่น การขอ
 อนุญาตจากกรมโรงงาน หน่วยงานสาธารณสุข แรงงาน กรมพัฒนาธุรกิจ รวมทั้งอื่นๆ ซึ่งทั้งหมดล้วนเป็น
 อุปสรรคที่เกิดขึ้นจริง แต่เป็นกฎหมายที่ทุกคนต้องปฏิบัติตาม ดังนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือการ
 รวบรวมให้ได้ปริมาณที่มากในระดับหนึ่งและลักลอบเผาตามสถานที่ห่างไกล ซึ่งแม้จะมีการจับกุม
 ผู้ดำเนินการได้แต่ผลเสียทางด้านสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น บุคคลผู้ลักลอบเผานั้นก็ยังไม่มีความสามารถ
 ที่จะรับผิดชอบได้โดยเมื่อทำการเผาฉนวนกันความร้อนในตู้เย็นจะเป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์
 เนื่องจากลักษณะการกอง อากาศภายในจะไม่สามารถเข้าไปข้างใต้กองเชื้อเพลิงได้ ซึ่งช่วงแรกสังเกตว่าจะ
 มีควันขาวก่อนสักพักจะมีควันดำ หมายถึงช่วงแรกการเผาไหม้จะเกิดที่ด้านบนของกองฉนวนซึ่งมีอากาศ
 มากกว่าเชื้อเพลิงควันจึงเป็นสีขาว แต่หมายถึงออกไซด์ของสารประกอบต่างๆ โดยหลังจากนั้น ควันดำจะ
 มากขึ้นเพราะฉนวนที่อยู่ด้านล่างเริ่มเผาไหม้อย่างรุนแรงทำให้อากาศไม่เพียงพอกับปริมาณเชื้อเพลิงควัน
 จึงเป็นสีดำ ซึ่งการเผาไหม้ในลักษณะนี้จะเกิดก๊าซต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือผลกระทบด้านอื่น
 รวมทั้งก่อให้เกิด PM2.5 ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากในปัจจุบัน และอีกเหตุผลประการหนึ่งที่บุคคล
 ประกอบการในท้องถิ่นไม่สามารถกำจัดฉนวนกันความร้อนอย่างเหมาะสมได้ เนื่องจากต้องจ้าง
 ผู้ประกอบการขนาดใหญ่ นำไปเตรียมสภาพที่เหมาะสมในการเป็นเชื้อเพลิงร่วม หมายความว่าบุคคลที่
 ประกอบการคัดแยกต้องเป็นผู้ชำระเงินให้จำนวนมากกว่าราคาของเศษที่แยกออกจากตู้เย็น ดังนั้นในเชิง
 ของเศรษฐศาสตร์จึงเป็นไปได้ยากที่จะประกอบกิจการที่ขาดทุน

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อมุ่งหากระบวนการพัฒนาปรับปรุงการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความ
 ร้อนตู้เย็นไปใช้งานที่สามารถก่อให้เกิดความต้องการต่อเนื่อง และการจัดการกากที่เหลือได้อย่างเหมาะสม
 โดยใช้เครื่องมือและ/หรืออุปกรณ์ในท้องถิ่น ที่สามารถติดตั้งซ่อมและสร้างได้เองในพื้นที่ (Engineering
 Simplification) ที่สามารถหลีกเลี่ยงที่จะไม่ใช้วิธีการเผาแบบเดิมได้ เพื่อที่จะเป็นทางออกให้แก่บุคคล ที่
 ประกอบสามารถดำเนินการได้ภายใต้การดำเนินการที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศต่อไป

3. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลัก

- เพื่อศึกษาวิธีการนำ โคมพื้ญ มาดัดแปลงเป็นตัวกรองสำหรับกรองอากาศ
- เพื่อศึกษาวิธีการ ออกแบบ เครื่องกรองอากาศจาก โคมพื้ญ

วัตถุประสงค์รอง

- เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้งานวิจัยสู่สถานประกอบการหรือหน่วยงานราชการที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงด้านคุณภาพอากาศและประชาชนผู้สนใจ

4. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- โคมพื้ญที่ใช้งานวิจัยได้จากเศษโคมเหลือทิ้ง
- มลพิษที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดใหญ่
- กระบวนการที่ศึกษาต้องอยู่ภายใต้ไม่มีมลพิษเพิ่มเติม

บทที่ 2

การลงพื้นที่สำรวจโฟมพียู และการทบทวนวรรณกรรม

จากสถานการณ์ในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยในปัจจุบัน มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยรอบพื้นที่ดังกล่าว เพื่อลดปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้น โครงการฯ นี้จึงเสนอแนวทางการจัดการที่สอดคล้องกับภาคปฏิบัติให้แก่ผู้ประกอบการ ได้แก่ การสร้างเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู และเครื่องกรองไอสารระเหย ซึ่งเครื่องต้นแบบเหล่านี้จะนำไปใช้ทดสอบในสถานที่ใช้งานจริง และมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทั้งในทฤษฎีและทางปฏิบัติ โดยมีรายละเอียดข้อมูลการลงพื้นที่สำรวจโฟมพียู และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. การลงพื้นที่สำรวจโฟมพียู

การสำรวจฉนวนกันความร้อนหรือโฟมพียูได้ดำเนินการลงพื้นที่ ณ พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดอุดรธานี พบว่าเศษซากโฟมพียูเกิดจากการคัดแยกซากตู้เย็น ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถนำไปขายได้ ดังรูปที่ 2-1 ปริมาณของเศษซากโฟมพียูที่คัดแยกได้โดยเฉลี่ยมีประมาณ 103 กิโลกรัมต่อเดือน



รูปที่ 2-1 เศษซากโฟมพียู พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดอุดรธานี

จากการสอบถามสถานประกอบการคัดแยก จำนวน 9 ราย และสถานประกอบการรับซื้อจำนวน 3 ราย พบว่า

- สถานประกอบการคัดแยกนำวัสดุเข้ามาเพื่อคัดแยกเฉลี่ย 17 ครั้งต่อเดือน
- สถานประกอบการคัดแยกนำตู้เย็น/ตู้แช่เย็นเข้ามาเพื่อคัดแยก เฉลี่ย 44 เครื่องต่อเดือน

- เครื่องมือที่ใช้ในการคัดแยกเป็นเครื่องมือพื้นฐาน เช่น ค้อน ไขควง กรรไกร คีม สว่าน แฉก มีสถานประกอบการเพียง 1 ราย ในการใช้แม่แรงไฮดรอลิคเพื่อช่วยทุ่นแรง
- สถานประกอบการ 8 ใน 9 รายนำโฟมพียูที่ได้จากการคัดแยกไปเผา เนื่องจากไม่มีทางวิธีการอื่นที่ดีกว่า ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 การเผาเศษซากโฟมพียู พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

สำหรับการลงพื้นที่ในตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นเพียงการลงพื้นที่เพื่อเก็บรวบรวมเศษซากโฟมพียูมาทำการทดลองเท่านั้น ซึ่งจากการสอบถามเบื้องต้นพบว่า ซากโครงตู้เย็นสามารถนำไปขายต่อได้ ขณะที่โฟมพียูจัดการโดยนำไปทิ้งร่วมกับขยะชุมชน ตัวอย่างโฟมพียูแสดงดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 เศษซากโฟมพียู พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 มลพิษอากาศในอาคาร

2.1.1 แหล่งกำเนิดมลพิษในอาคาร

ประเภทและแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ สภาวะการที่อากาศภายในอาคารมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณและระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมภายในบริเวณนั้น เช่น สิ่งมีชีวิต (Biological) ยาฆ่าแมลง (Pesticides) ก๊าซ (Gases) โลหะ (Metals) แร่ธาตุ (Minerals) ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ประเภทและแหล่งที่มาของมลพิษอากาศในอาคาร

ประเภท	แหล่งกำเนิด
1 ก๊าซอินทรีย์จากการเผาไหม้ . (Combustion-generated inorganic gases (ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์)COและออกไซด์ของไนโตรเจน () ต่างๆ NO_x ที่สำคัญ (คือ ไนตริกออกไซด์)NO (และไนโตรเจนไดออกไซด์) NO_2 (	การหุงต้มการจ ,การผิงไฟ , การสูบบุหรี่ ,การจุดธูป ,ตะเกียง
2) อนุภาคขนาดเล็ก .Particulate matterโดยทั่วไปกำหนดให้มี () ไดนามิก-ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแอโรAerodynamic diameter เล็กกว่า (10 ไมครอน และขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ลักษณะของจุดกำเนิด ได้แก่ อนุภาคปฐมภูมิ)Primary particles) และอนุภาคทุติยภูมิ (Secondary particles(	เตาประกอบอาหารโดยเฉพาะเตาที่ใช้เชื้อเพลิงของแข็ง)Solid fuels(, การสูบบุหรี่การจุดเทียน , ไอเสียยานพาหนะ ,
3. ควันบุหรี่จากสิ่งแวดล้อม)Environmental tobacco smoke, ETS) ได้แก่ ควันบุหรี่กระแสหลัก (Mainstream cigarette smoke) และควันบุหรี่กระแสรอง (Sidestream cigarette smoke(	การสูบบุหรี่
4 โอโซนและมลพิษที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับโอโซน .)Ozone and ozone initiated pollutants(	เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิต)Electrostatic precipitator(, เครื่องฟอกอากาศแบบสร้างอิออน)Ionizer(, เครื่องผลิตก๊าซโอโซน)Ozone generator(

ที่มา: มณีรัตน์ องค์กรวรรณี, 2556

2.1.2 ประเภทมลพิษอากาศในอาคาร

1) มลพิษจากการเผาไหม้ (Combustion products) ได้แก่ การเตรียมอาหาร การจตุรูบเทียน และการสูบบุหรี่ ในควันบุหรี่ประกอบด้วยสารเคมีมากกว่า 3,800 ชนิด สารเคมีที่พบมากและเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide) อนุภาคแขวนลอยและสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น นิโคติน (Nicotine) ฟอรั่มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เบนซีน (Benzene) ไนโตรซามีน (Nitrosamine) และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon) ทั้งหมดนี้ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่างๆ เช่น แสบตา แสบจมูก หรือไอ เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ และมะเร็งปอด แท้งและคลอดบุตรก่อนกำหนด ทำให้เกิดโรกระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้นในเด็ก เช่น ปอดอักเสบ หลอดลมอักเสบ โรคหืด การเจริญเติบโตของปอดช้าลงและโรคสำรน้ำในช่องหูส่วนกลาง เป็นต้น

2) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) หมายถึง กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย กระจายตัวไปในอากาศได้ในอุณหภูมิและความดันปกติ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของสาร ได้แก่ อะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ออกซิเจน ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรมีนด์ ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 2 ถึง 12 อะตอม สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศ เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งเกิดจากการปลดปล่อยออกมาจากการประกอบกิจการของภาคอุตสาหกรรมการผลิตตัวทำละลายที่มี VOCs เป็นองค์ประกอบ การขนถ่ายและการจัดเก็บ การขับขี่ยานพาหนะ แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ VOCs คือ รถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งกำจัดขยะ ดังนั้น VOCs จึงมีมากตามเมืองใหญ่ๆ ตัวอย่าง เช่น เบนซีน โทลูอิน ไซลีน สไตรีน ฟอรั่มัลดีไฮด์ เปอร์คลอโรเอทิลีน เป็นต้น นอกจากนี้ VOCs อาจถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เช่นเดียวกัน เช่น อุตสาหกรรมสี เป็นต้น ยกตัวอย่าง VOCs ได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 กลุ่มและตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย

กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย	ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย
1กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีคลอรีนเป็น .) องค์ประกอบNon-chlorinated VOCsได้แก่ (กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนใน โมเลกุล	กลุ่มสาร - Aliphatic Hydrocarbons เช่น Fuel oils, Industrial Solvents, Propane, 1,3-Butadiene, Gasoline, Hexane กลุ่มสาร - Alcohols, Aldehyde, Ketone เช่น Ethyl Alcohol, Methyl Alcohol, Formaldehyde

ตารางที่ 2-2 กลุ่มและตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย (ต่อ)

กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย	ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย
1กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ Non-chlorinated VOCs ได้แก่ (กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล (ต่อ)	กลุ่มสาร -Aromatic Hydrocarbons เช่น Toluene, Xylene, Benzene, Naphthalene, Styrene, Phenol
2. กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ)Chlorinated VOCs ได้แก่ กลุ่ม (ไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรม สาร Chlorinated VOCs นี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่มแรก	-Bromoform -Bromomethane -Carbon tetrachloride -Chlorodibromomethane -Chloroethane -Chloroform -Chloromethane -Chloropropane -Cis-1, 2-dichloroethylene -Cis-1, 3-dichloropropane -Dibromochloropropane -Dibromomethane -Dichlorobromomethane -Dichloromethane)DCM(-Ethylene dibromide -Fluorotrichloromethane)Freon 11(-Glycerol trichlorohydrin

ที่มา: กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (กองความปลอดภัยแรงงาน), 2562

2.1.3 สารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในอาคารและผลกระทบต่อสุขภาพ

1) เบนซีน (Benzene) เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจากผงชักฟอก พลาสติก ยาฆ่าแมลง สีย้อมผ้า และหมึกพิมพ์ เป็นต้น อันตรายจากการได้รับเบนซีนจะมีอาการง่วงเหงาหาวนอน ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะและทำให้หมดสติได้ การสัมผัสของเหลวหรือไอเบนซีนที่ความเข้มข้นต่ำจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่ตาหรือผิวหนัง มีอาการหายใจติดขัด เป็นผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน มีอาการบวมพอง ผิวหนังแห้งและ

ตกสะเก็ด การสูดดมที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจอย่างรุนแรง หายใจติดขัด ระบบหายใจล้มเหลว และเสียชีวิตได้

2) โทลูอิน (Toluene) หรือฟีนิลมีเทน เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจาก น้ำหอม เครื่องสำอาง ยาฆ่าแมลง สีทาบ้าน สีสเปรย์ สีย้อม น้ำมันขัดเงา เป็นต้น อันตรายจากการได้รับโทลูอินในความเข้มข้น 50-100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะไม่สังเกตเห็นความผิดปกติหลังการสัมผัส แต่ในบางรายอาจเกิดอาการร่างกายเหนื่อยล้าอ่อนเพลียได้ง่าย ความเข้มข้น 200 ppm ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง เกิดอาการเหนื่อยล้าและความคิดสับสน ความเข้มข้น 300 ppm ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง เกิดอาการเหนื่อยล้า เกิดการชาที่ผิวหนัง นอนไม่หลับ กระวนกระวาย ความเข้มข้น 400 ppm ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง เกิดอาการเช่นเดียวกับความเข้มข้น 300 ppm แต่อาการจะแสดงนานขึ้นความเข้มข้น 600 ppm ในระยะเวลา 3 ชั่วโมง เกิดอาการเช่นเดียวกับความเข้มข้น 300 ppm ระยะแสดงอาการนานขึ้นสับสน ความเข้มข้น 800 ppm ในระยะอันสั้นมีอาการมึนงง สับสน เหนื่อยล้า และแสดงอาการนาน เวียนศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน บางรายอาจหมดสติ ความเข้มข้นมากกว่า 800 ppm ในระยะอันสั้นเกิดอาการเช่นเดียวกับความเข้มข้น 800 ppm บางรายอาจเกิดอาการโลหิตจางและตับโต

3) ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจากกาว (วิทยาศาสตร์) ผ้าเปดานสำเร็จรูป ผ้าใยสังเคราะห์ เตาก๊าซหุงต้ม สีทาบ้าน น้ำยาเคลือบเงาไม้ วัสดุบุผิว เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น อันตรายจากการได้รับฟอรัลดีไฮด์ หากสูดดมไอระเหยของสารฟอรัลดีไฮด์ ถ้าเกิน 0.1 ppm จะทำให้เกิดอาการเฉียบพลัน คือ แสบตาและระคายเคืองในทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการอักเสบ มีอาการไอ แน่นหน้าอก หอบคล้ายเป็นหืด อาจถึงขั้นเป็นปอดอักเสบหรือปอดบวมน้ำเย็บพลัน ถ้ามีการสูดดมไอระเหยของสารฟอรัลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้นสูงมากๆ ตั้งแต่ 100 ppm ขึ้นไปอาจทำให้ตายได้ หากมีการสัมผัสถูกสารละลายโดยตรงทางผิวหนังจะทำให้เกิดผิวหนังอักเสบเกิดอาการคันทันที เมื่อมีการสูดดมไอระเหยของสารฟอรัลดีไฮด์เป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดการสะสมในร่างกายก่อให้เกิดโรคมะเร็งต่างๆ ได้ เช่น โรคมะเร็งโพรงจมูก โรคมะเร็งคอหอยส่วนจมูก

4) เปอร์คลอโรเอทธิลีน (Perchloroethylene) เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจากน้ำยาซักแห้ง น้ำยาล้างคราบ หมึกพิมพ์ กาว น้ำยาล้างสี เป็นต้น อันตรายจากการได้รับเปอร์คลอโรเอทธิลีน หากสูดดมหายใจหรือกินเข้าไป ในระยะแรกจะทำให้เกิดอาการเคลิ้มสุข คลื่นไส้ วิงเวียน ต่อมาเกิดปวดศีรษะ กระสับกระส่าย สับสน ชัก โคม่าและหยุดหายใจได้ ภาวะหัวใจเต้นเร็ว ผิดจังหวะ และความดันโลหิตต่ำอาจเกิดได้ การสูดดมหายใจเข้าไปมากๆ จะทำให้ระคายเคืองทางเดินหายใจ ไอ หายใจเร็ว แน่นหน้าอก หอบเหนื่อย

2.2 มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศในอาคารที่ยอมรับได้

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทยและวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้จัดทำมาตรฐานระบบปรับอากาศและความปลอดภัยในอาคาร โดยมีจุดประสงค์คือ “การกำหนดอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำและคุณภาพภายในอาคารที่อยู่อาศัยยอมรับได้และมุ่งเน้นที่จะลดสิ่งที่จะก่อให้เกิด

ผลกระทบที่ไม่ดีต่อสุขภาพลงให้เหลือน้อยที่สุด" (สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, 2545) วิธีเลือกเพื่อให้ได้ซึ่งคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้ออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีกำหนดอัตราการระบายอากาศ และวิธีกำหนดคุณภาพอากาศในอาคารซึ่งวิธีหลังได้มีการกำหนดเกณฑ์แนะนำสำหรับควบคุมมลพิษอากาศในอาคารไว้ด้วยวิธีการควบคุมคุณภาพของอากาศภายในตัวอาคารใช้หลักการประเมินคุณภาพอากาศทั้งเชิงปริมาณและการใช้ดุลยพินิจส่วนบุคคล

2.2.1 การประเมินคุณภาพอากาศเชิงปริมาณ

ในมาตรฐานได้ระบุความเข้มข้นที่ยอมรับได้ของมลพิษชนิดต่างๆ สำหรับอากาศภายนอกอาคาร ซึ่งสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทยได้อ้างอิงตามองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกาโดยกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับมลพิษ 6 ประเภทตามระยะเวลาสัมผัส ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อนุภาค (PM₁₀) คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกซิเจนต์ (โอโซน) ไนโตรเจนไดออกไซด์ และตะกั่ว ซึ่งค่าที่กำหนดสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์สำหรับมลพิษอากาศในอาคารได้ด้วยตามระยะเวลาที่คนอาศัยได้รับสัมผัสมลพิษ นอกจากนี้ยังมีมลพิษอากาศประเภทสารชีวภาพจากการขับถ่ายของคนที่อยู่ในอาคาร (Bioeffluents) เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และมลพิษอื่นๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมระดับมลพิษสารชีวภาพนี้ภายในอาคาร จึงได้กำหนดเกณฑ์ควบคุมจากความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากคน ภายในอาคารไม่ให้มีค่ามากกว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคารเกิน 700 ppm แต่ในทางปฏิบัติยังต้องคำนึงถึงระดับมลพิษอื่นๆ ในอากาศภายในอาคารด้วย

2.2.2 การประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ดุลยพินิจ

เนื่องจากมลพิษอากาศในอาคารอาจก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์หรือสร้างความระคายเคืองต่อบุคคลแต่ละคนด้วยระดับความเข้มข้นไม่เท่ากัน และความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแต่ละบุคคลก็อาจแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นการกำหนดเกณฑ์ควบคุมระดับมลพิษจึงจำเป็นต้องประเมินจากกลุ่มคนจำนวนหลายคน เช่น การทดสอบหาค่าจุดเริ่มต้นขอบเขตของการได้กลิ่นอาจต้องใช้กลุ่มคนทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนมาแล้วในมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ

2.3 การทำความสะอาดอากาศในอาคาร (Air cleaning)

การได้รับสัมผัสมลพิษอากาศในอาคารสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะสบายของผู้อยู่อาศัย (Comfort Problems) และผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น กลุ่มอาการป่วยเหตุอาคาร (SBS) เช่น ปวดศีรษะ วิงเวียน คัดจมูก คอแห้ง ระคายเคือง รู้สึกลอยใจไม่ค่อยออก เป็นต้น วิธีการลดความเสี่ยงต่อการได้รับมลพิษอากาศในอาคารมี ดังนี้

2.3.1 การปลูกต้นไม้ในบริเวณอาคาร

1) ว่านหางจระเข้ นอกจากจะเป็นพืชที่คนนิยมนำมารักษาแผล บำรุงผิวและผมแล้ว ยังมีคุณสมบัติช่วยดูดซับสารพิษจำพวกฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการระคายเคืองต่อผิวหนังและดวงตา ปวดศีรษะ ไปจนถึงโรคหอบหืด

2) ลิ้นมังกร เป็นไม้ประดับมงคลยอดนิยม ซึ่งคนไทยนิยมปลูกกันมาก พืชชนิดนี้ปลูกง่าย ทนทาน ไม่ต้องการน้ำมาก ขยายพันธุ์โดยการตอนกิ่งหรือปักชำ และยังช่วยดูดสารพิษเบนซีนในอากาศ ช่วยฟอกอากาศได้ดีอีกด้วย

3) บอสตันเฟิร์น เป็นพืชที่ต้องการน้ำมากอยู่ในที่แสงแดดไม่จัดมากนักิยมนำมาปลูกเป็นไม้ประดับ ทั้งในและนอกอาคารสามารถดูดสารพิษได้มาก โดยเฉพาะสารจำพวกฟอร์มาลดีไฮด์ และยังช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นในอากาศภายในอาคารได้เป็นอย่างดี

4) เบญจมาศ พืชชนิดนี้เติบโตได้ดีในที่แดดจัด หรือกึ่งแดดจึงควรวางไว้ในหน้าต่าง ริมระเบียง เป็นพืชที่ต้องการน้ำมากและมีคุณสมบัติดูดสารพิษในอาคารจำพวกฟอร์มาลดีไฮด์ เบนซีน และแอมโมเนีย ได้อีกด้วย

5) กุหลาบพันปี เป็นไม้ต้นขนาดเล็กกิ่งพุ่ม มีลักษณะลำต้นและกิ่งคดงอ ใบหนา รูปหอกกลับ มีเกล็ดและมีขนปกคลุมอยู่บริเวณด้านหลังใบ ส่วนดอกออกเป็นช่อสีเหลืองแดง ส่วนมากจะพบอยู่บนที่สูง เนื่องจากชอบอากาศหนาวเย็น ซึ่งจุดเด่นของกุหลาบพันปีจะอยู่ที่ความสามารถในการดูดซับกลิ่นต่างๆ ภายในบ้านได้ เช่น กลิ่นเหม็นจากเฟอร์นิเจอร์ไม้อัด ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากโฟม และพลาสติก

2.3.2 เครื่องฟอกอากาศ

1) เครื่องฟอกอากาศแบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถที่จะกรองมลพิษ ด้านเชื้อแบคทีเรีย กรองควัน บุหรี่ และช่วยกรองกลิ่นเหม็นต่างๆ แต่ไม่สามารถที่จะฆ่าเชื้อโรคหรือกำจัดสารเคมีบางอย่างออกไปได้ หากแต่สร้างอากาศที่สะอาดเพียงพอรอบๆ วนเวียนไปทั่วห้อง โดยใช้ตัวกรองอิเล็กทรอนิกส์เมื่อแผ่นกรองเต็ม ก็จะต้องทิ้งและเปลี่ยนอันใหม่ไปแทนที่ เหมาะสำหรับบ้านที่เริ่มลองใช้งานเครื่องฟอกอากาศหรือบ้านที่ต้องการอากาศสะอาดแบบมาตรฐาน ยกตัวอย่างเช่น

- เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิต เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงสำหรับการกรองทำความสะอาดโดยรอบ โดยสามารถติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศเดิมที่มีอยู่แล้วได้ ทำงานโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าจับอนุภาคของฝุ่นและสิ่งสกปรกให้ไปติดที่แผ่นกรองภายใน และตัวกรองก็มีระบบทำความสะอาดตัวเองอีกด้วย จึงเป็นการทำงานที่ซับซ้อน จำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านไฟฟ้ามาติดตั้ง เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิตนี้เหมาะสำหรับการกรองมลพิษ กลิ่น เชื้อรา เชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อจุลินทรีย์

- เครื่องฟอกอากาศแบบไอออนิก การทำงานคล้ายกับไฟฟ้าสถิตแต่สามารถกำจัดมลพิษออกจากอากาศได้ เครื่องฟอกอากาศประเภทนี้จึงใช้ได้ดีสำหรับการดึงเอาฝุ่นละอองออกจากอากาศและมลพิษอื่นๆ นอกจากนี้มันยังสามารถกรองเอากลิ่นเหม็นออกไปได้ด้วย ทั้งควันบุหรี่ เกสรดอกไม้ หรือเชื้อไวรัส ด้วยเหตุนี้ หลายคนจึงตัดสินใจเลือกเครื่องฟอกอากาศประเภทนี้ใช้ภายในบ้าน เพราะไม่เพียงแต่ให้อากาศที่สดชื่นแล้วยังป้องกันกลิ่นได้ด้วย

2) เครื่องฟอกอากาศแบบใช้หลักทางกล ยกตัวอย่างเช่น

- เครื่องดักจับฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กแบบใช้ตัวกรองทางกล เครื่องฟอกอากาศประเภทนี้ได้รับความนิยมจากประชาชนมากที่สุด หลักการทำงานของเครื่องประยุกต์มาจากเครื่องดักอนุภาคฝุ่นในไอเสียของโรงงานอุตสาหกรรม สิ่งที่แตกต่างกันคือความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นในไอเสียอุตสาหกรรมมีค่าสูงถึง 200-40,000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่ในบ้านเรือนโดยทั่วไปตรวจพบที่ระดับไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) Godish, 1989 เครื่องฟอกอากาศประเภทนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ () ที่สำคัญ คือ ตัวกลางที่ผลิตจากเส้นใยFibersขนาดเล็กมาก (
- เครื่องฟอกอากาศไส้กรองประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Particulate Air: HEPA Filters) สำหรับการกรองอากาศให้สะอาด สามารถลบอนุภาคของกัมมันตรังสีจากอากาศได้ นิยมใช้กันแพร่หลายในบ้าน และอาคารพาณิชย์ มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดได้มากกว่าร้อยละ 99 จากมลพิษทั้งหมดในอากาศ กรองฝุ่นเชื้อรา แบคทีเรีย เกสร ฝุ่นละอองของสัตว์ และควันบุหรี่ เครื่องฟอกอากาศชนิดนี้จึงเหมาะสมสำหรับบ้านที่มีผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดหรือภูมิแพ้

2.4 การดูดติดผิวหรือการดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวและระหว่างผิวหน้า)Interfaceกระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ)Adsorbate(ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ)Adsorbent(

2.4.1 ลักษณะของการดูดซับ

ลักษณะของการดูดซับ เป็นปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับ ซึ่งพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์)Van der Waals forces(จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption แต่ถ้าแรงยึด (เหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ เรียกว่า การดูดซับทางเคมี)Chemical adsorption(

1) การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์) Vander Waals forces (ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย)London dispersion force(และแรงไฟฟ้าสถิต)Electrostatic force(การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วยสารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น)multilayerหรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2) การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้นโดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล (kJ/mol) หมายความว่ากำการจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ Irreversible (และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว)monolayerเท่านั้น ซึ่ง (งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับทางเคมี	การดูดซับทางกายภาพ
-ค่าความร้อนของการดูดซับ 50-400 kJ/mol	ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า
-เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง	เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
-ไม่เกิดการผันกลับ	เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่
-เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว	เกิดการดูดซับหลายชั้น
-แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดที่แข็งแรง (เกิดพันธะเคมี)	แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อนๆ (แรงแวนเดอร์วาลส์)

2.4.2 สารดูดซับมลพิษอากาศ

สารดูดซับส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) สารดูดความชื้น หรือซิลิกาเจล (Silica gel) อะลูมินาออกไซด์ (Alumina oxide หรือ Activated alumina) และ ซีโอไลต์ (Zeolites) สารดูดซับมีคุณสมบัติในการดูดซับ ขึ้นกับธรรมชาติของสารที่นำมาผลิตและขั้นตอนการผลิต

คุณสมบัตินี้รวมถึงพื้นที่ผิวของสารดูดซับ รูปร่างและขนาดของช่องว่าง ปริมาตรของช่องว่าง คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการดูดซับของสารดูดซับคือ ประจุไฟฟ้าที่ผิวสัมผัส ถ้าสารดูดซับมีประจุไฟฟ้าจะทำให้ไอออนสามารถเกาะและรบกวนกระบวนการดูดซับสารอินทรีย์ระเหย เนื่องด้วยความชื้นพบได้ทั่วไปในอากาศ ดังนั้นการใช้สารดูดซับที่มีประจุที่ผิวจึงมักใช้ไม่ได้ผลสำหรับระบบการควบคุมมลพิษอากาศ ในส่วนของ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นสารดูดซับที่ไม่มีประจุจึงไม่ถูกรบกวนโดยไอออน ที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 50 ปริมาณโมเลกุลของน้ำจะเพิ่มขึ้นและเริ่มแข่งกับโมเลกุลสารถูกดูดซับ ในกระบวนการดูดซับ การลดลงของความสามารถและประสิทธิภาพของระบบการดูดซับดังกล่าวนี้ อาจจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเอาความชื้นออก หรือเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์

1) ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) อาจทำขึ้นจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนหลายชนิด เช่น ไม้ ถ่านหิน และ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม คำว่า “Activated” ใช้กับสารดูดซับที่ได้รับการเพิ่มพื้นที่ผิวทั้งภายใน และ ภายนอก โดยกระบวนการกระตุ้น (Activate) ซึ่งก็คือการให้ความร้อน และอัดด้วยความดันสูง ในที่ไม่มีออกซิเจนทำให้สารที่สะสมอยู่ในช่องว่างระเหยออกไปจากผิววัตถุ ถ่านกัมมันต์ใช้ในกระบวนการดูดซับสำหรับสารมลพิษที่อยู่ในรูปก๊าซหรือไอ อาจผลิตเป็นรูปเม็ด โดยปกติขนาดอยู่ระหว่าง 4x6 ถึง 4x10 mesh ความหนาแน่นของก้อนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 80 ถึง 480 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวของคาร์บอนอยู่ในช่วงระหว่าง 6x10⁵ ถึง 16x10⁵ ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตัวเลขดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการดูดซับซึ่งประมาณได้เท่ากับ 2 ถึง 5 เท่าของพื้นที่สนามฟุตบอล ต่อ 1 กรัมของคาร์บอน

2) ความจุในการดูดซับของสารดูดซับ การดูดซับเกิดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอน ในขั้นแรกเกิดการแพร่กระจายของโมเลกุลของก๊าซและไอเข้าสู่ผิวนอกของสารดูดซับ ในขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของมลสารจะเคลื่อนที่จากพื้นที่เล็กๆ ของผิวนอก ไปยังโพรงช่องว่างภายในของสารดูดซับ การดูดซับเกิดขึ้นเมื่อมีความเหมาะสมระหว่างรูปร่างของโมเลกุลของสารถูกดูดซับและลักษณะของพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ขั้นตอนที่ 3 โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะเกาะติดที่ผิวในโพรงช่องว่าง โดยปกติทั่วไปข้อมูลที่แสดงถึงความจุในการดูดซับของสารดูดซับคือ ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) ซึ่งหมายถึงเส้นกราฟแสดงความสามารถของสารดูดซับกับความเข้มข้นที่วัดในรูปความดันย่อยของสารถูกดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่ง ความจุของสารดูดซับปกติแสดงอยู่ในรูป ร้อยละโดยน้ำหนักหรือเป็นกรัมของไอสารถูกดูดซับต่อ 100 กรัมของสารดูดซับ วิธีการอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในการอธิบายการดูดซับ คือ Langmuir Isotherm (Weber และคณะ, 1996) และอีกทฤษฎีหนึ่งคือ Polanyi Potential Theory ซึ่งทำนายความสามารถในการดูดซับของสารบางชนิดในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ความสามารถในการดูดซับ (qe) สำหรับไอสารบางชนิดบนถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ขนาด 6x10 mesh

VOCs	Liquid density, ρ_L (g/cm ³)	qe (kg pollutant/kg carbon)
Acetamide	1.159	0.494
Acrylonitrile	0.806	0.357
Benzene	0.8761	0.409
Carbon tetrachloride	1.5881	0.741
Chloroform	1.4832	0.688
Bis(Chloromethyl) ether	1.315	0.608
Chloromethyl methyl ether	1.0605	0.48
1,2-Dibromo-3-chloropropane	2.09311	0.992
chloropropane	2.0555	0.962
1,1-Dibromoethane	2.1792	1.02
1,2-Dibromoethane	1.2492	0.575
1,2-Dichloroethane	1.1157	0.51
Diepoxy butane (meso)	0.791	0.359
1,1-Dimethyl hydrazine	0.8274	0.375
1,2-Dimethyl hydrazine	1.332	0.615
Dimethyl sulfate	1.0333	0.475
p-Dioxane	0.8321	0.354
Ethylenimine	1.0083	0.38
Ethylenimine	1.2943	0.595
Hydrazine	1.229	0.585
Methyl methane sulfonate	1.0614	0.506
1-Naphthylamine	0.9422	0.442
2-Naphthylamine	1.0059	0.458
N-Nitrosodiethylamine	1.133	0.534

ตารางที่ 2-4 ความสามารถในการดูดซับ (qe) สำหรับไอสารบางชนิดบนถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ขนาด 6x10 mesh (ต่อ)

VOCs	Liquid density, ρ_L (g/cm ³)	qe (kg pollutant/kg carbon)
N-Nitrosodimethylamine	1.0631	0.501
N-Nitroso-Nmethylurethane	0.9163	0.434
N-Nitrosopiperidine	1.3931	0.646
N-Nitrosopropylamine	1.146	0.508
1,3-Propane sultone	0.802	0.361
β -Propiolactone	1.096	0.522
Propylenimine	0.9862	0.456
Safrole	0.9114	0.404

ที่มา :Jones and Sansone, 1981

2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ

ไอโซเทอมของการดูดซับ) Adsorption isotherm (อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับ) Adsorbate ที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิว (ของแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ

2.5.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์)Langmuir isotherm(

ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว)Monolayer adsorption(โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน โดยในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้ สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่ายๆ แบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง ในขณะที่สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น การดูดซับแบบแลงเมียร์เขียนได้ดังสมการที่ 2-1

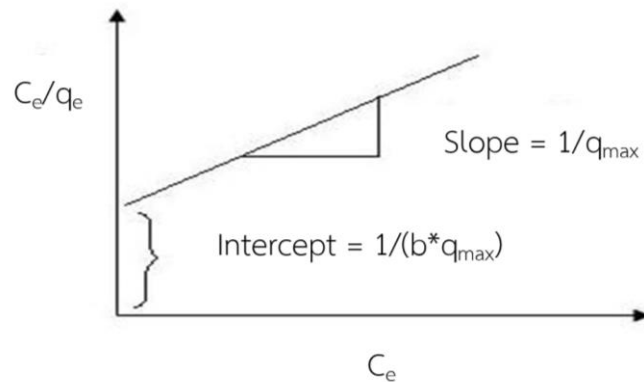
$$q_e = q_{\max} b C_e / (1 + b C_e)$$

สมการที่ 2-1

เมื่อ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับมลสารของตัวดูดซับ $ug_{มลสาร}/m^2_{ตัวดูดซับ}$ (q_m คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับมากที่สุด ug/m^2) ที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) (b คือ ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ หรือค่าคงที่ของแลงเมียร์ และ C_e คือ ความเข้มข้นของมลสารที่สมดุล ug/m^3) จากสมการที่ 2-1 สามารถจัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรง คือ

$$C_e/q_e = 1/q_{max} * C_e + 1/(b * q_{max}) \quad \text{สมการที่ 2-2}$$

จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า q_{max} และ b ได้จากความชัน (slope) และจุดตัดแกน (intercept ดัง) (รูปที่ 2-4) คือ มีความชันเท่ากับ $1/q_{max}$ และมีจุดตัดแกน C_e/q_e เป็น $1/(b * q_{max})$



รูปที่ 2-4 กราฟไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

2.5.2 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช)Freundlich isotherm (

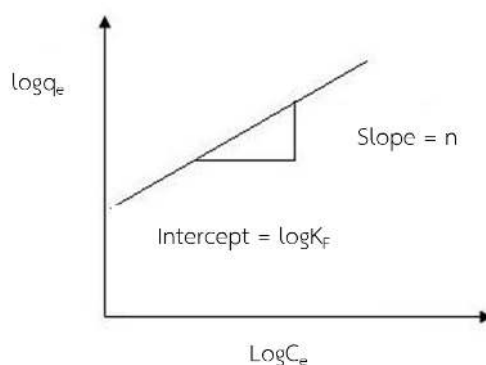
สมการของ ฟรุนดลิช (สมการที่ 2-3 และ 2-4) มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด พื้นผิวและพลังงานมีการกระจายตัว (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) เป็นแบบเลขชี้กำลังใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชเป็นไอโซเทอมที่พัฒนาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว) Heterogeneous (โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น) Multilayer(

$$q_e = K_F C_e^n \quad \text{สมการที่ 2-3}$$

$$\log q_e = n * \log C_e + \log K_F \quad \text{สมการที่ 2-4}$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล ug/m^3 (q_e คือ ความสามารถในการดูดซับมลสารของตัวดูดซับ $ug_{มลสาร}/m^2_{ตัวดูดซับ}$) (K_F คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ และ n คือ ค่าคงที่

สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ n และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_F$ ดังรูปที่ 2-5) ถ้าค่า n มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงการดูดซับที่ดี และถ้าค่า n มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี



รูปที่ 2-5 กราฟไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

2.5.3 ทฤษฎีการดูดซับของ BET

ในปี ค.ศ.1938 Brunauer, Emmett และ Teller ได้ทำการปรับปรุงสมการของแลงเมียร์ (Langmuir) เพื่อให้อธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น เรียกว่า สมการของ BET (สมการที่ 2-5) สมมติฐานเบื้องต้นสมการนี้ คือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับในชั้นแรกจะเป็นพื้นผิวในการเกาะของสารที่ถูกดูดซับในชั้นที่สอง และชั้นต่อไป ดังนั้น โมเลกุลในชั้นที่สองจะเกาะอยู่บนสารที่ถูกดูดซับไม่ใช่พื้นผิวของการดูดซับจึงเหมือนอยู่ในภาวะอิมิตัวของของเหลว แตกต่างจากในชั้นแรกที่ไม่เลกุลสัมผัสกับพื้นผิวของสารดูดซับโดยตรง

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{P_0}{P} - 1 = \frac{1}{W_m C} + (C - 1) \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{1}{W_m C} \quad \text{สมการที่ 2-5}$$

เมื่อ P คือ ความดันของการดูดซับ P_0 คือ ความดันอิ่มตัว W คือ น้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับ W_m คือ น้ำหนักของสารที่ปกคลุมเต็มชั้นหนึ่ง และ C คือ ค่าคงที่

ในปัจจุบันการใช้สมการการดูดซับของ BET เพื่อหาขนาดพื้นที่ของตัวดูดซับได้รับการยอมรับทั่วไป ซึ่งพื้นที่ผิวสามารถหาได้จากการหาปริมาณแก๊สดังกล่าวมาเปลี่ยนจำนวนโมเลกุลของแก๊สที่ปกคลุมพื้นผิวเต็มหนึ่งชั้นคูณด้วยพื้นที่สำหรับการปกคลุมด้วยแก๊สหนึ่งโมเลกุล จากนั้นนำพื้นที่ทั้งหมดไปหารด้วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่นำมาทดสอบจะได้พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับนั้น สมการ BET นี้ใช้ได้ดีในช่วงความดันสัมพัทธ์ไม่เกิน 0.2 การหาพื้นที่ผิวโดยวิธี BET เป็นการวัดพื้นที่ผิวโดยการคำนวณการดูดซับของแก๊ส คือ การสร้างไอโซเทอมของการดูดซับสภาวะที่เกิดการดูดซับทางกายภาพโดยใช้การดูดซับแก๊ส

ไนโตรเจนที่อุณหภูมิต่ำเส้นไอโซเทอมของการดูดซับจะเป็นเส้นตรงความชันและจุดตัดบนแกนจะให้ปริมาณของแก๊สซึ่งใช้เพื่อจัดชั้นโมโนเลเยอร์ เมื่อรู้พื้นที่ของแต่ละโมเลกุลสามารถคำนวณพื้นที่ของการดูดซับได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนกร รัตนพันธุ์ (2560) งานวิจัยนี้วัดความสามารถของต้นไม้ประดับในอาคารในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) และกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ต้นไม้ประดับบ่งชี้ฟอร์มาลดีไฮด์ภายในอาคารจากการเปลี่ยนแปลงของสีใบ โดยแบ่งเป็น การทดลอง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มต้นไม้ประดิษฐ์ประกอบด้วย 2 การดักจับ อนุภาคขนาดเล็ก ใช้ต้นไม้ 1 คือ การทดลองที่ต้นเฟิร์น และต้นสาวน้อยประแป้ง กลุ่มต้นไม้จริงประกอบด้วย ต้นพลูด่าง ต้นฤๅษีผสม และต้นเข็มสามสี ทำการทดลองในห้อง ทดสอบแบบปิดขนาด เฝ้าหมักรูปเพื่อให้ได้ความเข้มข้น .ม.ลบ 8 ของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Particulate matter 2.5: PM2.5) เริ่มต้นในช่วง 240- 250ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร วัดความเข้มข้น PM2.5 ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเป็น 5 เวลา ชั่วโมง พยากรณ์สัมประสิทธิ์การ 24 สูญหายของPM2.5) จากการตกทับถมบนพื้นผิวใบ 5Kloss) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง การทดลองที่ การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ใช้ต้นไม้ ได้แก่ ต้นเฟิร์นประดิษฐ์ ต้นขมิ้นกระต่าย ต้นว่านหางจระเข้ และต้นพลูด่าง ทำการทดลองในห้องทดสอบแบบปิดขนาด 0. 21ลูกบาศก์เมตร ใช้สารละลาย ฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อสร้างไอระเหยความเข้มข้นเริ่มต้น 0.47, 4.47 และ 7 ส่วนในล้านส่วน (Part per million: ppm) ให้ต้นไม้สัมผัสกับฟอร์มาลดีไฮด์เป็นเวลา ชั่วโมง วัดความเข้มข้นที่เหลือเพื่อ 2 คำนวณอัตราการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของต้นไม้ และ การทดลองที่ การใช้ต้นไม้บ่งชี้มลพิษฟอร์มาลดีไฮด์ 3 ใช้ต้นไม้ คือ ต้นเพชรน้ำหนึ่ง ทำการทดลองแบบเดียวกับการทดลองที่ แต่ใช้ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ 2 เริ่มต้น 0.47 ppm วัดการเปลี่ยนแปลงสีของใบ หลังจากสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทุกๆ ชั่วโมง และพักพื้น 22 ชั่วโมง ด้วยการวิเคราะห์การประมวลผลภาพถ่ายเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ 96 ติดต่อกัน .ขม 2 ต้นไม้) กราฟแจกแจงความถี่ของสีhue histogram) ของระบบสี HSV ผลการทดลองที่ พบว่า 1k_{loss} มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับพื้นที่ใบของ ต้นเฟิร์นประดิษฐ์โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.ที่ระดับนัยส 919าคัญทางสถิติ 0.และลักษณะผิวใบที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการดักจับอนุภาค 05 ขนาดเล็กดังนี้ ค่าkloss (ต่อชั่วโมง0 ต้น เฟิร์นประดิษฐ์เท่ากับ (.07 ต้นสาวน้อยประแป้ง 0.ต้นพลู 06 0 ต่าง.ต้นฤๅษี 0.ผสม 0.0 ต่อชั่วโมง และต้นเข็มสามสี 04.และพบว่าอนุภาคส่วนใหญ่ติดอยู่บริเวณ 05 พบว่า อัตราการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์เฉลี่ยของต้นไม้ภายใน 2 เส้นกลางใบและเส้นใบ ผลการทดลองที่ 2 ระยะเวลาชั่วโมง) ไมโครกรัมต่อชั่วโมง-ตารางเมตรต้น 71 มีค่า ดังนี้ ต้นเฟิร์นประดิษฐ์ (ขมิ้นกระต่าย และเมื่อเพิ่ม ความเข้มข้นเริ่มต้นในอากาศมีผลให้อัตราการ 84 และต้นพลูด่าง 184 ต้นว่านหางจระเข้ 46 พบว่า ต 3 ดูดซับของใบเพิ่มขึ้น และผลการทดลองที่ต้นเพชรน้ำหนึ่งมีองศาของสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เท่านั้นหลังจากสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งอาจเป็นเพราะ ต้นเพชรน้ำหนึ่งมีความสามารถฟื้นตัวได้ดีที่ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ ดังนั้นต้นเพชรน้ำหนึ่งจึงไม่ เหมาะที่จะใช้บ่งชี้ฟอร์มาลดีไฮด์ระดับต่ำในอาคารทั่วไป

สมศักดิ์ ศิริวนารังสรรค์ (2558) งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพอากาศในอาคารสถานบริการแต่งผม-เสริมสวย ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดสมุทรสาคร และกรุงเทพมหานคร จำนวน แห่ง ศึกษาสถานการณ์ปัญหาสุขภาพและความปลอดภัย และประเมินความ 28 เสริมสวย โดยมี-เสี่ยงต่อสุขภาพ จากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในสถานบริการแต่งผมกลุ่มเป้าหมายเป็น ผู้ปฏิบัติงานหรือช่างแต่งผมคนคุณภาพอากาศในสถานบริการ 101 เสริมสวย จำนวน-เสริมสวย ในพื้นที่ที่ศึกษาของจังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดสมุทรสาครและ-แต่งผม) กรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายรวมTVOCs เท่ากับ 847.00, 198.86, 476.43, และ 999.86 ส่วนในพันล้านส่วน (Part per billion: ppb) ตามลำดับ ปริมาณฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน) ไมครอน 10PM10) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.00,18.86,23.14 และ 43.57 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.) ไมครอน 5PM2.5) พบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.71, 6.57, 12.86, และ 7.43 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)CO (2 39 เสริมสวย ร้อยละ-พบมีสถานบริการแต่งผม.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 29CO 2 1 สูงกว่า (,000 ppm เป็น ดัชนีที่บ่งบอกถึงการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ นอกจากนี้ ผลการศึกษาชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ ระเหยง่าย)VOCs) ในบรรยากาศการทำงานตลอดระยะเวลา ชั่วโมง พบ 8 ชนิด ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของ 20 สารอินทรีย์ระเหยง่าย ในอากาศ จำนวนACGIH (TLVs-TWA) โดยสารอินทรีย์ ระเหยง่ายส่วนใหญ่ที่ตรวจพบ ได้แก่ โทลูอิน ไซลีน สไตรีน บิวทานอล ไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม และ ไอโซโพรพานอล (Isopropanol: IPA)

2.7 ที่มาและวิธีการกำจัดโฟมพียู

โฟมพียู หรือยูรีเทนโฟม (Polyurethane foam) เป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตผนังของตู้เย็น ตู้แช่ หรือห้องเย็น ซึ่งจากข้อมูลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ตู้เย็นขนาด 7-10.2 คิว มีองค์ประกอบดังตารางที่ 2-5 โดยมีปริมาณของโฟมพียูร้อยละ 6.5-8

ตารางที่ 2-5 องค์ประกอบหลักของตู้เย็นขนาด 7-10.2 คิว

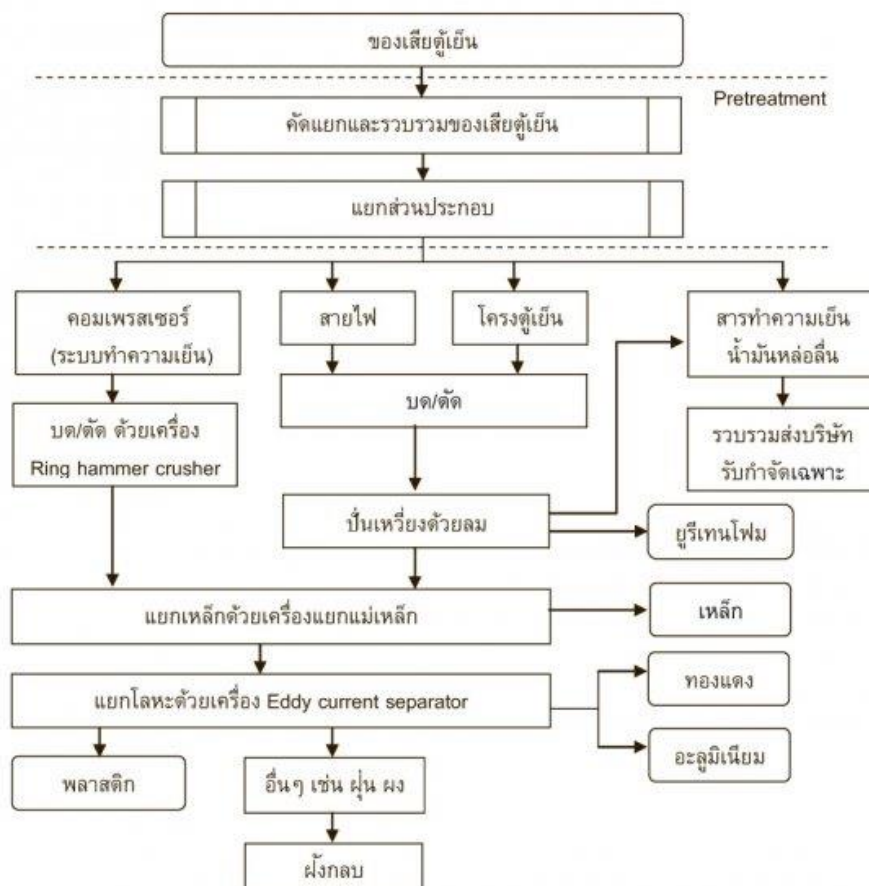
องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
เหล็ก	45 – 53
โฟมพียู	6.5 – 8.0
พลาสติกอื่นๆ	12 – 16
ทองแดง	5 – 6

ตารางที่ 2-5 องค์ประกอบหลักของตู้เย็นขนาด 7-10.2 คิว (ต่อ)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
แก้ว	1.4 – 1.5
อะลูมิเนียม	0 – 3
สารทำความเย็น	0 – 3

ที่มา :ฐานข้อมูลบัญชีของเสีย กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2556

การกำจัดซากตู้เย็น/ตู้แช่ โดยทั่วไปจะถูกรวบรวมและคัดแยกโดยผู้ประกอบการคัดแยกซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์รายย่อย ชาวบ้าน หรือชุมชนที่ไม่มีใบอนุญาตถูกต้องตามกฎหมาย ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ ดังรูปที่ 2-6 ขณะที่โฟมพียู เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต (Thermoset) จึงไม่สามารถนำมารีไซเคิลด้วยวิธีการหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้ ซึ่งหากปล่อยทิ้งไว้ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายมากกว่า 300-1,000 ปี



รูปที่ 2-6 กระบวนการรีไซเคิลตู้เย็น (ฐานข้อมูลบัญชีของเสีย กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2556)

ปัจจุบันประเทศไทยกำจัดเศษซากโฟมพียู หลังจากการตัดแยกตู้เย็น หรือตู้แช่อื่นๆ ด้วยวิธีการเผาทิ้งกลางแจ้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการลงพื้นที่สำรวจโฟมพียู (จังหวัดอุบลราชธานี) หรือกำจัดด้วยวิธีอื่นเช่น กองทิ้งไว้ รวบรวมส่งไปฝังกลบ เป็นต้น

3. เอกสารอ้างอิง

- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (กองความปลอดภัยแรงงาน). 2562. สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds). สืบออนไลน์จาก www.oshthai.org/index.php?option=com_content&view=article&id=532:-volatile-organic-compounds&catid=11:chemical&Itemid=202, [กรกฎาคม 2562].
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2556. ฐานข้อมูลบัญชีของเสีย กลุ่มของเสียครัวเรือน ประเภทตู้เย็น. สืบออนไลน์จาก <http://recycle.dpim.go.th/wastelist/waste-detail.php?id=53>, [พฤศจิกายน 2562].
- ธนากร รัตนพันธุ์. 2560. การประเมินความสามารถของต้นไม้ในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กและบ่งชี้มลพิษอากาศในอาคาร [วิทยานิพนธ์]. มหาสารคาม, มหาวิทยาลัย.
- มณีรัตน์ องค์กรธนดี. 2556. การจัดการคุณภาพอากาศในอาคาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. 2545. มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้. คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- สมศักดิ์ ศิริวนารังสรรค์. 2558. การศึกษาคุณภาพอากาศและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในสถานบริการแต่งผม-เสริมสวย. วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม – ธันวาคม 2558), 47-59.
- Jones, LA, and Sansone, EB. 1981. A hypothesis concerning the relationship between the adsorption kinetics and the structure of activated carbons. Carbon. 19: 231-232.
- Godish, T. 1989. Indoor air pollution control. Michigan: Lewis.
- Weber, WJ Jr, and DiGiano, FA. 1996. Process dynamics in environmental systems. New York: Wiley-Interscience.

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย สมมติฐาน แนวคิดการวิจัย และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งตามหัวข้อการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู

เนื่องด้วยโฟมพียู หรือโพลียูรีเทน (Polyurethane: PU foam) มักใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โดยเฉพาะตู้เย็น โครงการฯ นี้จึงมีแนวคิดในการนำเศษโฟมพียูที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ด้วยการนำมาทำเป็นตัวกลางในการดักจับฝุ่น และ/หรือ ตัวกลางในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) แล้วสร้างเป็นเครื่องฟอกอากาศ

กรอบและขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

- การศึกษาความสามารถการดูดซับของโฟมพียู (ไอโซเทอม)
- การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ซึ่งในเบื้องต้นนั้นได้ทำการศึกษาสมบัติของโฟมพียู และความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองของโฟมพียู โดยมีรายละเอียด รวมถึงขั้นตอนการทดลองหาความสามารถการดูดซับ และแนวทางการออกแบบเครื่องฟอกอากาศ ดังนี้

1.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของโฟมพียู (PU foam)

โฟมพียูที่ใช้ในการทดลองสำหรับผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศในโครงการวิจัยนี้ ได้จากฉนวนกันความร้อนของตู้เย็นที่นำมาแยกชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อรีไซเคิลวัสดุประกอบที่มีมูลค่า โดยปกติฉนวนกันความร้อนหลังถูกแยกออกจากโครงตู้เย็นแล้ว ผู้คัดแยกหรือผู้ประกอบการจะนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบขยะ ในโครงการวิจัยนี้นำโฟมพียูมาจาก ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ สมบัติของโฟมพียูทางกายภาพและเคมีแสดงดังต่อไปนี้

1) ลักษณะทางกายภาพเชิงประจักษ์ (Visual appearance) รูปที่ 3-1 แสดงวิธีการแยกฉนวนกันความร้อนออกจากโครงตู้เย็น ซึ่งโครงตู้ที่เป็นพลาสติกแข็งสามารถนำไปขายเพื่อรีไซเคิลได้ ในขณะที่โฟมพียูจะถูกนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบขยะของชุมชน โฟมพียูนี้มีความหนาประมาณ 49 มม. ลักษณะทางกายภาพเชิงประจักษ์ขึ้นกับสภาพที่โฟมพียูหรือโครงตู้เย็นถูกจัดเก็บไว้ในบริเวณทำการคัดแยก



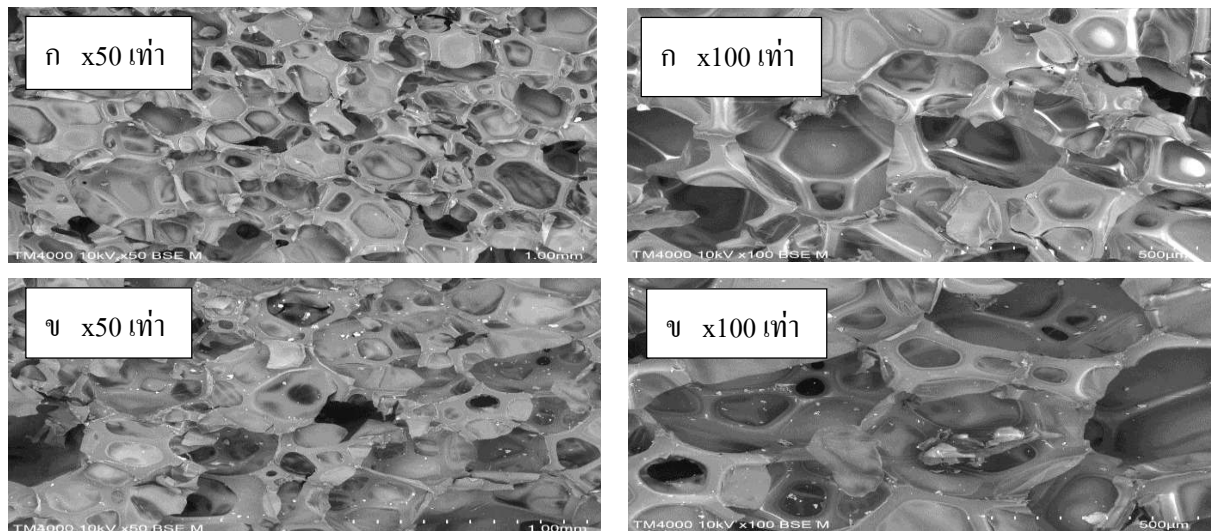
รูปที่ 3-1 วิธีการแยกโฟมพียูออกจากโครงตู้เย็น

โฟมพียูที่จัดเก็บในที่ร่มมีสภาพใกล้เคียงโฟมพียูใหม่ มีสีขาวนวล เมื่อสัมผัสผิวโฟมมีลักษณะราบลื่น ไม่เป็นขุย ดังรูปที่ 3-2(ก) ในขณะที่โฟมพียูซึ่งถูกวางในที่โล่ง ถูกแดด ลม (Weathered) พบว่ามีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ผิวสัมผัสเป็นขุย ผง ความแข็งแรงจากการกดสัมผัสลดลง



รูปที่ 3-2 ลักษณะกายภาพเชิงประจักษ์ของ (ก) โฟมพียูที่จัดเก็บไม่ถูกแดด และ (ข) โฟมพียูที่ถูกแดดลม

2) โครงสร้างระดับจุลภาค (Microstructure) ทำการวิเคราะห์โฟมพียูด้วยภาพถ่ายกำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (TM4000Plus, Hitachi, Japan) รูปที่ 3-3 แสดงภาพถ่ายโฟมพียู (SEM images) เปรียบเทียบระหว่างโฟมที่เก็บในที่ร่ม และโฟมที่ถูกแดดลม ด้วยกำลังขยาย 50 และ 100 เท่า



รูปที่ 3-3 ภาพถ่ายโฟมพียูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด กำลังขยาย 50 และ 100 เท่า ของ
(ก) โฟมที่เก็บในที่ร่ม และ (ข) โฟมที่ถูกแดดลม

จากภาพถ่าย SEM ของโฟมพียูแสดงลักษณะโครงสร้างที่เป็นช่องเปิด (Opening space) ที่เชื่อมโยงกันเป็นชั้นๆ ช่องเปิดมีขนาด 20-50 ไมครอน โฟมพียูที่ผ่านสภาพอากาศถูกแดดลมพบว่ามีชิ้นส่วนโฟมขนาดเล็กๆ จำนวนมากปรากฏที่พื้นผิว โครงสร้างช่องเปิดแตกหักมากกว่าโฟมที่จัดเก็บในที่ร่ม ดังนั้นผิวสัมผัสจึงเป็นผิวนูนติดมือได้ ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับการนำมาผลิตเป็นไส้กรองของเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก

3) การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ใช้การชั่งน้ำหนักแห้งและน้ำหนักอิ่มตัว ตามมาตรฐานวิธีทดสอบของ มอก. 2398 เล่ม 3 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2553) ทำการทดสอบซ้ำ 2 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างไปอบไล่ความชื้น 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานที่เย็นแล้วไปชั่งน้ำหนัก (m_1) จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นงานที่เย็นแล้วไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (รูปที่ 3-4) แล้วนำขึ้นมาเช็ดผิวด้วยผ้าขาววอร์ แล้วชั่งน้ำหนักทันที (m_2) ดังรูปที่ 3-5 ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้ตามสมการที่ 3-1

$$\text{การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad \text{สมการที่ 3-1}$$



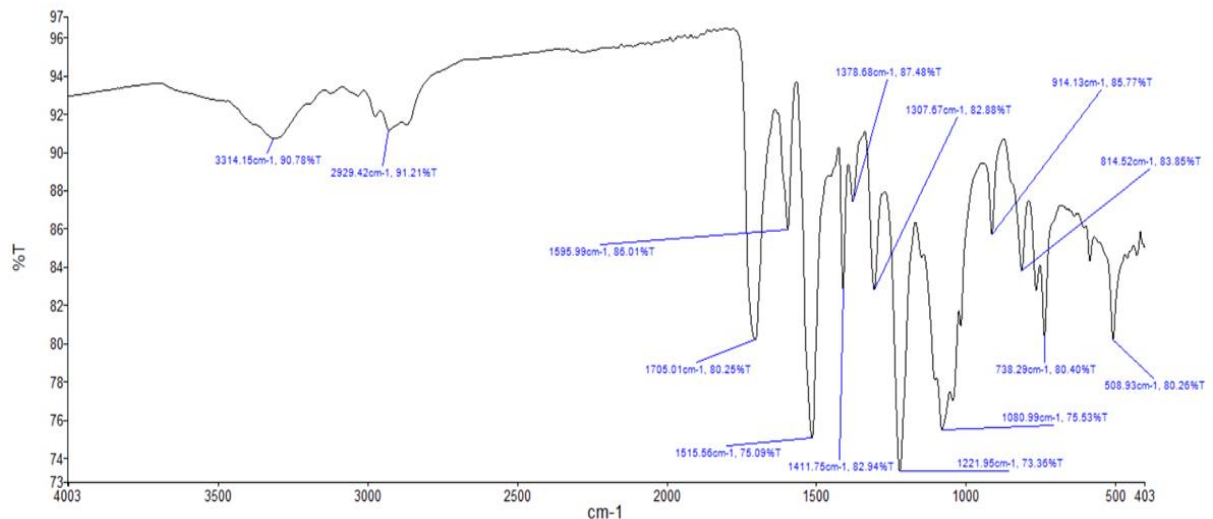
รูปที่ 3-4 การแช่โฟมในน้ำ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3-5 การชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ

ผลการวัดการดูดซึมน้ำของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่มมีค่าเท่ากับร้อยละ 36 ในขณะที่โฟมพียูที่ถูกแดดลมนี้อาจมีค่าเท่ากับร้อยละ 65 ± 4 ซึ่งให้เห็นว่าโครงสร้างของโฟมที่เสื่อมสภาพลงมีผลต่อการเพิ่มการดูดซึมน้ำ ซึ่งอาจไม่เหมาะต่อการนำไปผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศสำหรับกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก เพราะโฟมอาจดูดซึมหรือดูดซับความชื้นในอากาศไว้ทำให้ลักษณะพื้นผิวโฟมเปลี่ยนแปลงได้ อย่างไรก็ตามโฟมพียูที่เสื่อมสภาพนี้อาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำสำหรับปลูกต้นไม้ประดับ

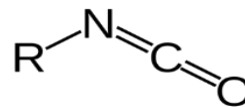
4) หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว (Functional surface) การวิเคราะห์พื้นผิวทางเคมีของโฟมพียูด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) (Spotlight200i, PerkinElmer, USA) โดยรูปที่ 3-6 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสง (Spectral transmittance, %T) อินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรด (Infrared and near-infrared) ในช่วงความยาวคลื่น $4000-400$ เซนติเมตร⁻¹ ของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่ม ซึ่งแสดงถึงการสั่นพันธะของ O-H stretch, H-bonded, C=O stretch, C-O stretch, C-N stretch และ C-H ในช่วง $1,800-500$ เซนติเมตร⁻¹



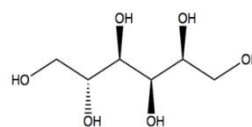
รูปที่ 3-6 สเปกตรัมการส่งผ่านแสงอินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรดของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่ม

โฟมพียูหรือโพลียูเรเทนโม่สังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ di- หรือ tri-poly-isocyanate กับ polyol โดยมี carbamate เป็นตัวเชื่อม ดังรูปที่ 3-7 ดังนั้นจึงแสดงฟังก์ชันนอล 2 หรือมากกว่า 2 กลุ่มบนโมเลกุลของยูเรเทน จึงทำให้ตรวจพบการสั่นของพันธะดังกล่าวข้างต้น

(ก) โมโนเมอร์ isocyanate



(ข) โมโนเมอร์ polyol



รูปที่ 3-7 โมโนเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์โฟมพียู (ก) isocyanate (ข) polyol

5) ความเป็นรูพรุนของวัสดุโฟม วัดด้วยเครื่องวัดความเป็นรูพรุนของวัสดุโดยการแทนที่ด้วยปรอท (Mercury intrusion porosimeter, MIP, MicroActive AutoPore V 9600 Version 1.03) โดยส่งตรวจวิเคราะห์ที่สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 3-1 สมบัติการเป็นรูพรุนของโฟมพียู

Parameters	Results
Total intrusion volume	24.000 ml/g
Total pore area	35.719 m ² /g
Average pore diameter	2.689 μm
Bulk density at 10.07 psia	0.0366 g/ml
Apparent (skeletal) density at 59,965 psia	0.2998 g/ml
Porosity	73.50%

โฟมพียูที่ได้จากฉนวนกันความร้อนตู้เย็นแบบที่ไม่โดนแดดลม มีค่าพรุน (porosity) ร้อยละ 73 และมีพื้นที่ผิวรูพรุนเท่ากับ 35.7 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับถ่านชาร์ไม้กระถินยักษ์จากกระบวนการไพโรไลซิส มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2.75 ตารางเมตรต่อกรัม (มณีรัตน์ และคณะ, 2562) ดังนั้นความพรุนและพื้นที่ผิวรูพรุนที่สูงทำให้โฟมพียูมีคุณสมบัติเหมาะสมนำมาใช้เป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก และใช้ดูดซับก๊าซหรือไอระเหยมลพิษอากาศได้

1.2 ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถการดูดซับของโฟมพียู หรือไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm)

งานวิจัยนี้ออกเหนือจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโฟมพียูมาเพิ่มมูลค่าโดยผลิตเป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กแล้ว ยังนำมาศึกษาการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับมลพิษอากาศ โดยเฉพาะในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยซึ่งมีหลากหลายชนิดที่ตรวจพบในอาคารทั่วไป (Ongwandee et al., 2011) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โกลูอินเป็นตัวแทนสารมลพิษอินทรีย์ระเหยในการศึกษาความสามารถในการดูดซับของโฟมพียู

ขั้นตอนการทดลองการดูดซับของโฟมพียู มีดังต่อไปนี้

(1) ตัดโฟมพียูให้มีขนาดประมาณ 5x15x3 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบไล่สิ่งปนเปื้อนบนโฟมออกด้วยเตาอบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วใส่เข้าไปในขวด 20 มิลลิลิตร ขวดละ 1 ชิ้น

(2) จากนั้นเติมก๊าซไนโตรเจนความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 เข้าไปในขวดที่มีตัวอย่างโฟม แล้วปิดฝาให้สนิท

(3) ใช้เข็มฉีดยาดูดโกลูอินจากถุงเก็บก๊าซที่เตรียมความเข้มข้นก๊าซโกลูอินมาตรฐานไว้แล้วคือ 0.86 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ฉีดเข้าไปในขวดที่มีตัวอย่างโฟม เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซโกลูอินในขวดเท่ากับ 0.86, 0.77, 0.69, 0.60, 0.52, 0.43, 0.34, 0.26, 0.17 และ 0.09 ไมโครกรัม ปิดรูเข็มด้วยพาราฟิล์ม

แสดงดังรูปที่ 3-8 จากนั้นนำขวดดูดซับไปแช่เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องแช่เยือก (OS-10, BIOSAN, Republic of Latvia)



รูปที่ 3-8 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ

(4) หลังจากแช่เยือก 24 ชั่วโมง ใช้อุปกรณ์ Solid phase micro extraction (SPME) ชักตัวอย่างก๊าซโทลูอินที่หลงเหลืออยู่ในขวด แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography flame ionization detector (GC/FID) โดยการปรับเทียบหาปริมาณโทลูอินด้วยกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน

การชักตัวอย่างก๊าซและการวิเคราะห์โทลูอิน งานวิจัยนี้ใช้เทคนิค SPME GC/FID มีรายละเอียดการชักตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างดังนี้

- (4.1) การชักตัวอย่างก๊าซโทลูอินด้วย SPME ประกอบด้วยเวลาสกัดและเวลาคาย โดยเวลาสกัดคือเวลาที่ SPME Fiber สัมผัสกับมลพิษอากาศในขวดตัวอย่างที่เตรียมไว้ และเวลาคายเป็นเวลาที่ SPME Fiber สัมผัสกับความร้อนในคอลัมน์ของเครื่อง GC-FID ในการทดลองนี้กำหนดทั้งเวลาสกัดและเวลาคายไว้ 3 นาที โดยใช้ SPME Fiber ชนิด DVB/CAR/PDMS ที่มีความสามารถในการดูดซับทั้งสารมีขั้วและไม่มีขั้ว โดยขั้นแรกของการตรวจวัดคือ เสียบ SPME Holder เข้าไปในขวดตัวอย่างที่มีมลพิษอากาศ จากนั้นหมุน SPME Fiber ออกมาแล้วจับเวลา 3 นาที (เวลาสกัด) เมื่อครบ 3 นาทีหมุน SPME Fiber กลับแล้วนำ SPME Holder ออกจากขวดแล้วไปเสียบที่เครื่อง GC-FID หมุน SPME Fiber ออกมาให้เครื่อง GC-FID วิเคราะห์ จับเวลา 3 นาที (เวลาคาย) เมื่อครบ 3 นาทีหมุน SPME Fiber กลับแล้วนำ SPME Holder ออกจากเครื่อง GC-FID
- (4.2) การวิเคราะห์หาปริมาณโทลูอินด้วยเครื่อง GC/FID โดยมีสภาวะของเครื่อง GC-FID ที่ใช้วิเคราะห์โทลูอิน ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สภาวะของเครื่อง GC-FID ที่ใช้วิเคราะห์โพลูอิน

Parameters	Conditions
Column Type	Rtx®-5MS Column length 30 m, Film thickness 0.25 µm
Column Oven Temp	40 °c
Injection Temp	250 °c
Injection Mode	Spit
Flow Control Mode	Linear Velocity
Pressure	80.5 kPa
Total Flow	6.0 mL/min
Column Flow	1 mL/min
Spit Ratio	2
Oven Temp. Program Rate	20 °c/min
Temperature	40-60 °c

(5) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาไอโซเทอมการดูดซับเพื่อหาความสามารถในการดูดซับโพลูอินของโฟมพียู ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Nonlinear regression (NLREG) ซึ่งเป็นโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear regression method) มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับ โดยทำการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับด้วยสมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm) ซึ่งอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า พื้นที่ของตัวดูดซับมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด กล่าวคือ ผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ ทำให้พื้นที่ผิวและพลังงานของตัวดูดซับมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง โดยสมการที่ใช้คือ

$$q_e = K_f C_e^n$$

สมการที่ 3-2

โดย q_e คือ ความสามารถในการดูดซับก๊าซโพลูอินของโฟมพียู (ไมโครกรัมต่อกรัม) K_f คือ ค่าคงที่แสดงถึงความจุจำเพาะของการดูดซับที่สภาวะความเข้มข้นค่าใดๆ (specific capacity) C_e คือ ความเข้มข้นของก๊าซโพลูอิน ณ สภาวะสมดุล (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และ n คือ ค่ายกกำลังแสดงถึงระดับการสะสมและความหลากหลายของพลังงานในปฏิกิริยาการดูดซับ

1.3 การทดสอบเบื้องต้นในการใช้โฟมพียูดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศเพื่อดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เนื่องจากเป็นขนาดอนุภาคที่สร้างผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เป็นหลัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) แหล่งกำเนิด PM2.5 ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการเผาไหม้ธูปโดยอ้างอิงระเบียบวิธีวิจัยของ Ongwandee and Kruewan (2012) ซึ่งชี้ว่าสัดส่วนมวลของอนุภาคขนาด 2.5 ไมครอนต่ออนุภาคขนาด 10 ไมครอน (PM2.5 ต่อ PM10) จากการเผาไหม้ธูป อยู่ในช่วงร้อยละ 86.15–95.01 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเป็นอนุภาคหลักจากการเผาไหม้ธูป

การทดลองเบื้องต้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบไส้กรองเครื่องฟอกอากาศที่ผลิตจากโฟมพียูสำหรับใช้ดักจับ PM2.5 โดยทำการทดสอบไส้กรองโฟมพียู 2 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 ชั้นไส้กรองที่บรรจุชิ้นส่วนโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 10x20x5 มิลลิเมตร ความหนาของชั้นไส้กรองประมาณ 4 เซนติเมตร โดยใช้ตะแกรงกันยัดติดกับคอลัมน์ แสดงดังรูปที่ 3-9
- รูปแบบที่ 2 ชั้นไส้กรองที่บรรจุแผ่นโฟมพียูความหนา 2-3 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชั้นระยะห่างแต่ละชั้น 3 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3-10

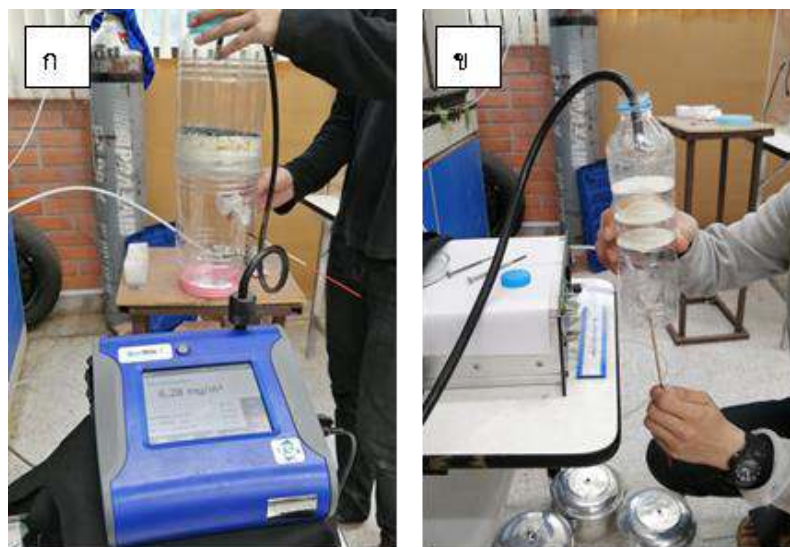


รูปที่ 3-9 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3-10 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดเป็นแผ่นบาง

ขั้นตอนการทดสอบรูปแบบไส้กรองดักจับ PM_{2.5} ทำโดยบรรจุไส้กรองในคอลัมน์ที่ทำจากขวดโหลพลาสติกใสขนาด 0.5–2 ลิตร จุดรูปให้เกิดควันด้านล่างของคอลัมน์ (ขาเข้า) พร้อมทั้งปล่อยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์อัตรา 2 ลิตรต่อนาที วัดความเข้มข้น PM_{2.5} ขาเข้าและขาออกคอลัมน์ด้วยเครื่อง DUSTTRAK™ II aerosol monitor (Model 8530, TSI Inc., USA) ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหารูปแบบไส้กรองดักจับฝุ่น (ก) รูปแบบที่ 1 โฟมตัดชิ้นสี่เหลี่ยม และ (ข) รูปแบบที่ 2 โฟมตัดแผ่นบาง

ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ไส้กรองรูปแบบที่ 1 ไม่สามารถลดความเข้มข้น PM_{2.5} ได้เนื่องจากชั้นโฟมที่ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่ออัดซ้อนกันยังคงมีช่องว่างระหว่างชั้นโฟม ทำให้อากาศสกปรกสามารถลอดผ่านออกไปได้ ชั้นกรองจึงไม่มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่น ส่วนรูปแบบที่ 2 สามารถดักจับ PM_{2.5} จากการทดสอบ 2 ครั้งที่มีความเข้มข้น PM_{2.5} ขาเข้าต่างกันได้ดังนี้

ตารางที่ 3-3 ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นของรูปแบบที่ 2 (โฟมตัดแผ่นบาง)

ความเข้มข้นขาเข้า (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ความเข้มข้นขาออก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ประสิทธิภาพดักจับ (%)
100-115	40-50	50-65
1.8	0.7	60

จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ไส้กรองโฟมแบบแผ่นบางสามารถดักจับ PM_{2.5} ได้ประมาณร้อยละ 60 ดังนั้นการออกแบบเครื่องฟอกอากาศเครื่องต้นแบบจึงเลือกใช้รูปแบบไส้กรองโฟมพียูที่ตัดเป็นแผ่นบาง ความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร โดยจัดเรียงชั้นไส้กรองทั้งหมด 3 ชั้น

1.4 การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การออกแบบเครื่องฟอกอากาศที่ใช้โฟมพียูทดแทนไส้กรองในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะเครื่องดักจับอนุภาคขนาดเล็กแบบใช้ตัวกรองทางกล (Mechanical air filters) ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กในอากาศจะถูกกำจัดออกด้วยไส้กรองที่ติดตั้งในตัวเครื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามรูปแบบของไส้กรองโฟมพียู ได้แก่ เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบแผ่นโฟมพียู และ เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบทรงกระบอกบรรจุชั้นโฟมพียู

1.4.1 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู

จากผลการทดสอบเบื้องต้น (อ้างอิงรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1) คณะผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ไส้กรองโฟมพียูรูปแบบแผ่นบางมีความหนาประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร โดยมีเงื่อนไขการออกแบบดังนี้

ตารางที่ 3-4 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู

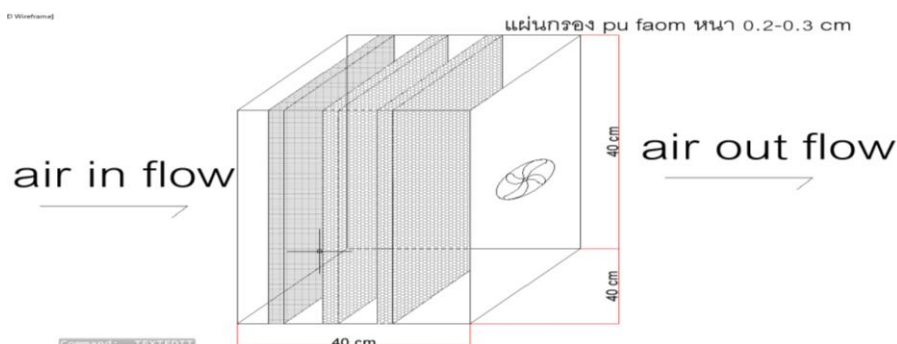
	ข้อมูลสำหรับการออกแบบ
ขนาดของเครื่องฟอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม 40x40x40 ลูกบาศก์เซนติเมตร
พื้นที่แผ่นกรอง (A)	860 ตารางเซนติเมตร (130 ตารางนิ้ว)
ความเร็วลมผิวหน้าแผ่นกรอง (v)	0.5 เมตรต่อวินาที (100 ฟุตต่อนาที) ความเร็วสูงสุด 300 ฟุตต่อนาที สำหรับไส้กรองชนิดใช้แล้วทิ้ง (Godish, 1989)
ความดันลดของแผ่นกรองโฟมพียู (H)	2 นิ้วของน้ำ
อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านเครื่องกรอง	10 รอบต่อชั่วโมง

จากข้อมูลการออกแบบข้างต้น สามารถคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองแผ่นโฟมพียูได้ดังนี้

ตารางที่ 3-5 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองแผ่นโฟมพียู

พารามิเตอร์	ค่าจากการคำนวณ
อัตราการดูดอากาศของเครื่องฟอก (Q)	146 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (90 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)
กำลังของพัดลม (P)	38 วัตต์ คูณด้วย safety factor 1.2 เท่า ได้ 46 วัตต์ ดังนั้นเลือกพัดลมดูดอากาศที่มีขายในท้องตลาด ขนาด 45 วัตต์
พื้นที่ใช้งาน	5 ตารางเมตร (สำหรับความสูงของห้อง 3 เมตร)

แบบร่างเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียูแสดงดังรูปที่ 3-12 โดยในตอนแรกออกแบบให้สามารถใส่แผ่นกรองโฟมพียูได้จำนวน 3 ชั้น



รูปที่ 3-12 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นพียู

การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นพียู คณะผู้วิจัยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นหลัก ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 6 ส่วน ดังนี้ และรูปที่ 3-13 แสดงเครื่องต้นแบบหลังจากสร้างและประกอบเสร็จสิ้น

- (1) โครงตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 40x40x40 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- (2) ฐานรองติดตั้งที่โครงตัวเครื่องสำหรับยึดจับกรอบแผ่นกรองโฟมพียูทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถใส่แผ่นกรองได้จำนวน 6 แผ่น (โดยได้เพิ่มเติมจากเดิมที่ออกแบบไว้ใส่ 3 แผ่น)
- (3) พัดลมดูดใบพัดทำจากอะลูมิเนียม ขนาด 45 วัตต์
- (4) กรอบสำหรับยึดซึ่งแผ่นโฟมพียูทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม จำนวน 6 กรอบ
- (5) ฝาปิดด้านบนทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม จำนวน 2 ชั้น
- (6) แผ่นโฟมพียู หนาประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดประมาณ 860 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 3-13 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียู

คณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้เครื่องตัดแผ่นโฟมที่ประดิษฐ์จากเส้นลวดให้ความร้อน (Heating coil) แต่การตัดโฟมให้เป็นแผ่นที่มีขนาดใหญ่ดังกล่าวด้วยความร้อนมีผลให้บริเวณที่ตัดเกิดการละลายไหม้ของโฟมเนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนขดลวดต้องเคลื่อนที่ช้า ซึ่งทำให้ผิวหน้าของโฟมมีลักษณะเป็นลอนคลื่นและแผ่นโฟมที่ตัดได้โค้งงอ ดังรูปที่ 3-14 นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้ช่องเปิดของโฟมถูกละลายหลอมปิดไปด้วย จึงปิดกั้นการไหลผ่านของอากาศ ดังนั้นแผ่นโฟมที่ตัดได้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นไส้กรองฝุ่นของเครื่องฟอกอากาศ คณะผู้วิจัยจึงใช้ใบมีดตัดโฟมแทนเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนกับโฟมพียู

ลักษณะผิวหน้าโฟมที่ตัดด้วยใบมีดแสดงดังรูปที่ 3-15 ซึ่งค่อนข้างเรียบ ไม่เป็นลอน อย่างไรก็ตามการตัดด้วยใบมีดยังได้แผ่นโฟมที่มีขนาดเล็กกว่าที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3-14 แผ่นโฟมพียูที่ตัดด้วยเส้นลวดให้ความร้อน



รูปที่ 3-15 แผ่นโฟมพียูที่ตัดด้วยใบมีด

ผู้วิจัยจึงได้ขอความอนุเคราะห์ให้ทางบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีเครื่องจักรสำหรับตัดโฟม ดังรูปที่ 3-16 ให้ช่วยตัดโฟมเป็นแผ่น มีความหนาประมาณ 3-7 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3-17 และ 3-18 ผิวหน้าที่ตัดมีความเรียบสม่ำเสมอ ซึ่งจะใช้ทดแทนไส้กรองฝุ่นของเครื่องฟอกอากาศที่ประดิษฐ์ขึ้นต่อไป



รูปที่ 3-16 เครื่องจักรตัดโฟม (บริษัท ปตท. จำกัด)



รูปที่ 3-17 แผ่นโฟมที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องจักรตัดโฟม

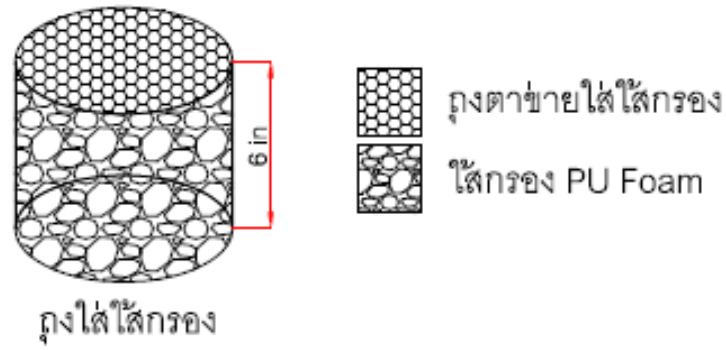


รูปที่ 3-18 ฟิลเตอร์พัลลมทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียูในการดักจับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (แสดงในบทที่ 4) พบว่าอัตราการผลิตอากาศสะอาดที่ฟอกแล้ว (Clean air delivery rate: CADR) มีค่าต่ำกว่า 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสาเหตุมาจากพัลลมดูดอากาศที่เลือกใช้ไม่สามารถสร้างความดันสถิต (Static pressure) ได้มากพอที่จะดูดอากาศสกปรกผ่านแผ่นกรองโฟมพียู จึงทำให้อากาศสกปรกไหลวนบริเวณด้านหน้าแผ่นกรองและไหลย้อนกลับทางด้านดูดของพัลลมแทน นอกจากนี้คาดว่าความดันลดยของโฟมพียูที่ทำเป็นไส้กรองในรูปแบบที่เป็นแผ่นอาจจะสูงกว่าค่าที่ประมาณไว้ในการคำนวณออกแบบ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่ 2

1.4.2 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบทรงกระบอกบรรจุชั้นโฟมพียู

เครื่องฟอกที่ออกแบบใหม่มีลักษณะไส้กรองเป็นทรงกระบอกภายในบรรจุชั้นส่วนโฟมพียู ดังแสดงในรูปที่ 3-19 วัสดุที่ใช้ทำไส้กรองทรงกระบอกต้องสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ที่จะนำเครื่องฟอกอากาศไปใช้งานและราคาไม่แพง บรรจุ ดังนั้นจึงเลือกถุงตาข่ายไนลอนซักผ้าที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปราคาต่อชิ้นไม่เกิน 20 บาท มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของถุงตาข่ายซักผ้าที่ขายในท้องตลาด



รูปที่ 3-19 ไส้กรองทรงกระบอกบรรจุขึ้นส่วนโฟมพียู

รูปร่างของโฟมพียูที่จะบรรจุในกระบอกไส้กรองได้ออกแบบไว้ 2 ลักษณะ คือ (1) แบบเส้นโฟม ยาว 2-5 เซนติเมตร กว้าง 0.5-1 เซนติเมตรหนา 0.2-0.4 เซนติเมตร และ (2) แบบลูกเต๋า ขนาด ประมาณ 0.5x0.5x0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-20



รูปที่ 3-20 รูปร่างโฟมพียูที่บรรจุในกระบอกไส้กรอง

ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องฟอกอากาศตามลักษณะของไส้กรองโฟมพียูดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ข้อมูล สำหรับการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลสำหรับการคำนวณในการออกแบบเครื่องฟอกอากาศตามลักษณะของไส้กรองโคมพื้ญ

	ข้อมูลสำหรับการออกแบบ
ขนาดของเครื่องฟอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม 18x18x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร (7x7x12 ลูกบาศก์นิ้ว)
ขนาดกระบอกไส้กรอง	เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัด 18x18 ตารางเซนติเมตร (7x7 ตารางนิ้ว)
ความเร็วลมผิวหน้าแผ่นกรอง (v)	1.5 เมตรต่อวินาที (300 ฟุตต่อนาที) ความเร็วสูงสุด 300 ฟุตต่อนาที สำหรับไส้กรองชนิดใช้แล้วทิ้ง (Godish, 1989)
ความดันลดของแผ่นกรองโคมพื้ญ (H)	1 นิ้วของน้ำ
อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านเครื่องกรอง	10 รอบต่อชั่วโมง

จากข้อมูลการออกแบบข้างต้น สามารถคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองโคมพื้ญทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญได้ดังนี้

ตารางที่ 3-7 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองโคมพื้ญทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญ

พารามิเตอร์	ค่าจากการคำนวณ
อัตราการดูดอากาศของเครื่องฟอก (Q)	165 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (102 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)
กำลังของพัดลม (P)	22 วัตต์ คูณด้วย safety factor 1.2 เท่า ได้ 26 วัตต์ ดังนั้นเลือกพัดลมดูดอากาศที่มีขายในท้องตลาดขนาด 65 วัตต์
พื้นที่ใช้งาน	5.5 ตารางเมตร (สำหรับความสูงของห้อง 3 เมตร)

คณะผู้วิจัยได้เลือกชนิดของพัดลมดูดอากาศใหม่ที่สามารถสร้างความดันสถิตได้มากกว่าพัดลมแบบ Propeller fan ที่ใช้ในเครื่องต้นแบบแรก ในที่นี้ได้เลือกพัดลมมาทดสอบ 2 ชนิด ได้แก่ (1) Vane-axial fan และ (2) Centrifugal fan ที่มีกำลังวัตต์ 65 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3-21



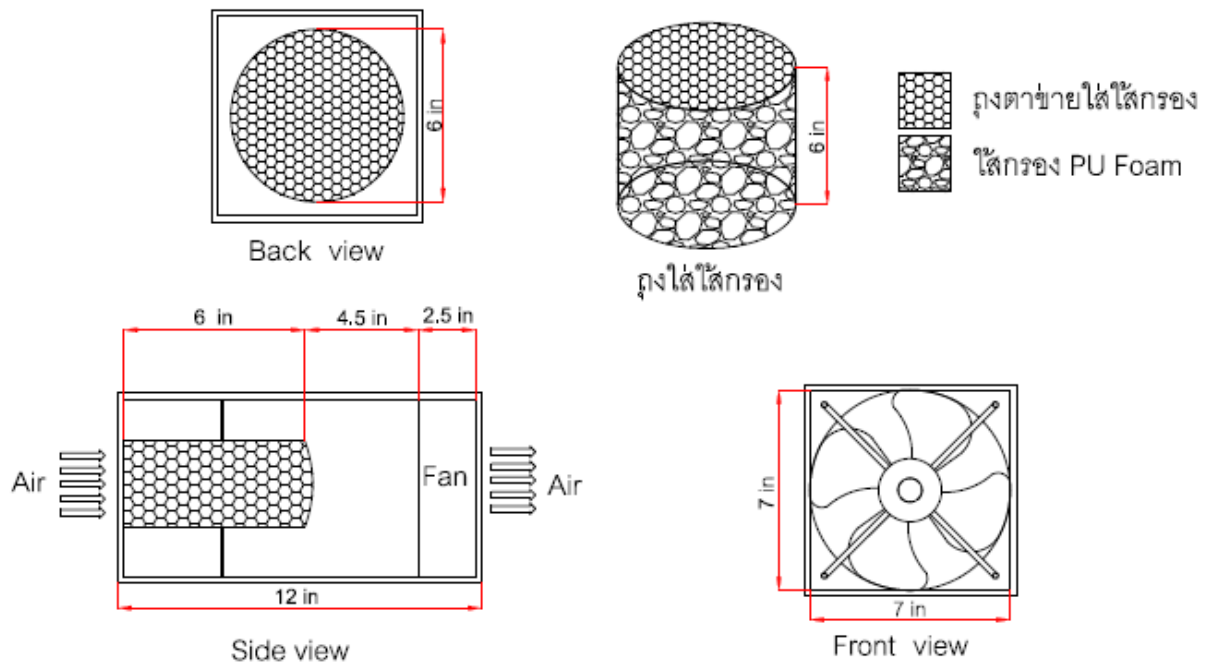
รูปที่ 3-21 พัดลมที่เลือกใช้สำหรับเครื่องฟอกอากาศไส้กรองทรงกระบอกบรรจุโฟมพียู

ผลการทดสอบเบื้องต้นของการใช้พัดลมดูดอากาศทั้ง 2 ชนิด พบว่าสามารถสร้างความดันในการดูดอากาศได้เพียงพอ แต่พัดลมแบบ Vane-axial fan จะสะดวกในการประกอบและติดตั้งเข้ากับตัวโครงเครื่องฟอกอากาศมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้พัดลมแบบ Vane-axial fan ในการสร้างเครื่องต้นแบบต่อไป

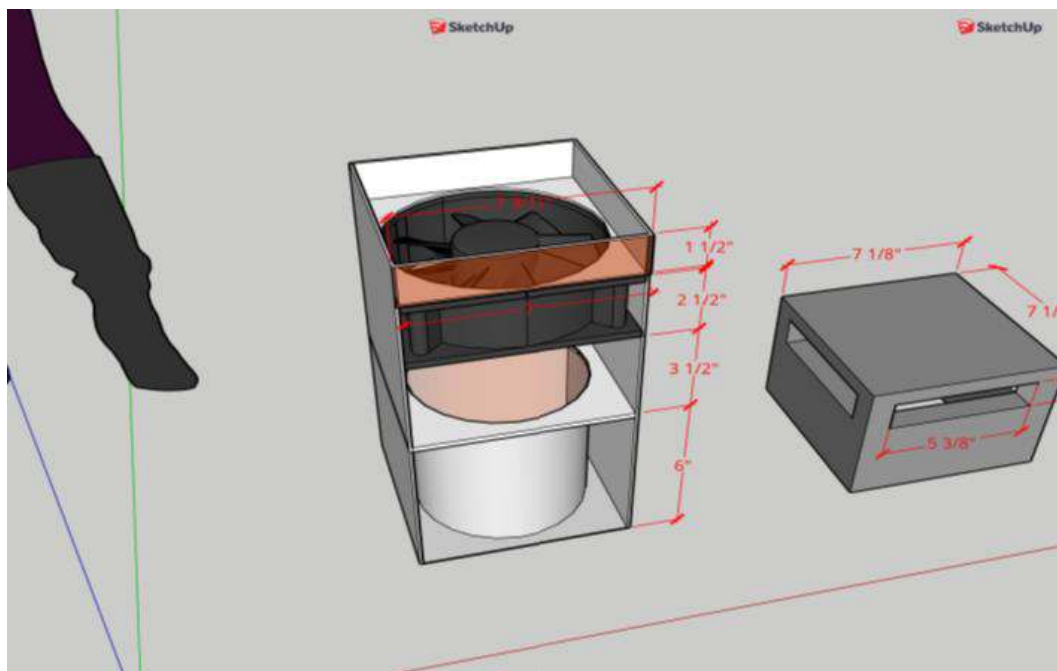
การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองโฟมพียูทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู คณะผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุสังกะสีเป็นหลักเนื่องจากง่ายในการตัด พับ เชื่อม และราคาถูกกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าวัสดุ ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

- (1) โครงตัวเครื่องทำจากสังกะสี ขนาด 18x18x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- (2) โครงกระบอกติดตั้งที่โครงตัวเครื่องสำหรับยึดถุงไส้กรองทำจากสังกะสี ด้านล่างโครงกระบอกรองรับด้วยตะแกรงลวด โดยสามารถรองด้วยแผ่นคาร์บอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นและการดูดซับก๊าซมลพิษและโอโซนได้
- (3) พัดลมแบบ Vane-axial fan ขนาด 65 วัตต์
- (4) ฐานรองเจาะช่องเปิดให้อากาศที่ฟอกแล้วไหลออกทำจากสังกะสี แยกถอดออกจากตัวโครงเครื่องได้

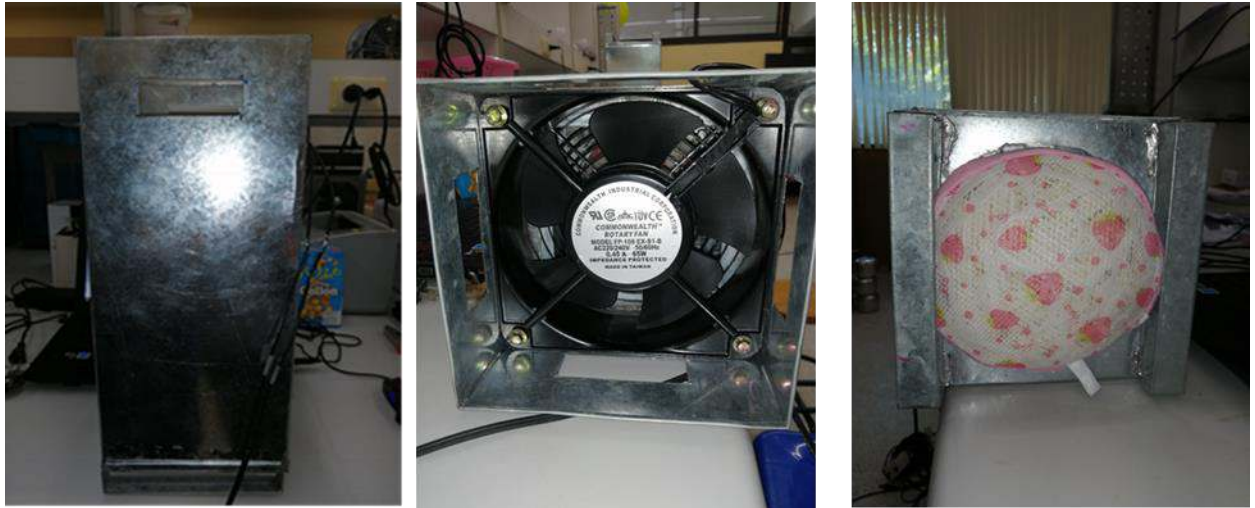
ส่วนรูปที่ 3-22, 3-23 และ 3-24 แสดงแบบร่าง แบบ 3 มิติ และเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จตามลำดับ



รูปที่ 3-22 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู



รูปที่ 3-23 ภาพ 3 มิติเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู



รูปที่ 3-24 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู

อย่างไรก็ดี ผลการทดสอบเครื่องฟอกในภาคสนาม (แสดงในบทที่ 4) พบว่าเครื่องมีขนาดเล็กเกินไปทำให้มีประสิทธิภาพต่ำในการลดฝุ่น PM2.5 ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่

3

1.4.3 เครื่องฟอกอากาศทรงตู้ไส้กรองแบบโฟมพียูก้อน

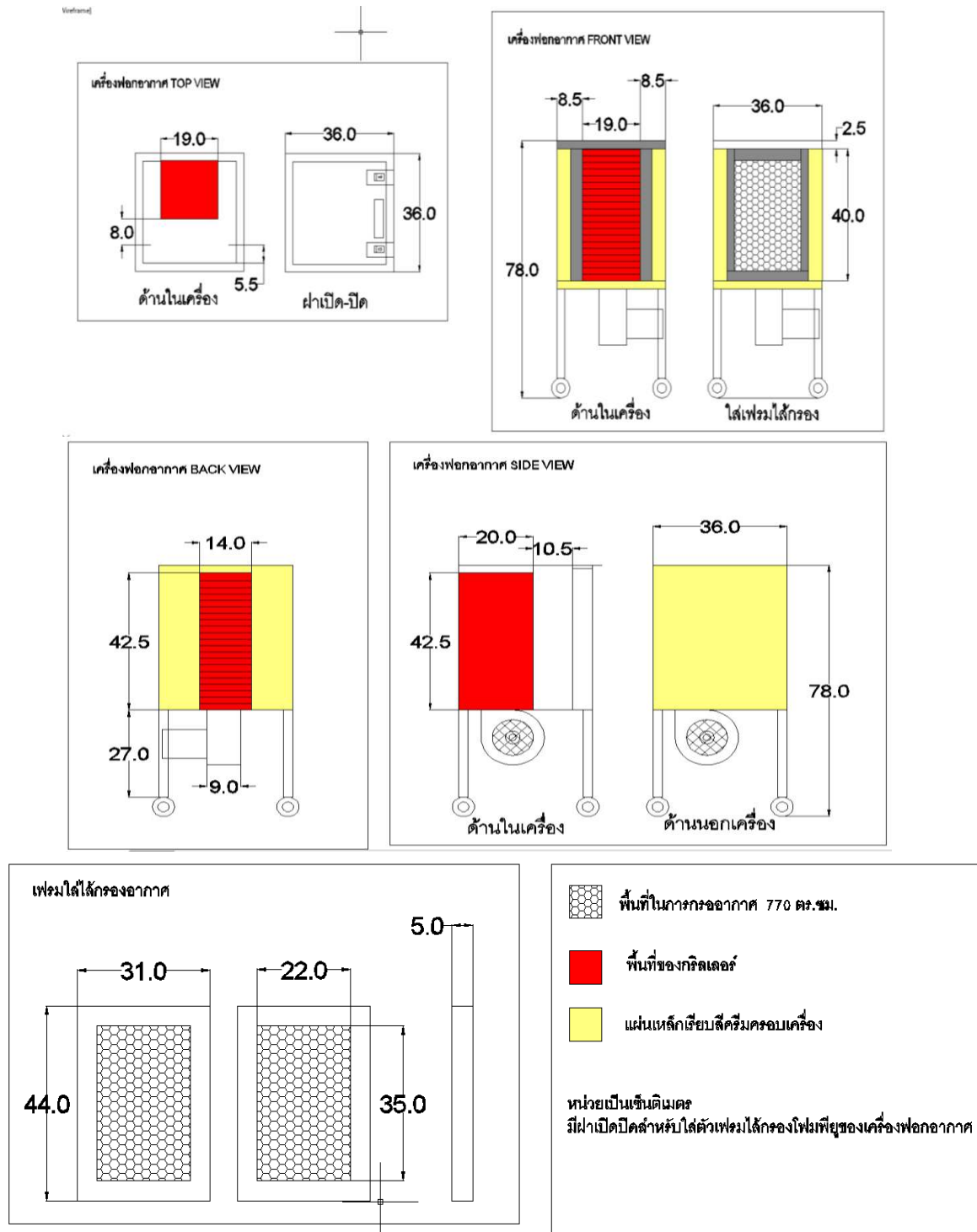
การสร้างเครื่องฟอกอากาศทรงตู้ ใช้เฟรมใส่ไส้กรองโฟมพียูขนาด 1-2 เซนติเมตร ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยโครงที่ 3 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่วิจัยการนำโฟมพียูมาใช้ทดแทนมวลรวมในปูนซีเมนต์สำหรับทำโต๊ะม้านั่ง คณะผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุอะลูมิเนียมในการทำโครงเครื่องฟอกอากาศทรงตู้เพื่อให้ง่ายต่อการสร้าง และยังสามารถได้ง่ายกว่าการใช้สังกะสีเพราะไม่ต้องเชื่อมโลหะ ส่วนแบบร่าง 2 มิติ และเครื่องฟอกอากาศที่สร้างเสร็จของเครื่องฟอกอากาศทรงตู้ แสดงดังรูปที่ 3-25 และ 3-26 ส่วนประกอบเครื่องฟอกอากาศแบ่งออกได้ดังนี้

(1) โครงตัวเครื่องทำจากอะลูมิเนียมและแผ่นเหล็กเรียบสี่ ขนาด 36x36x78 เซนติเมตร มีทางด้านหน้าสำหรับใส่เฟรมอะลูมิเนียมไส้กรอง

(2) ไส้กรองทำจากเฟรมสี่เหลี่ยมผืนผ้าอะลูมิเนียมสำหรับใส่โฟมพียู ขนาด 31x5x44 เซนติเมตร สามารถเปิดปิดเพื่อเปลี่ยนโฟมพียูได้ ดังรูปที่ 3-27

(3) กริลเลอร์ (Griller) ทำจากแผ่นเหล็ก ขนาด 19x20x42.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (รูปที่ 3-26 สีแดง) เพื่อกระจาย และบังคับทิศทางของลมเข้าสู่แผงไส้กรอง

(4) พัดลมหอยโข่ง ขนาด 250 วัตต์ 220 โวลต์ ดังรูปที่ 3-28



รูปที่ 3-25 แบบร่าง 2 มิติ เครื่องฟอกอากาศทรงตู้



รูปที่ 3-26 เครื่องฟอกอากาศทรงตู้ที่สร้างเสร็จ



รูปที่ 3-27 เฟรมใส่ไส้กรองทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า



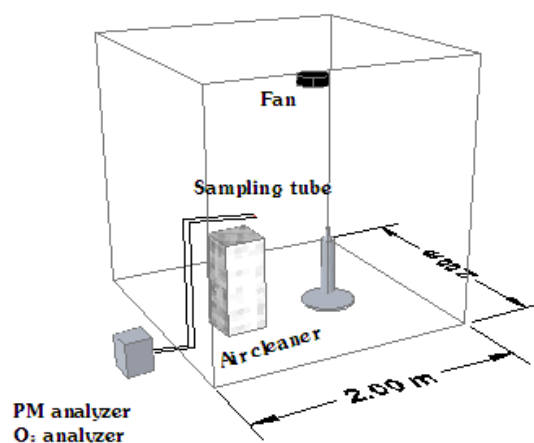
รูปที่ 3-28 พัดลมหอยโข่ง ขนาด 250 วัตต์

1.5 การทดสอบสมรรถนะในการทำความสะอาดอากาศของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ ทำการทดลองในห้องทดสอบขนาดเล็ก (Small-scale environmental chamber) และพยากรณ์ค่าพารามิเตอร์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinear regression analysis) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศ โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1.5.1 ห้องทดสอบขนาดเล็ก

การทดสอบนี้ใช้ห้องทดสอบขนาด 2x2x2 ลูกบาศก์เมตร ทำจากวัสดุมีผิวผนังด้านในเป็นอะลูมิเนียมโดยผนังด้านข้างเจาะช่องสำหรับสอดสายเก็บตัวอย่างอากาศ ซึ่งตำแหน่งที่ติดตั้งท่อเก็บตัวอย่างอากาศอยู่ห่างจากเครื่องฟอกอากาศประมาณ 30 เซนติเมตร และอยู่เหนือพื้นห้องประมาณ 50 เซนติเมตร เครื่องฟอกอากาศติดตั้งบริเวณกลางห้อง บนเพดานห้องติดตั้งพัดลมขนาดเล็กเพื่อช่วยให้อากาศภายในผสมผสานกันอย่างทั่วถึง และควบคุมให้ความเร็วลมภายในห้องไม่เกิน 0.1 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมภายในอาคารโดยทั่วไป ห้องทดสอบที่สร้างขึ้นนี้เป็นห้องทดสอบแบบปิด และติดตั้งบริเวณที่มีอัตราการระบายอากาศสูง เพื่อป้องกันการสะสมของมลพิษภายนอกห้องทดสอบ การควบคุมสภาพแวดล้อมของห้องทดสอบเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของ ASTM 5116-06 (ASTM, 2006) โดยควบคุมอุณหภูมิของห้อง 25-26 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 60-70 รูปที่ 3-29 แสดงลักษณะของห้องทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์ภายในห้อง สำหรับผู้ที่ใช้ในการทดสอบได้จากการจัดรูปในห้องทดสอบให้ได้ระดับ PM_{2.5} 200-300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 3-29 ห้องทดสอบขนาดเล็กและการติดตั้งอุปกรณ์

1.5.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

(1) เครื่องวัดความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็ก PM_{2.5} และ PM₁₀ แบบต่อเนื่อง ได้แก่ เครื่อง 8530 DUSTTRACK II (Aerosol monitor) โดยใช้หลักการ Laser scattering มีช่วงการตรวจวัดตั้งแต่ 0.001 ถึง 150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) เครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ และระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ HI 8564 (Extech Instruments, Co., USA) มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 10-95 และคาร์บอนไดออกไซด์ 0-6,000 ppm

1.5.3 ขั้นตอนการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การหาค่าสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ออกแบบโดยใช้หลักการสมดุลมวลสาร (Mass balance) ดังสมการ 3-3 ในการหาอัตราการทำความสะอาดอากาศหรือ Clean air delivery rate (CADR) อ้างอิงตามมาตรฐาน AHAM (US Association of Home Appliance Manufacturers) นั้น จำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนั้นการศึกษานี้แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลองหลัก เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ ดังนี้

1) การทดลองที่ 1 การวัดอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบ

ในงานวิจัยนี้วัดอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบ (λ) โดยใช้หลักการ Tracer gas decay method ตามข้อกำหนดของ ASTM E741 โดยใช้ Tracer gas คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทดสอบโดยการพ่น Tracer gas เข้าไปภายในห้อง บันทึกค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลมวลของ Tracer gas ในอากาศภายในห้อง ได้ตามสมการ 3-3

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{outdoor} - QC \quad \text{สมการที่ 3-3}$$

แก้สมการที่ 3-3 จะได้

$$C_t = C_0 e^{-\frac{Q}{V}t} + C_{outdoor} (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \quad \text{สมการที่ 3-4}$$

โดยที่ C_t = ความเข้มข้นของ Tracer gas ณ t ใด ๆ
 C_0 = ความเข้มข้นของ Tracer gas ณ ที่เวลาเริ่มต้น
 $C_{outdoor}$ = ความเข้มข้นของ Tracer gas นอกห้องทดสอบ
 Q = อัตราการไหลของอากาศเข้าออกห้องทดสอบ
 V = ปริมาตรห้องทดสอบ
 t = เวลา

ในการหาค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบนั้น พิจารณาในรูปของ Q/V หรือ λ คือ อัตราการไหลของอากาศเข้าออกห้องทดสอบ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ต่อปริมาตรห้องทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งอยู่ในรูปของหน่วยต่อเวลา (ต่อชั่วโมง) โดยทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรงโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ NLREG® ผลการวัดได้ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบ เท่ากับ $0.015 \pm 8.4 \times 10^{-5}$ ต่อชั่วโมง โดยมีค่า Proportion of variance explained (R^2) เท่ากับ 0.954

2) การทดลองที่ 2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่นขนาดเล็ก

การสูญหายของฝุ่นขนาดเล็กออกจากอากาศภายในห้องทดสอบ นอกเหนือจากการกำจัดโดยเครื่องฟอกอากาศแล้ว ยังมีกลไกตามธรรมชาติอื่นร่วมด้วย เช่น การ

ตกตะกอน การเคลื่อนที่ของฝุ่นสู่พื้นหรือผนังห้อง เป็นต้น กลไกเหล่านี้ทำให้ฝุ่นสูญหายจากบรรยากาศสามารถแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสูญหาย (Loss rate coefficient, k_{loss}) ซึ่งเป็นค่าที่แปรผันตามความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ ซึ่งกลไกที่ทำให้ความเข้มข้นฝุ่นภายในห้องลดลงเกิดจากการสูญเสียภายในห้อง (k_{loss}) และการระบายอากาศหรือการรั่วไหลของอากาศออกนอกห้อง ค่านี้สามารถหาได้โดยการจุ่มรูป เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 200-300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการบันทึกค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศ สามารถเขียนสมการสมดุลมวลของฝุ่นในอากาศได้ตามสมการที่ 3-5

$$V \frac{dC_t}{dt} = -QC_t - k_{loss} C_t \quad \text{สมการที่ 3-5}$$

ในกรณีที่ความเข้มข้นฝุ่นภายนอกห้องทดสอบมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นภายในห้อง แก่สมการที่ 3-5 จะได้

$$C_t = (C_0 - C_{background}) * \exp(-(\lambda + k_{loss})t) + C_{background} \quad \text{สมการที่ 3-6}$$

โดยที่

C_t = ความเข้มข้นของฝุ่น ณ t ใดๆ

C_0 = ความเข้มข้นของฝุ่น ณ ที่เวลาเริ่มต้น

$C_{background}$ = ความเข้มข้นฝุ่นภูมิหลังในห้องทดสอบ

λ = อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบได้จากการทดลองที่ 1 รวมกับอัตราการดูดอากาศของเครื่องวัดฝุ่น 3 ลิตรต่อนาที ดังนั้นมีค่ารวมเท่ากับ 0.037 ต่อชั่วโมง

สัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่นแต่ละขนาดนั้น พิจารณาในรูปต่อหน่วยเวลา โดยบันทึกค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาภายในห้องทดสอบที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งวิเคราะห์หาค่า k_{loss} ของฝุ่นแต่ละขนาดได้จากการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ NLREG® ผลการวัดได้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น PM2.5 ในห้องทดสอบ เท่ากับ 0.143 ± 0.0013 ต่อชั่วโมง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.980

3) การทดลองที่ 3 การวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศ

Clean Air Delivery Rate (CADR) คือ ค่าพารามิเตอร์มาตรฐานสำหรับวัดสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศ โดย CADR เท่ากับ ผลคูณของอัตราการไหลของกระแสอากาศผ่านเครื่องฟอกอากาศ กับ ประสิทธิภาพของตัวเครื่องในการกำจัดมลพิษ ในงานวิจัยนี้วัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศโดยติดตั้งอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3-20 ฝุ่นที่ใช้ในการทดลองมาจากการเผาไหม้รูปให้ได้ความเข้มข้น PM2.5 200-300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นจึงเปิดเครื่องฟอกอากาศที่ติดตั้งภายในห้องทดสอบ และวัด

ความเข้มข้นฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถเขียนสมการสมดุลมวลของฝุ่นได้ตามสมการที่ 3-7

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{outdoor} - QC - Q_{device} \eta C - k_{loss} C \quad \text{สมการที่ 3-7}$$

สมการที่ 3-7 ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า อากาศภายในห้องทดสอบมีการผสมผสานอย่างดีและทั่วถึง ถ้าความเข้มข้นของฝุ่นภายนอกห้องทดสอบ ($C_{outdoor}$) มีค่าน้อยมาก สามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็นสมการที่ 3-8

$$V \frac{dC}{dt} = -QC - CADR * C - k_{loss} C \quad \text{สมการที่ 3-8}$$

แก้สมการที่ 3-8 ได้

$$C_t = (C_0 - C_{background}) * \exp\left(-\left(\lambda + \frac{CADR}{V} + \frac{k_{loss}}{V}\right)t\right) + C_{background} \quad \text{สมการที่ 3-9}$$

โดยที่

$$CADR = Q_{device} \eta$$

λ = อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบได้จากการทดลองที่ 1
รวมกับอัตราการดูดอากาศของเครื่องวัดฝุ่น 3 ลิตรต่อนาที ดังนั้นมีค่ารวมเท่ากับ 0.037 ต่อชั่วโมง

k_{loss} = สัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่นขนาดเล็กเนื่องจากกลไกอื่นๆ ได้จากการทดลองที่ 2

ดังนั้น ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดฝุ่นสามารถหาได้จากการบันทึกค่าความเข้มข้นฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาขณะที่เปิดเครื่องฟอกอากาศ แล้วนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ NLREG®

2. การออกแบบและสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย

การกรองไอสารระเหยในปัจจุบันมีหลายวิธีและประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โดยเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Commercial Proven) ได้แก่ ระบบบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber) และ การดูดซับ (Absorption)

ระบบบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber) เป็นหลักการถ่ายเทมวลสารจากตัวกลางแรก ไปยังตัวกลางที่หลัง เช่น อากาศที่มีไอรกตปนเปื้อน จะนำละอองน้ำมาสัมผัสกับมวลสาร (เช่น ไอรกต) เพื่อให้ถ่ายเทไปยังมวลสารหลัง (น้ำ) แล้วนำน้ำไปบำบัดต่อ การบำบัดอากาศในลักษณะนี้ จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อ มวลสารนั้น สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น ไอรกต ไอต่าง เป็นต้น หากนำไปกำจัดไอสารระเหยง่าย (VOCs) ในอากาศนั้น จะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากไอสารระเหยง่ายส่วนใหญ่มี

ความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีพอ ดังนั้นโครงการนี้ จึงไม่เลือกกระบวนการบำบัดอากาศแบบเปียกมาทำการออกแบบและสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย

การดูดซับ (Absorption) เป็นหลักการตรึงมวลสารให้ติดอยู่ในรูพรุนของตัวกลาง (ถ่านกัมมันต์ หรือ ตัวกลางดูดซับตัวอื่น) โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิว เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van De Waal Force) ลักษณะของมวลสารที่สามารถถูกตรึงได้ ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ เช่น สารไอระเหยที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป ได้แก่ กลุ่ม BTEX (Benzene, Toluene, EthylBenzene และ Xylene) ซึ่งเป็นสารระเหยหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป และสามารถระเหยในบรรยากาศโดยทั่วไป

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากโฟมพียูที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยนำโฟมพียูที่เหลือทิ้งมาใช้เป็นตัวกรองไอสารระเหย ซึ่งโดยทั่วไปโฟมพียูที่ใช้แล้วนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี ด้วยวิธีการเผาในโรงงานปูนซีเมนต์

2.1 แนวคิดการออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหย

การออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหย ประกอบด้วยหลายปัจจัย ดังนี้

2.1.1 การพิจารณาไอสารระเหยที่จะกำจัด ได้แก่

- (1) คุณสมบัติทางเคมี
- (2) ค่าการละลายน้ำ
- (3) ระดับความเข้มข้นของไอสารระเหย
- (4) ระดับความปลอดภัย ที่ผู้ที่ได้รับไอสารระเหยไม่เกิดผลกระทบทางสุขภาพ
- (5) ระดับความเข้มข้นไอสารระเหย ที่ไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ

2.1.2 การพิจารณาการออกแบบเครื่องกรอง ได้แก่

- (1) การบำรุงรักษา
- (2) ความปลอดภัยในการใช้งาน ทางกล และไฟฟ้า

2.1.3 การจัดการกากของเสียอันตราย ได้แก่

- (1) การนำไปกำจัด
- (2) การรวบรวมขนส่ง
- (3) ความปลอดภัยในการทำงาน

ในกรอบงานวิจัย เป็นการมุ่งหวังหาและสร้างประโยชน์ที่ยังคงหลงเหลือจากของเหลือทิ้ง (PU FOAM) ดังนั้นในข้อย่อย 2.1.1 จะดำเนินการเพียงขั้นตอนที่ (1)-(3) ซึ่งขั้นตอนที่ (4)-(5) อาจจะดำเนินการในโอกาสต่อไป เพื่อต่อยอดให้สามารถนำโฟมพียูไปทดแทนถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ได้ในอนาคต ส่วนในข้อย่อย 2.1.2 และ 2.1.3 อยู่ในขอบเขตงานวิจัย เพราะเมื่อมีการถ่ายทอดออกไปสู่ชุมชน ควรต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่เพียงพอต่อการใช้งาน

การออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหยขึ้นกับสมมติฐาน ดังนี้

- โฟมพียู มีลักษณะเป็นรูพรุน และเป็นคาร์บอน (Carbon material) คล้ายโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่ใช้ในการกรองสารไอระเหย จึงนำเอาหลักการนี้มาประยุกต์ ในหลักคิดของ Relife/Remark concept.
- ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นตัวดูดซับไอสารระเหย ซึ่งเมื่อดูดซับเต็มที่แล้ว จะนำไปฟื้นฟูสภาพด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis) เพื่อได้ สารอินทรีย์ที่ตกค้างด้านในออก และนำกลับไปใช้ใหม่ เพียงแต่ว่า ในกระบวนการดังกล่าวต้องดำเนินการครั้งละจำนวนมากกว่า 20,000 กิโลกรัม อย่างต่อเนื่อง ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับไปสารระเหยสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็กมีการใช้งานในปริมาณน้อยแต่กระจายกระจาย และหลากหลายอุตสาหกรรม จึงไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ (Regenerated) ได้ จึงเป็นการใช้เพียงครั้งเดียวแล้วนำไปทำลายโดยการเผา
- โฟมพียูที่ใช้เป็นฉนวนกันความเย็นและ/หรือความร้อน เมื่อหมดอายุการใช้งานจากเครื่องมือหลัก เช่น ตู้เย็น จะกลายเป็น ชากที่ไม่มีมูลค่าต่อ และ ต้องการพื้นที่จัดเก็บขนาดใหญ่ และหากเกิดเพลิงไหม้ จะเกิดมลพิษทางอากาศในปริมาณสูง
- การนำโฟมพียูมาประยุกต์เป็นเครื่องกรองไอสารระเหยนั่น แม้การประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นจะน้อยกว่าถ่านกัมมันต์มาก จนไม่สามารถนำไปใช้งานอย่างจริงจัง เพื่อทดแทนถ่านกัมมันต์ได้ แต่เป็นการลดปริมาณการใช้ถ่านกัมมันต์ลงได้ ก่อนที่โฟมพียูจะถูกนำไปเผาทำลายอย่างถูกวิธีต่อไป

2.2 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหย

2.2.1 การคำนวณระยะเวลาการดูดซับไอสารระเหย (Retention Time หรือ Contact time) ของโฟมพียู โดยในกรณีนี้อาจไม่มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลไอโซเทอมของโฟมพียู มาอยู่ในกระบวนการออกแบบ แต่จะนำมาประเมินอายุของโฟมพียู เพื่อใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาและนำไปกำจัด

อุปกรณ์และเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

- ทินเนอร์ (เกรด AAA) ดังรูปที่ 3-30 ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้งานอยู่ทั่วไป มีส่วนประกอบหลักเป็นสารผสม BTEX ตามสัดส่วนของแต่ละโรงงานผู้ผลิต จึงใช้เป็นสารระเหยตัวแทนของมลสารในอากาศ



รูปที่ 3-30 ทินเนอร์ทั่วไปเกรด AAA

- เครื่องวัดไอสารระเหยแบบ Photo Ionized Detector (รูปที่ 3-31) มีหลักการทำงานคือ ภายในเครื่องมีหลอดกำเนิดแสงอนุภาคสูง ที่ 10.6 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เมื่อลำแสงฉายผ่านอนุภาคไอสารระเหยที่ผ่านเข้ามา อนุภาคไอสารระเหย จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้า และทำให้ตัวรับศักย์ไฟฟ้าภายในเครื่องวัดมีการเปลี่ยนแปลง โดยแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข เครื่องนี้ไม่สามารถแยกชนิดสารไอสารระเหยได้โดยตรง แต่เป็นค่าเทียบเคียงที่มีการปรับตั้งจากโรงงานผู้ผลิต โดยมีการปรับความถูกต้องด้วยการอ่านค่าความเข้มข้นของไอสารระเหยที่มีความเข้มข้นแน่นอน (Reference Standard Vapor)



รูปที่ 3-31 เครื่องวัดไอสารระเหยแบบ Photo Ionized Detector

- เครื่องวัดลม เป็นแบบ pitot tube (รูปที่ 3-32) คือจะมีการใช้ความแตกต่างของแรงดันที่กระทำต่อ sensor ภายใน



รูปที่ 3-32 เครื่องวัดความเร็วลมแบบ Pitot Tube

2.2.2 การออกแบบขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับตำแหน่งและส่วนประกอบของสถานที่ในทางกายภาพ เครื่องกรองอากาศต้นแบบนี้ จะมุ่งเน้นเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพในภาคสนาม โดยคำนึงถึงปัจจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานที่มีไอสารระเหยปนอยู่ในอากาศ

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1) ตรวจสอบความเป็นรูพรุน โดยการส่องด้วยกล้อง SEM (Scanning Electron Microscopy) เพื่อดูลักษณะของรูพรุน เทียบกับถ่านกัมมันต์
- 2) ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของโฟมพียูที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นตัวกรอง
- 3) ตรวจสอบค่าความดัน (Pressure drop) ของโฟมพียูที่นำมาใช้ (Selected shape PU foam filter) เพื่อประกอบการเลือกประสิทธิภาพของพัดลมที่จะนำมาใช้งาน
- 4) ตรวจสอบไอโซเทอม (Isotherm) ของโฟมพียูในการดูดซับไอสารระเหย
- 5) เลือกตัวแทนของไอสารระเหย ที่จะนำมาเป็นตัวแทนในงานวิจัย
- 6) นำปัจจัยต่างๆ (Parameters) มาออกแบบ เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบ โดยยึดหลักของการนำวัสดุในพื้นที่มาใช้งาน และอะไหล่ที่สามารถหาได้ในพื้นที่ห่างไกลทั่วไป
- 7) นำไปทดสอบ เพื่อหาข้อบกพร่อง ในรายละเอียดต่อไป และนำมาปรับปรุง
- 8) นำออกเผยแพร่

3. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2562. ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. สืบออนไลน์จาก

http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php. [กรกฎาคม 2562].

มณีรัตน์ องค์กรธรณี, ทับทิม ขาดิสุวรรณ, อติศักดิ์ ปัตติยะ. 2562. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการใช้ถ่านชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วเป็นสารดูดซับมลพิษอากาศในอาคาร.

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2562), 91-102.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องเซรามิก. มอก. 2398-2553.

Godish, T. 1989. Indoor air pollution control. Michigan: Lewis.

- Ongwandee M, Moonrinta R, Panyametheekul S, Tangbanluekal C, and Morrison G. 2011. Investigation of volatile organic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: concentrations, sources, and occupant symptoms. *Building and Environment*. 46: 1512-1522.
- Ongwandee M, and Kruewan A. 2012. Evaluation of portable household and in-car air cleaners for air cleaning potential and ozone-initiated pollutants. *Indoor and Built Environment*. 22: 659–668.

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย สมมติฐาน แนวคิดการวิจัย และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งตามหัวข้อการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู

เนื่องจากโฟมพียู หรือโพลียูรีเทน (Polyurethane: PU foam) มักใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โดยเฉพาะตู้เย็น โครงการฯ นี้จึงมีแนวคิดในการนำเศษโฟมพียูที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ด้วยการนำมาทำเป็นตัวกลางในการดักจับฝุ่น และ/หรือ ตัวกลางในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) แล้วสร้างเป็นเครื่องฟอกอากาศ

กรอบและขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

- การศึกษาความสามารถการดูดซับของโฟมพียู (ไอโซเทอม)
- การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ซึ่งในเบื้องต้นนั้นได้ทำการศึกษาสมบัติของโฟมพียู และความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองของโฟมพียู โดยมีรายละเอียด รวมถึงขั้นตอนการทดลองหาความสามารถการดูดซับ และแนวทางการออกแบบเครื่องฟอกอากาศ ดังนี้

1.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของโฟมพียู (PU foam)

โฟมพียูที่ใช้ในการทดลองสำหรับผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศในโครงการวิจัยนี้ได้จากฉนวนกันความร้อนของตู้เย็นที่นำมาแยกชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อรีไซเคิลวัสดุประกอบที่มีมูลค่า โดยปกติฉนวนกันความร้อนหลังถูกแยกออกจากโครงตู้เย็นแล้ว ผู้คัดแยกหรือผู้ประกอบการจะนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบขยะ ในโครงการวิจัยนี้นำโฟมพียูมาจาก ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ สมบัติของโฟมพียูทางกายภาพและเคมีแสดงดังต่อไปนี้

1) ลักษณะทางกายภาพเชิงประจักษ์ (Visual appearance) รูปที่ 3-1 แสดงวิธีการแยกฉนวนโฟมพียูออกจากโครงตู้เย็น ซึ่งโครงตู้ที่เป็นพลาสติกแข็งสามารถนำไปขายเพื่อรีไซเคิลได้ ในขณะที่โฟมพียูจะถูกนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบขยะของชุมชน โฟมพียูนี้มีความหนาประมาณ 49 มม. ลักษณะทางกายภาพเชิงประจักษ์ขึ้นกับสภาพที่โฟมพียูหรือโครงตู้เย็นถูกจัดเก็บไว้ในบริเวณทำการคัดแยก



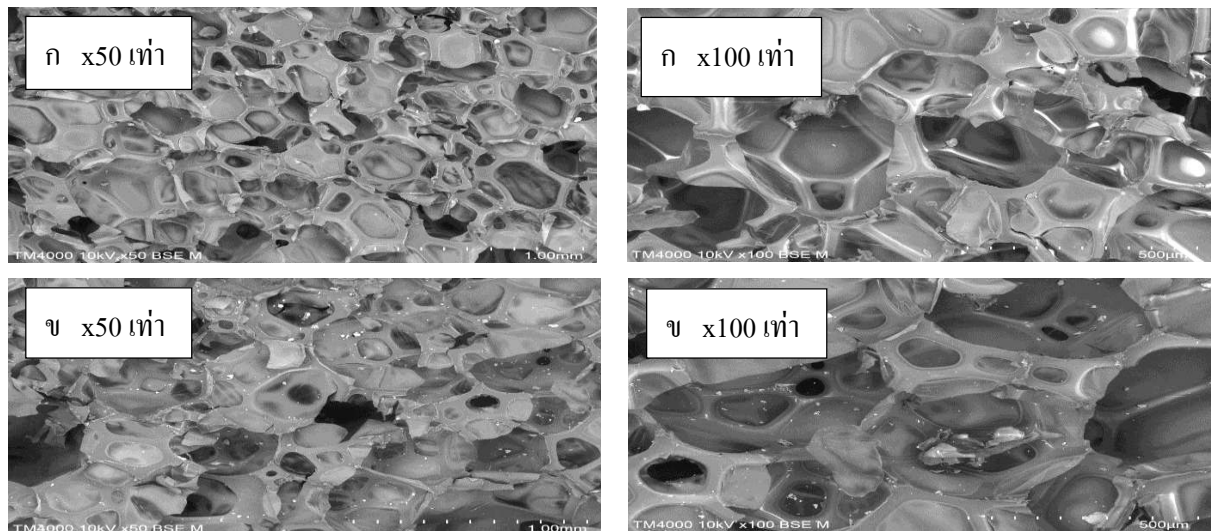
รูปที่ 3-1 วิธีการแยกโฟมพียูออกจากโครงตู้เย็น

โฟมพียูที่จัดเก็บในที่ร่มมีสภาพใกล้เคียงโฟมพียูใหม่ มีสีขาวนวล เมื่อสัมผัสผิวโฟมมีลักษณะราบลื่น ไม่เป็นขุย ดังรูปที่ 3-2(ก) ในขณะที่โฟมพียูซึ่งถูกวางในที่โล่ง ถูกแดด ลม (Weathered) พบว่ามีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ผิวสัมผัสเป็นขุย ผง ความแข็งแรงจากการกดสัมผัสลดลง



รูปที่ 3-2 ลักษณะกายภาพเชิงประจักษ์ของ (ก) โฟมพียูที่จัดเก็บไม่ถูกแดด และ (ข) โฟมพียูที่ถูกแดดลม

2) โครงสร้างระดับจุลภาค (Microstructure) ทำการวิเคราะห์โฟมพียูด้วยภาพถ่ายกำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (TM4000Plus, Hitachi, Japan) รูปที่ 3-3 แสดงภาพถ่ายโฟมพียู (SEM images) เปรียบเทียบระหว่างโฟมที่เก็บในที่ร่ม และโฟมที่ถูกแดดลม ด้วยกำลังขยาย 50 และ 100 เท่า



รูปที่ 3-3 ภาพถ่ายโฟมพียูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด กำลังขยาย 50 และ 100 เท่า ของ
(ก) โฟมที่เก็บในที่ร่ม และ (ข) โฟมที่ถูกแดดลม

จากภาพถ่าย SEM ของโฟมพียูแสดงลักษณะโครงสร้างที่เป็นช่องเปิด (Opening space) ที่เชื่อมโยงกันเป็นชั้นๆ ช่องเปิดมีขนาด 20-50 ไมครอน โฟมพียูที่ผ่านสภาพอากาศถูกแดดลมพบว่ามีส่วนโฟมขนาดเล็กๆ จำนวนมากปรากฏที่พื้นผิว โครงสร้างช่องเปิดแตกหักมากกว่าโฟมที่จัดเก็บในที่ร่ม ดังนั้นผิวสัมผัสจึงเป็นผอง ร้อนติดมือได้ ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับการนำมาผลิตเป็นไส้กรองของเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก

3) การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ใช้การชั่งน้ำหนักแห้งและน้ำหนักอิ่มตัว ตามมาตรฐานวิธีทดสอบของ มอก. 2398 เล่ม 3 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2553) ทำการทดสอบซ้ำ 2 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างไปอบไล่ความชื้น 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานที่เย็นแล้วไปชั่งน้ำหนัก (m_1) จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นงานที่เย็นแล้วไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (รูปที่ 3-4) แล้วนำขึ้นมาเช็ดผิวด้วยผ้าซามัวร์ แล้วชั่งน้ำหนักทันที (m_2) ดังรูปที่ 3-5 ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้ตามสมการที่ 3-1

$$\text{การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad \text{สมการที่ 3-1}$$



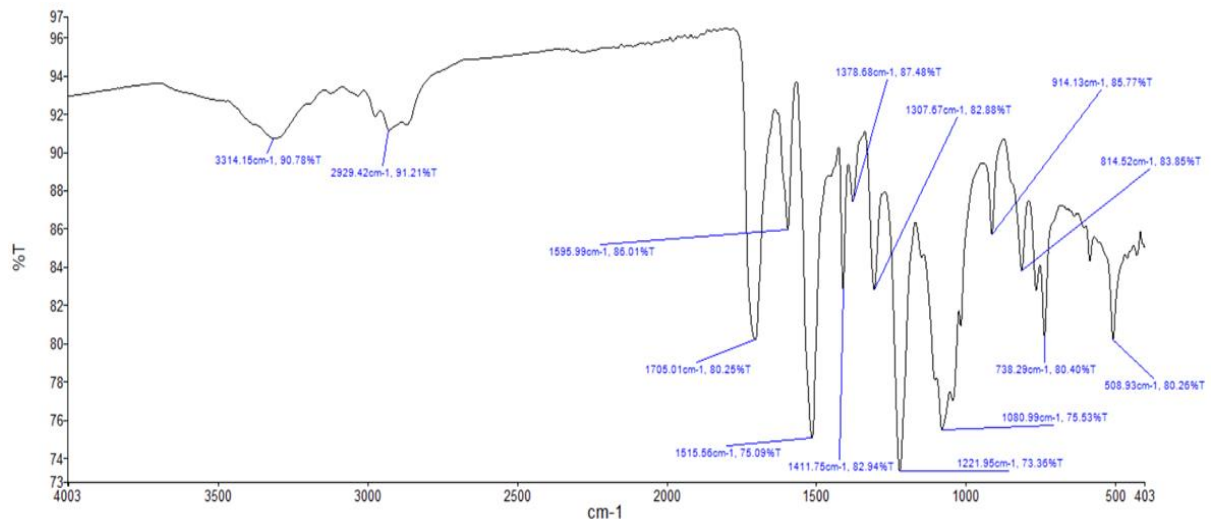
รูปที่ 3-4 การแช่โฟมในน้ำ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3-5 การชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ

ผลการวัดการดูดซึมน้ำของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่มมีค่าเท่ากับร้อยละ 36 ในขณะที่โฟมพียูที่ถูกแดดลมนี้อาจมีค่าเท่ากับร้อยละ 65 ± 4 ซึ่งให้เห็นว่าโครงสร้างของโฟมที่เสื่อมสภาพลงมีผลต่อการเพิ่มการดูดซึมน้ำ ซึ่งอาจไม่เหมาะต่อการนำไปผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศสำหรับกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก เพราะโฟมอาจดูดซึมหรือดูดซับความชื้นในอากาศไว้ทำให้ลักษณะพื้นผิวโฟมเปลี่ยนแปลงได้ อย่างไรก็ตาม โฟมพียูที่เสื่อมสภาพนี้อาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำสำหรับปลูกต้นไม้ประดับ

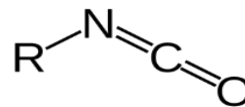
4) หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว (Functional surface) การวิเคราะห์พื้นผิวทางเคมีของโฟมพียูด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) (Spotlight200i, PerkinElmer, USA) โดยรูปที่ 3-6 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสง (Spectral transmittance, %T) อินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรด (Infrared and near-infrared) ในช่วงความยาวคลื่น $4000-400$ เซนติเมตร⁻¹ ของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่ม ซึ่งแสดงถึงการสั่นพันธะของ O-H stretch, H-bonded, C=O stretch, C-O stretch, C-N stretch และ C-H ในช่วง $1,800-500$ เซนติเมตร⁻¹



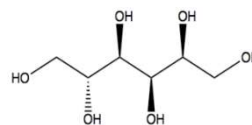
รูปที่ 3-6 สเปกตรัมการส่งผ่านแสงอินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรดของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่ม

โฟมพียูหรือโพลียูเรเทนโพนสังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ di- หรือ tri-poly-isocyanate กับ polyol โดยมี carbamate เป็นตัวเชื่อม ดังรูปที่ 3-7 ดังนั้นจึงแสดงฟังก์ชันนอล 2 หรือมากกว่า 2 กลุ่มบนโมเลกุลของยูเรเทน จึงทำให้ตรวจพบการสั่นของพันธะดังกล่าวข้างต้น

(ก) โมโนเมอร์ isocyanate



(ข) โมโนเมอร์ polyol



รูปที่ 3-7 โมโนเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์โฟมพียู (ก) isocyanate (ข) polyol

5) ความเป็นรูพรุนของวัสดุโฟม วัดด้วยเครื่องวัดความเป็นรูพรุนของวัสดุโดยการแทนที่ด้วยปรอท (Mercury intrusion porosimeter, MIP, MicroActive AutoPore V 9600 Version 1.03) โดยส่งตรวจวิเคราะห์ที่สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 3-1 สมบัติการเป็นรูพรุนของโฟมพียู

Parameters	Results
Total intrusion volume	24.000 ml/g
Total pore area	35.719 m ² /g
Average pore diameter	2.689 μm
Bulk density at 10.07 psia	0.0366 g/ml
Apparent (skeletal) density at 59,965 psia	0.2998 g/ml
Porosity	73.50%

โฟมพียูที่ได้จากฉนวนกันความร้อนตู้เย็นแบบที่ไม่โดนแดดลม มีค่าพรุน (porosity) ร้อยละ 73 และมีพื้นที่ผิวรูพรุนเท่ากับ 35.7 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับถ่านชาร์ไม้กระถินยักษ์จากกระบวนการไพโรไลซิส มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2.75 ตารางเมตรต่อกรัม (มณีรัตน์ และคณะ, 2562) ดังนั้นความพรุนและพื้นที่ผิวรูพรุนที่สูงทำให้โฟมพียูมีคุณสมบัติเหมาะสมนำมาใช้เป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก และใช้ดูดซับก๊าซหรือไอระเหยมลพิษอากาศได้

1.2 ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถการดูดซับของโฟมพียู หรือไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm)

งานวิจัยนี้ออกเหนือจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโฟมพียูมาเพิ่มมูลค่าโดยผลิตเป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กแล้ว ยังนำมาศึกษาการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับมลพิษอากาศ โดยเฉพาะในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยซึ่งมีหลากหลายชนิดที่ตรวจพบในอาคารทั่วไป (Ongwandee et al., 2011) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โทลูอินเป็นตัวแทนสารมลพิษอินทรีย์ระเหยในการศึกษาความสามารถในการดูดซับของโฟมพียู

ขั้นตอนการทดลองการดูดซับของโฟมพียู มีดังต่อไปนี้

(1) ตัดโฟมพียูให้มีขนาดประมาณ 5x15x3 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบไล่สิ่งปนเปื้อนบนโฟมออกด้วยเตาอบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วใส่เข้าไปในขวด 20 มิลลิลิตร ขวดละ 1 ชิ้น

(2) จากนั้นเติมก๊าซไนโตรเจนความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 เข้าไปในขวดที่มีตัวอย่างโฟม แล้วปิดฝาให้สนิท

(3) ใช้เข็มฉีดยาดูดโทลูอินจากถุงเก็บก๊าซที่เตรียมความเข้มข้นก๊าซโทลูอินมาตรฐานไว้แล้วคือ 0.86 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ฉีดเข้าไปในขวดที่มีตัวอย่างโฟม เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซโทลูอินในขวดเท่ากับ 0.86, 0.77, 0.69, 0.60, 0.52, 0.43, 0.34, 0.26, 0.17 และ 0.09 ไมโครกรัม ปิดรูเข็มด้วยพาราฟิล์ม

แสดงดังรูปที่ 3-8 จากนั้นนำขวดดูดซับไปแช่เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องแช่เยือกเยือก (OS-10, BIOSAN, Republic of Latvia)



รูปที่ 3-8 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ

(4) หลังจากแช่เยือก 24 ชั่วโมง ใช้อุปกรณ์ Solid phase micro extraction (SPME) ชักตัวอย่างก๊าซโวลูอื่นที่หลงเหลืออยู่ในขวด แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography flame ionization detector (GC/FID) โดยการเปรียบเทียบหาปริมาณโวลูอื่นด้วยกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน

การชักตัวอย่างก๊าซและการวิเคราะห์โวลูอื่น งานวิจัยนี้ใช้เทคนิค SPME GC/FID มีรายละเอียดการชักตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างดังนี้

- (4.1) การชักตัวอย่างก๊าซโวลูอื่นด้วย SPME ประกอบด้วยเวลาสกัดและเวลาคาย โดยเวลาสกัดคือเวลาที่ SPME Fiber สัมผัสกับมลพิษอากาศในขวดตัวอย่างที่เตรียมไว้ และเวลาคายเป็นเวลาที่ SPME Fiber สัมผัสกับความร้อนในคอลัมน์ของเครื่อง GC-FID ในการทดลองนี้กำหนดทั้งเวลาสกัดและเวลาคายไว้ 3 นาที โดยใช้ SPME Fiber ชนิด DVB/CAR/PDMS ที่มีความสามารถในการดูดซับทั้งสารมีขั้วและไม่มีขั้ว โดยขั้นแรกของการตรวจวัดคือ เสียบ SPME Holder เข้าไปในขวดตัวอย่างที่มีมลพิษอากาศ จากนั้นหมุน SPME Fiber ออกมาแล้วจับเวลา 3 นาที (เวลาสกัด) เมื่อครบ 3 นาทีหมุน SPME Fiber กลับแล้วนำ SPME Holder ออกจากขวดแล้วไปเสียบที่เครื่อง GC-FID หมุน SPME Fiber ออกมาให้เครื่อง GC-FID วิเคราะห์ จับเวลา 3 นาที (เวลาคาย) เมื่อครบ 3 นาทีหมุน SPME Fiber กลับแล้วนำ SPME Holder ออกจากเครื่อง GC-FID
- (4.2) การวิเคราะห์หาปริมาณโวลูอื่นด้วยเครื่อง GC/FID โดยมีสภาวะของเครื่อง GC-FID ที่ใช้วิเคราะห์โวลูอื่น ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สภาวะของเครื่อง GC-FID ที่ใช้วิเคราะห์โพลูอิน

Parameters	Conditions
Column Type	Rtx®-5MS Column length 30 m, Film thickness 0.25 µm
Column Oven Temp	40 °c
Injection Temp	250 °c
Injection Mode	Split
Flow Control Mode	Linear Velocity
Pressure	80.5 kPa
Total Flow	6.0 mL/min
Column Flow	1 mL/min
Split Ratio	2
Oven Temp. Program Rate	20 °c/min
Temperature	40-60 °c

(5) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาไอโซเทอมการดูดซับเพื่อหาความสามารถในการดูดซับโพลูอินของโฟมพียู ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Nonlinear regression (NLREG) ซึ่งเป็นโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear regression method) มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับ โดยทำการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับด้วยสมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm) ซึ่งอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า พื้นที่ของตัวดูดซับมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด กล่าวคือ ผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ ทำให้พื้นที่ผิวและพลังงานของตัวดูดซับมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง โดยสมการที่ใช้คือ

$$q_e = K_f C_e^n$$

สมการที่ 3-2

โดย q_e คือ ความสามารถในการดูดซับก๊าซโพลูอินของโฟมพียู (ไมโครกรัมต่อกรัม) K_f คือ ค่าคงที่แสดงถึงความจุจำเพาะของการดูดซับที่สภาวะความเข้มข้นค่าใดๆ (specific capacity) C_e คือ ความเข้มข้นของก๊าซโพลูอิน ณ สภาวะสมดุล (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และ n คือ ค่ายกกำลังแสดงถึงระดับการสะสมและความหลากหลายของพลังงานในปฏิกิริยาการดูดซับ

1.3 การทดสอบเบื้องต้นในการใช้โฟมพียูดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศเพื่อดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เนื่องจากเป็นขนาดอนุภาคที่สร้างผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เป็นหลัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) แหล่งกำเนิด PM2.5 ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการเผาไหม้ธูปโดยอ้างอิงระเบียบวิธีวิจัยของ Ongwandee and Kruewan (2012) ซึ่งชี้ว่าสัดส่วนมวลของอนุภาคขนาด 2.5 ไมครอนต่ออนุภาคขนาด 10 ไมครอน (PM2.5 ต่อ PM10) จากการเผาไหม้ธูป อยู่ในช่วงร้อยละ 86.15–95.01 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเป็นอนุภาคหลักจากการเผาไหม้ธูป

การทดลองเบื้องต้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบไส้กรองเครื่องฟอกอากาศที่ผลิตจากโฟมพียูสำหรับใช้ดักจับ PM2.5 โดยทำการทดสอบไส้กรองโฟมพียู 2 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 ชั้นไส้กรองที่บรรจุชิ้นส่วนโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 10x20x5 มิลลิเมตร ความหนาของชั้นไส้กรองประมาณ 4 เซนติเมตร โดยใช้ตะแกรงกั้นยึดติดกับคอลัมน์ แสดงดังรูปที่ 3-9
- รูปแบบที่ 2 ชั้นไส้กรองที่บรรจุแผ่นโฟมพียูความหนา 2-3 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชั้นระยะห่างแต่ละชั้น 3 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3-10

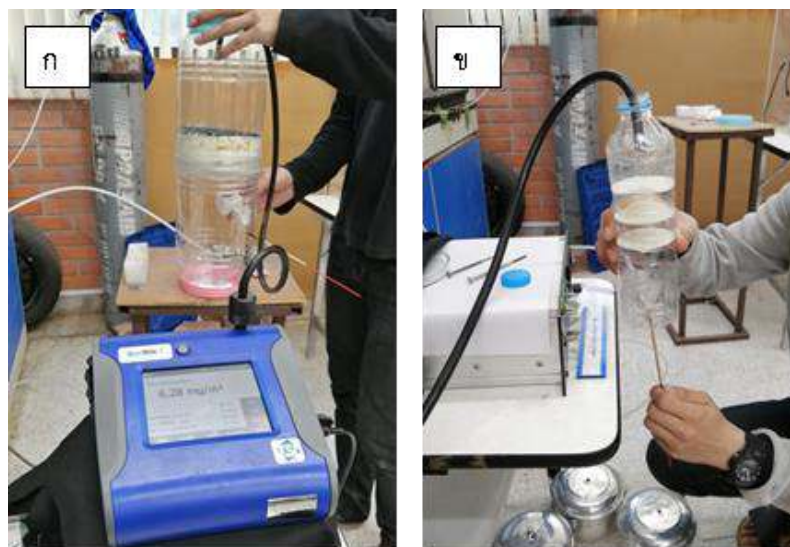


รูปที่ 3-9 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3-10 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดเป็นแผ่นบาง

ขั้นตอนการทดสอบรูปแบบไส้กรองดักจับ PM_{2.5} ทำโดยบรรจุไส้กรองในคอลัมน์ที่ทำจากขวดโหลพลาสติกใสขนาด 0.5–2 ลิตร จุดรูปให้เกิดควั่นด้านล่างของคอลัมน์ (ขาเข้า) พร้อมทั้งปล่อยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์อัตรา 2 ลิตรต่อนาที วัดความเข้มข้น PM_{2.5} ขาเข้าและขาออกคอลัมน์ด้วยเครื่อง DUSTTRAK™ II aerosol monitor (Model 8530, TSI Inc., USA) ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหารูปแบบไส้กรองดักจับฝุ่น (ก) รูปแบบที่ 1 โฟมตัดชิ้นสี่เหลี่ยม และ (ข) รูปแบบที่ 2 โฟมตัดแผ่นบาง

ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ไส้กรองรูปแบบที่ 1 ไม่สามารถลดความเข้มข้น PM_{2.5} ได้เนื่องจากชั้นโฟมที่ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่ออัดซ้อนกันยังคงมีช่องว่างระหว่างชั้นโฟม ทำให้อากาศสกปรกสามารถลอดผ่านออกไปได้ ชั้นกรองจึงไม่มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่น ส่วนรูปแบบที่ 2 สามารถดักจับ PM_{2.5} จากการทดสอบ 2 ครั้งที่มีความเข้มข้น PM_{2.5} ขาเข้าต่างกันได้ดังนี้

ตารางที่ 3-3 ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นของรูปแบบที่ 2 (โฟมตัดแผ่นบาง)

ความเข้มข้นขาเข้า (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ความเข้มข้นขาออก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ประสิทธิภาพดักจับ (%)
100-115	40-50	50-65
1.8	0.7	60

จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ไส้กรองโฟมแบบแผ่นบางสามารถดักจับ PM_{2.5} ได้ประมาณร้อยละ 60 ดังนั้นการออกแบบเครื่องฟอกอากาศเครื่องต้นแบบจึงเลือกใช้รูปแบบไส้กรองโฟมพียูที่ตัดเป็นแผ่นบาง ความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร โดยจัดเรียงชั้นไส้กรองทั้งหมด 3 ชั้น

1.4 การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การออกแบบเครื่องฟอกอากาศที่ใช้โฟมพียูทดแทนไส้กรองในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะเครื่องดักจับอนุภาคขนาดเล็กแบบใช้ตัวกรองทางกล (Mechanical air filters) ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กในอากาศจะถูกกำจัดออกด้วยไส้กรองที่ติดตั้งในตัวเครื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามรูปแบบของไส้กรองโฟมพียู ได้แก่ เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบแผ่นโฟมพียู และ เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบทรงกระบอกบรรจุชั้นโฟมพียู

1.4.1 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู

จากผลการทดสอบเบื้องต้น (อ้างอิงรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1) คณะผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ไส้กรองโฟมพียูรูปแบบแผ่นบางมีความหนาประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร โดยมีเงื่อนไขการออกแบบดังนี้

ตารางที่ 3-4 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู

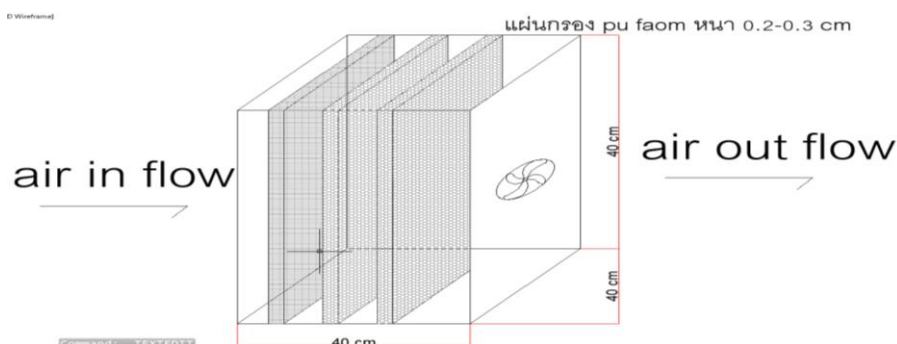
	ข้อมูลสำหรับการออกแบบ
ขนาดของเครื่องฟอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม 40x40x40 ลูกบาศก์เซนติเมตร
พื้นที่แผ่นกรอง (A)	860 ตารางเซนติเมตร (130 ตารางนิ้ว)
ความเร็วลมผิวหน้าแผ่นกรอง (v)	0.5 เมตรต่อวินาที (100 ฟุตต่อนาที) ความเร็วสูงสุด 300 ฟุตต่อนาที สำหรับไส้กรองชนิดใช้แล้วทิ้ง (Godish, 1989)
ความดันลดของแผ่นกรองโฟมพียู (H)	2 นิ้วของน้ำ
อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านเครื่องกรอง	10 รอบต่อชั่วโมง

จากข้อมูลการออกแบบข้างต้น สามารถคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองแผ่นโฟมพียูได้ดังนี้

ตารางที่ 3-5 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองแผ่นโฟมพียู

พารามิเตอร์	ค่าจากการคำนวณ
อัตราการดูดอากาศของเครื่องฟอก (Q)	146 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (90 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)
กำลังของพัดลม (P)	38 วัตต์ คูณด้วย safety factor 1.2 เท่า ได้ 46 วัตต์ ดังนั้นเลือกพัดลมดูดอากาศที่มีขายในท้องตลาด ขนาด 45 วัตต์
พื้นที่ใช้งาน	5 ตารางเมตร (สำหรับความสูงของห้อง 3 เมตร)

แบบร่างเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียูแสดงดังรูปที่ 3-12 โดยในตอนแรกออกแบบให้สามารถใส่แผ่นกรองโฟมพียูได้จำนวน 3 ชั้น



รูปที่ 3-12 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นพียู

การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นพียู คณะผู้วิจัยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโฟมพียูเป็นหลัก ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 6 ส่วน ดังนี้ และรูปที่ 3-13 แสดงเครื่องต้นแบบหลังจากสร้างและประกอบเสร็จสิ้น

- (1) โครงตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 40x40x40 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- (2) ฐานรองติดตั้งที่โครงตัวเครื่องสำหรับยึดจับกรอบแผ่นกรองโฟมพียูทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถใส่แผ่นกรองได้จำนวน 6 แผ่น (โดยได้เพิ่มเติมจากเดิมที่ออกแบบไว้ใส่ 3 แผ่น)
- (3) พัดลมดูดใบพัดทำจากอะลูมิเนียม ขนาด 45 วัตต์
- (4) กรอบสำหรับยึดซึ่งแผ่นโฟมพียูทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม จำนวน 6 กรอบ
- (5) ฝาปิดด้านบนทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม จำนวน 2 ชั้น
- (6) แผ่นโฟมพียู หนาประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดประมาณ 860 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 3-13 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียู

คณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้เครื่องตัดแผ่นโฟมที่ประดิษฐ์จากเส้นลวดให้ความร้อน (Heating coil) แต่การตัดโฟมให้เป็นแผ่นที่มีขนาดใหญ่ดังกล่าวด้วยความร้อนมีผลให้บริเวณที่ตัดเกิดการละลายไหม้ของโฟมเนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนขดลวดต้องเคลื่อนที่ช้า ซึ่งทำให้ผิวหน้าของโฟมมีลักษณะเป็นลอนคลื่นและแผ่นโฟมที่ตัดได้โค้งงอ ดังรูปที่ 3-14 นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้ช่องเปิดของโฟมถูกละลายหลอมปิดไปด้วย จึงปิดกั้นการไหลผ่านของอากาศ ดังนั้นแผ่นโฟมที่ตัดได้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นไส้กรองฝุ่นของเครื่องฟอกอากาศ คณะผู้วิจัยจึงใช้ใบมีดตัดโฟมแทนเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนกับโฟมพียู

ลักษณะผิวหน้าโฟมที่ตัดด้วยใบมีดแสดงดังรูปที่ 3-15 ซึ่งค่อนข้างเรียบ ไม่เป็นลอน อย่างไรก็ตามการตัดด้วยใบมีดยังได้แผ่นโฟมที่มีขนาดเล็กกว่าที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3-14 แผ่นโฟมพียูที่ตัดด้วยเส้นลวดให้ความร้อน



รูปที่ 3-15 แผ่นโฟมพียูที่ตัดด้วยใบมีด

ผู้วิจัยจึงได้ขอความอนุเคราะห์ให้ทางบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีเครื่องจักรสำหรับตัดโฟม ดังรูปที่ 3-16 ให้ช่วยตัดโฟมเป็นแผ่น มีความหนาประมาณ 3-7 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3-17 และ 3-18 ผิวหน้าที่ตัดมีความเรียบสม่ำเสมอ ซึ่งจะใช้ทดแทนไส้กรองฝุ่นของเครื่องฟอกอากาศที่ประดิษฐ์ขึ้นไป



รูปที่ 3-16 เครื่องจักรตัดโฟม (บริษัท ปตท. จำกัด)



รูปที่ 3-17 แผ่นโฟมที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องจักรตัดโฟม

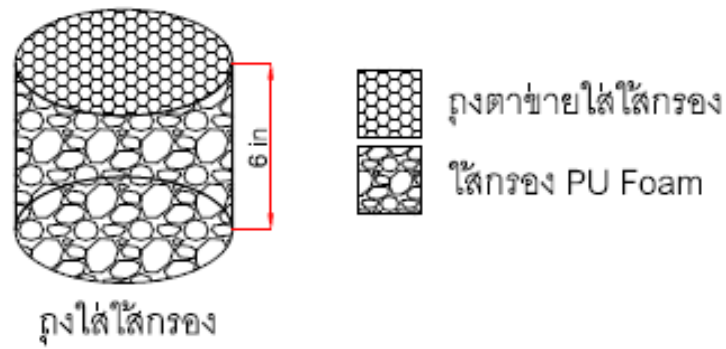


รูปที่ 3-18 ฟیلเตอร์พัดลมทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียูในการดักจับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (แสดงในบทที่ 4) พบว่าอัตราการผลิตอากาศสะอาดที่ฟอกแล้ว (Clean air delivery rate: CADR) มีค่าต่ำกว่า 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสาเหตุมาจากพัดลมดูดอากาศที่เลือกใช้ไม่สามารถสร้างความดันสถิต (Static pressure) ได้มากพอที่จะดูดอากาศสกปรกผ่านแผ่นกรองโฟมพียู จึงทำให้อากาศสกปรกไหลวนบริเวณด้านหน้าแผ่นกรองและไหลย้อนกลับทางด้านดูดของพัดลมแทน นอกจากนี้คาดว่าความดันลดยของโฟมพียูที่ทำเป็นไส้กรองในรูปแบบที่เป็นแผ่นอาจจะสูงกว่าค่าที่ประมาณไว้ในการคำนวณออกแบบ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่ 2

1.4.2 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบทรงกระบอกบรรจุชั้นโฟมพียู

เครื่องฟอกที่ออกแบบใหม่มีลักษณะไส้กรองเป็นทรงกระบอกภายในบรรจุชั้นส่วนโฟมพียู ดังแสดงในรูปที่ 3-19 วัสดุที่ใช้ทำไส้กรองทรงกระบอกต้องสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ที่จะนำเครื่องฟอกอากาศไปใช้งานและราคาไม่แพง บรรจุ ดังนั้นจึงเลือกถุงตาข่ายไนลอนซักผ้าที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปราคาต่อชิ้นไม่เกิน 20 บาท มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของถุงตาข่ายซักผ้าที่ขายในท้องตลาด



รูปที่ 3-19 ไส้กรองทรงกระบอกบรรจุขึ้นส่วนโฟมพียู

รูปร่างของโฟมพียูที่จะบรรจุในกระบอกไส้กรองได้ออกแบบไว้ 2 ลักษณะ คือ (1) แบบเส้นโฟม ยาว 2-5 เซนติเมตร กว้าง 0.5-1 เซนติเมตรหนา 0.2-0.4 เซนติเมตร และ (2) แบบลูกเต๋า ขนาด ประมาณ 0.5x0.5x0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-20



รูปที่ 3-20 รูปร่างโฟมพียูที่บรรจุในกระบอกไส้กรอง

ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องฟอกอากาศตามลักษณะของไส้กรองโฟมพียูดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ข้อมูล สำหรับการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลสำหรับการคำนวณในการออกแบบเครื่องฟอกอากาศตามลักษณะของไส้กรองโคมพื้ญ

	ข้อมูลสำหรับการออกแบบ
ขนาดของเครื่องฟอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม 18x18x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร (7x7x12 ลูกบาศก์นิ้ว)
ขนาดกระบอกไส้กรอง	เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัด 18x18 ตารางเซนติเมตร (7x7 ตารางนิ้ว)
ความเร็วลมผิวหน้าแผ่นกรอง (v)	1.5 เมตรต่อวินาที (300 ฟุตต่อนาที) ความเร็วสูงสุด 300 ฟุตต่อนาที สำหรับไส้กรองชนิดใช้แล้วทิ้ง (Godish, 1989)
ความดันลดของแผ่นกรองโคมพื้ญ (H)	1 นิ้วของน้ำ
อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านเครื่องกรอง	10 รอบต่อชั่วโมง

จากข้อมูลการออกแบบข้างต้น สามารถคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองโคมพื้ญทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญได้ดังนี้

ตารางที่ 3-7 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองโคมพื้ญทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโคมพื้ญ

พารามิเตอร์	ค่าจากการคำนวณ
อัตราการดูดอากาศของเครื่องฟอก (Q)	165 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (102 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)
กำลังของพัดลม (P)	22 วัตต์ คูณด้วย safety factor 1.2 เท่า ได้ 26 วัตต์ ดังนั้นเลือกพัดลมดูดอากาศที่มีขายในท้องตลาดขนาด 65 วัตต์
พื้นที่ใช้งาน	5.5 ตารางเมตร (สำหรับความสูงของห้อง 3 เมตร)

คณะผู้วิจัยได้เลือกชนิดของพัดลมดูดอากาศใหม่ที่สามารถสร้างความดันสถิตได้มากกว่าพัดลมแบบ Propeller fan ที่ใช้ในเครื่องต้นแบบแรก ในที่นี้ได้เลือกพัดลมมาทดสอบ 2 ชนิด ได้แก่ (1) Vane-axial fan และ (2) Centrifugal fan ที่มีกำลังวัตต์ 65 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3-21



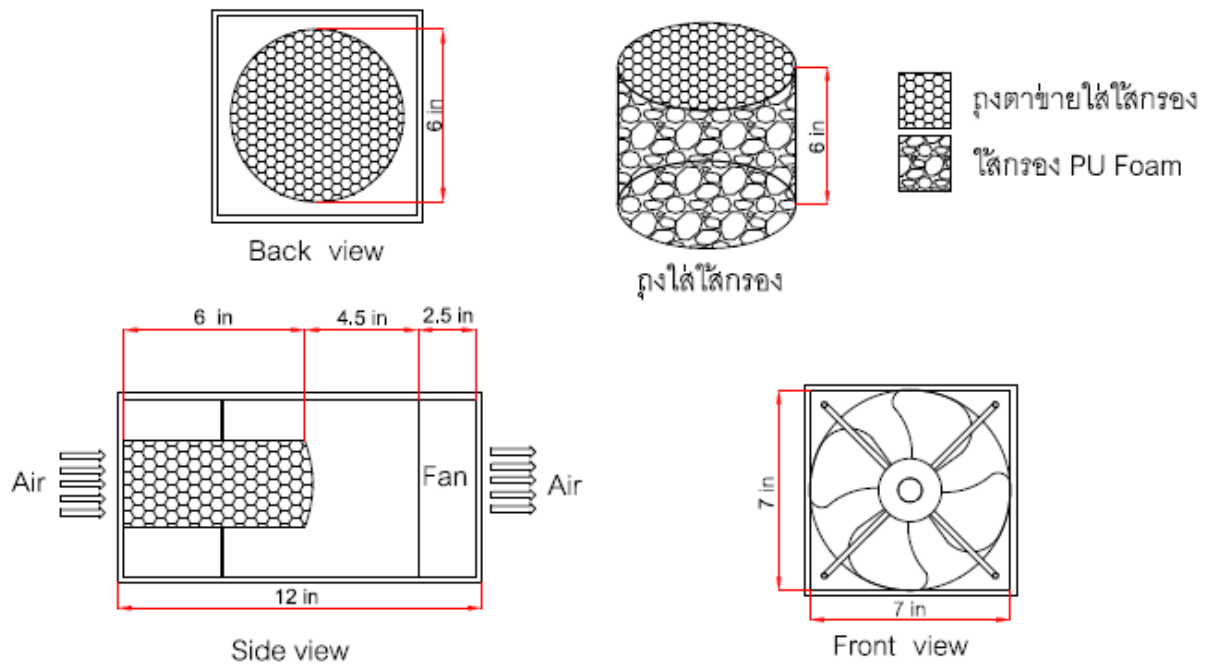
รูปที่ 3-21 พัดลมที่เลือกใช้สำหรับเครื่องฟอกอากาศไส้กรองทรงกระบอกบรรจุโฟมพียู

ผลการทดสอบเบื้องต้นของการใช้พัดลมดูดอากาศทั้ง 2 ชนิด พบว่าสามารถสร้างความดันในการดูดอากาศได้เพียงพอ แต่พัดลมแบบ Vane-axial fan จะสะดวกในการประกอบและติดตั้งเข้ากับตัวโครงเครื่องฟอกอากาศมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้พัดลมแบบ Vane-axial fan ในการสร้างเครื่องต้นแบบต่อไป

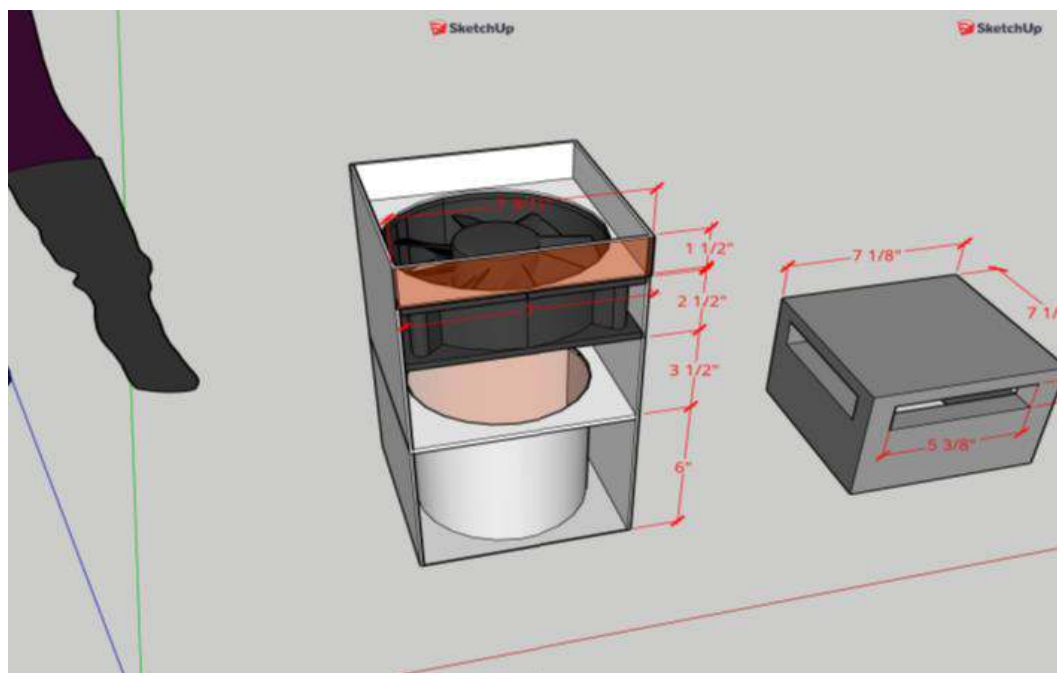
การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบใช้ไส้กรองโฟมพียูทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู คณะผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุสังกะสีเป็นหลักเนื่องจากง่ายในการตัด พับ เชื่อม และราคาถูกกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าวัสดุ ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

- (1) โครงตัวเครื่องทำจากสังกะสี ขนาด 18x18x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- (2) โครงกระบอกติดตั้งที่โครงตัวเครื่องสำหรับยึดถุงไส้กรองทำจากสังกะสี ด้านล่างโครงกระบอกรองรับด้วยตะแกรงลวด โดยสามารถรองด้วยแผ่นคาร์บอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นและการดูดซับก๊าซมลพิษและโอโซนได้
- (3) พัดลมแบบ Vane-axial fan ขนาด 65 วัตต์
- (4) ฐานรองเจาะช่องเปิดให้อากาศที่ฟอกแล้วไหลออกทำจากสังกะสี แยกถอดออกจากตัวโครงเครื่องได้

ส่วนรูปที่ 3-22, 3-23 และ 3-24 แสดงแบบร่าง แบบ 3 มิติ และเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จตามลำดับ



รูปที่ 3-22 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู



รูปที่ 3-23 ภาพ 3 มิติเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู



รูปที่ 3-24 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองทรงกระบอกบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู

อย่างไรก็ดี ผลการทดสอบเครื่องฟอกในภาคสนาม (แสดงในบทที่ 4) พบว่าเครื่องมีขนาดเล็กเกินไปทำให้มีประสิทธิภาพต่ำในการลดฝุ่น PM2.5 ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่

3

1.4.3 เครื่องฟอกอากาศทรงตู้ไส้กรองแบบโฟมพียูก้อน

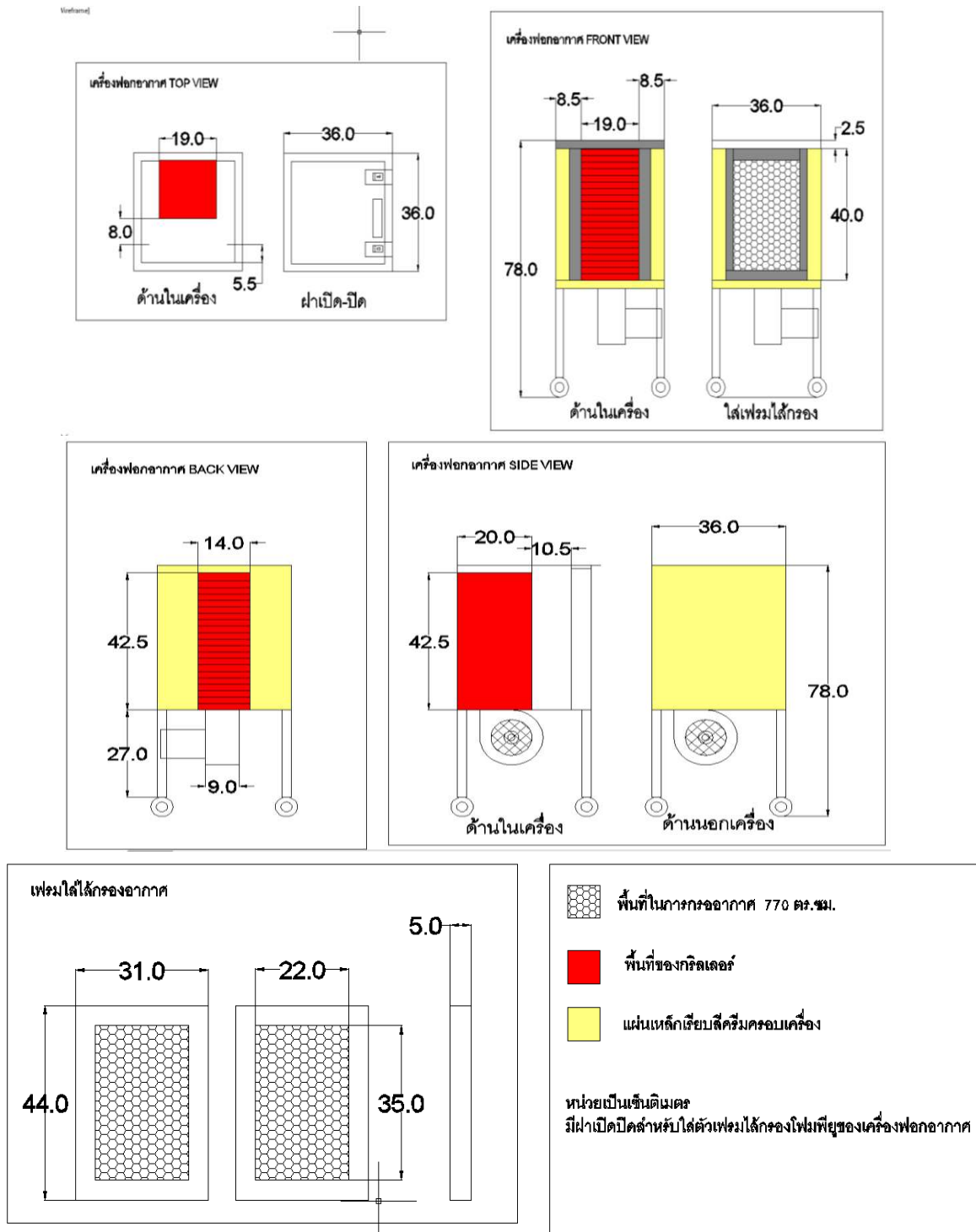
การสร้างเครื่องฟอกอากาศทรงตู้ ใช้เฟรมใส่ไส้กรองโฟมพียูขนาด 1-2 เซนติเมตร ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยโครงที่ 3 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่วิจัยการนำโฟมพียูมาใช้ทดแทนมวลรวมในปูนซีเมนต์สำหรับทำโต๊ะม้านั่ง คณะผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุอะลูมิเนียมในการทำโครงเครื่องฟอกอากาศทรงตู้เพื่อให้ง่ายต่อการสร้าง และยังสามารถได้ง่ายกว่าการใช้สังกะสีเพราะไม่ต้องเชื่อมโลหะ ส่วนแบบร่าง 2 มิติ และเครื่องฟอกอากาศที่สร้างเสร็จของเครื่องฟอกอากาศทรงตู้ แสดงดังรูปที่ 3-25 และ 3-26 ส่วนประกอบเครื่องฟอกอากาศแบ่งออกได้ดังนี้

(1) โครงตัวเครื่องทำจากอะลูมิเนียมและแผ่นเหล็กเรียบสี่ ขนาด 36x36x78 เซนติเมตร มีทางด้านหน้าสำหรับใส่เฟรมอะลูมิเนียมไส้กรอง

(2) ไส้กรองทำจากเฟรมสี่เหลี่ยมผืนผ้าอะลูมิเนียมสำหรับใส่โฟมพียู ขนาด 31x5x44 เซนติเมตร สามารถเปิดปิดเพื่อเปลี่ยนโฟมพียูได้ ดังรูปที่ 3-27

(3) กริลเลอร์ (Griller) ทำจากแผ่นเหล็ก ขนาด 19x20x42.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (รูปที่ 3-26 สีแดง) เพื่อกระจาย และบังคับทิศทางของลมเข้าสู่แผงไส้กรอง

(4) พัดลมหอยโข่ง ขนาด 250 วัตต์ 220 โวลต์ ดังรูปที่ 3-28



รูปที่ 3-25 แบบร่าง 2 มิติ เครื่องฟอกอากาศทรงตู้



รูปที่ 3-26 เครื่องฟอกอากาศทรงตู้ที่สร้างเสร็จ



รูปที่ 3-27 เฟรมใส่ไส้กรองทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า



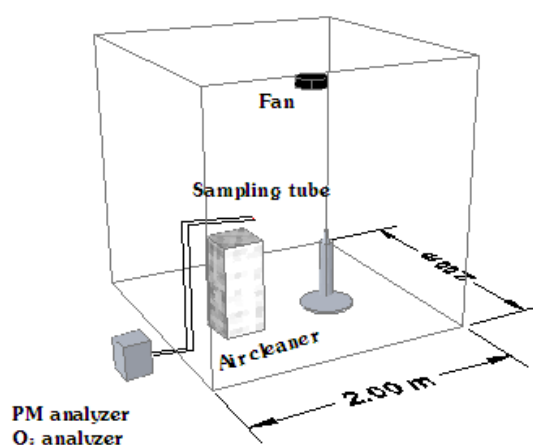
รูปที่ 3-28 พัดลมหอยโข่ง ขนาด 250 วัตต์

1.5 การทดสอบสมรรถนะในการทำความสะอาดอากาศของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ ทำการทดลองในห้องทดสอบขนาดเล็ก (Small-scale environmental chamber) และพยากรณ์ค่าพารามิเตอร์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinear regression analysis) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศ โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1.5.1 ห้องทดสอบขนาดเล็ก

การทดสอบนี้ใช้ห้องทดสอบขนาด 2x2x2 ลูกบาศก์เมตร ทำจากวัสดุมีผิวหนึ่งด้านในเป็นอะลูมิเนียมโดยผนังด้านข้างเจาะช่องสำหรับสอดสายเก็บตัวอย่างอากาศ ซึ่งตำแหน่งที่ติดตั้งท่อเก็บตัวอย่างอากาศอยู่ห่างจากเครื่องฟอกอากาศประมาณ 30 เซนติเมตร และอยู่เหนือพื้นห้องประมาณ 50 เซนติเมตร เครื่องฟอกอากาศติดตั้งบริเวณกลางห้อง บนเพดานห้องติดตั้งพัดลมขนาดเล็กเพื่อช่วยให้อากาศภายในผสมผสานกันอย่างทั่วถึง และควบคุมให้ความเร็วลมภายในห้องไม่เกิน 0.1 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมภายในอาคารโดยทั่วไป ห้องทดสอบที่สร้างขึ้นนี้เป็นห้องทดสอบแบบปิด และติดตั้งบริเวณที่มีอัตราการระบายอากาศสูง เพื่อป้องกันการสะสมของมลพิษภายนอกห้องทดสอบ การควบคุมสภาพแวดล้อมของห้องทดสอบเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของ ASTM 5116-06 (ASTM, 2006) โดยควบคุมอุณหภูมิของห้อง 25-26 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 60-70 รูปที่ 3-29 แสดงลักษณะของห้องทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์ภายในห้อง สำหรับฝุ่นที่ใช้ในการทดสอบได้จากการจูดรูปในห้องทดสอบให้ได้ระดับ PM_{2.5} 200-300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 3-29 ห้องทดสอบขนาดเล็กและการติดตั้งอุปกรณ์

1.5.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

(1) เครื่องวัดความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็ก PM_{2.5} และ PM₁₀ แบบต่อเนื่อง ได้แก่ เครื่อง 8530 DUSTTRACK II (Aerosol monitor) โดยใช้หลักการ Laser scattering มีช่วงการตรวจวัดตั้งแต่ 0.001 ถึง 150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) เครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ และระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ HI 8564 (Extech Instruments, Co., USA) มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 10-95 และคาร์บอนไดออกไซด์ 0-6,000 ppm

1.5.3 ขั้นตอนการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การหาค่าสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ออกแบบโดยใช้หลักการสมดุลมวลสาร (Mass balance) ดังสมการ 3-3 ในการหาอัตราการทำความสะอาดอากาศหรือ Clean air delivery rate (CADR) อ้างอิงตามมาตรฐาน AHAM (US Association of Home Appliance Manufacturers) นั้น จำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนั้นการศึกษานี้แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลองหลัก เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ ดังนี้

1) การทดลองที่ 1 การวัดอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบ

ในงานวิจัยนี้วัดอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบ (λ) โดยใช้หลักการ Tracer gas decay method ตามข้อกำหนดของ ASTM E741 โดยใช้ Tracer gas คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทดสอบโดยการพ่น Tracer gas เข้าไปภายในห้อง บันทึกค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลมวลของ Tracer gas ในอากาศภายในห้อง ได้ตามสมการ 3-3

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{outdoor} - QC \quad \text{สมการที่ 3-3}$$

แก้สมการที่ 3-3 จะได้

$$C_t = C_0 e^{-\frac{Q}{V}t} + C_{outdoor} (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \quad \text{สมการที่ 3-4}$$

โดยที่ C_t = ความเข้มข้นของ Tracer gas ณ t ใด ๆ
 C_0 = ความเข้มข้นของ Tracer gas ณ ที่เวลาเริ่มต้น
 $C_{outdoor}$ = ความเข้มข้นของ Tracer gas นอกห้องทดสอบ
 Q = อัตราการไหลของอากาศเข้าออกห้องทดสอบ
 V = ปริมาตรห้องทดสอบ
 t = เวลา

ในการหาค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบนั้น พิจารณาในรูปของ Q/V หรือ λ คือ อัตราการไหลของอากาศเข้าออกห้องทดสอบ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ต่อปริมาตรห้องทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งอยู่ในรูปของหน่วยต่อเวลา (ต่อชั่วโมง) โดยทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรงโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ NLREG® ผลการวัดได้ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบ เท่ากับ $0.015 \pm 8.4 \times 10^{-5}$ ต่อชั่วโมง โดยมีค่า Proportion of variance explained (R^2) เท่ากับ 0.954

2) การทดลองที่ 2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่นขนาดเล็ก

การสูญหายของฝุ่นขนาดเล็กออกจากอากาศภายในห้องทดสอบ นอกเหนือจากการกำจัดโดยเครื่องฟอกอากาศแล้ว ยังมีกลไกตามธรรมชาติอื่นร่วมด้วย เช่น การ

ตกตะกอน การเคลื่อนที่ของฝุ่นสู่พื้นหรือผนังห้อง เป็นต้น กลไกเหล่านี้ทำให้ฝุ่นสูญหายจากบรรยากาศสามารถแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสูญหาย (Loss rate coefficient, k_{loss}) ซึ่งเป็นค่าที่แปรผันตามความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ ซึ่งกลไกที่ทำให้ความเข้มข้นฝุ่นภายในห้องลดลงเกิดจากการสูญเสียภายในห้อง (k_{loss}) และการระบายอากาศหรือการรั่วไหลของอากาศออกนอกห้อง ค่านี้สามารถหาได้โดยการจุ่มรูป เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 200-300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการบันทึกค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศ สามารถเขียนสมการสมดุลมวลของฝุ่นในอากาศได้ตามสมการที่ 3-5

$$V \frac{dC_t}{dt} = -QC_t - k_{loss} C_t \quad \text{สมการที่ 3-5}$$

ในกรณีที่ความเข้มข้นฝุ่นภายนอกห้องทดสอบมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นภายในห้อง แก่สมการที่ 3-5 จะได้

$$C_t = (C_0 - C_{background}) * \exp(-(\lambda + k_{loss})t) + C_{background} \quad \text{สมการที่ 3-6}$$

โดยที่ C_t = ความเข้มข้นของฝุ่น ณ t ใดๆ

C_0 = ความเข้มข้นของฝุ่น ณ ที่เวลาเริ่มต้น

$C_{background}$ = ความเข้มข้นฝุ่นภูมิหลังในห้องทดสอบ

λ = อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบได้จากการทดลองที่ 1

รวมกับอัตราการดูดอากาศของเครื่องวัดฝุ่น 3 ลิตรต่อนาที ดังนั้นมีค่ารวมเท่ากับ 0.037 ต่อชั่วโมง

สัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่นแต่ละขนาดนั้น พิจารณาในรูปต่อหน่วยเวลา โดยบันทึกค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาภายในห้องทดสอบที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งวิเคราะห์หาค่า k_{loss} ของฝุ่นแต่ละขนาดได้จากการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ NLREG® ผลการวัดได้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น PM2.5 ในห้องทดสอบ เท่ากับ 0.143 ± 0.0013 ต่อชั่วโมง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.980

3) การทดลองที่ 3 การวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศ

Clean Air Delivery Rate (CADR) คือ ค่าพารามิเตอร์มาตรฐานสำหรับวัดสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศ โดย CADR เท่ากับ ผลคูณของอัตราการไหลของกระแสอากาศผ่านเครื่องฟอกอากาศ กับ ประสิทธิภาพของตัวเครื่องในการกำจัดมลพิษ ในงานวิจัยนี้วัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศโดยติดตั้งอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3-20 ฝุ่นที่ใช้ในการทดลองมาจากการเผาไหม้รูปให้ให้ความเข้มข้น PM2.5 200-300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นจึงเปิดเครื่องฟอกอากาศที่ติดตั้งภายในห้องทดสอบ และวัด

ความเข้มข้นฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถเขียนสมการสมดุลมวลของฝุ่นได้ตามสมการที่ 3-7

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{outdoor} - QC - Q_{device}\eta C - k_{loss}C \quad \text{สมการที่ 3-7}$$

สมการที่ 3-7 ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า อากาศภายในห้องทดสอบมีการผสมผสานอย่างดีและทั่วถึง ถ้าความเข้มข้นของฝุ่นภายนอกห้องทดสอบ ($C_{outdoor}$) มีค่าน้อยมาก สามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็นสมการที่ 3-8

$$V \frac{dC}{dt} = -QC - CADR * C - k_{loss}C \quad \text{สมการที่ 3-8}$$

แก้สมการที่ 3-8 ได้

$$C_t = (C_0 - C_{background}) * \exp\left(-\left(\lambda + \frac{CADR}{V} + \frac{k_{loss}}{V}\right)t\right) + C_{background} \quad \text{สมการที่ 3-9}$$

โดยที่

$$CADR = Q_{device}\eta$$

λ = อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบได้จากการทดลองที่ 1 รวมกับอัตราการดูดอากาศของเครื่องวัดฝุ่น 3 ลิตรต่อนาที ดังนั้นมีค่ารวมเท่ากับ 0.037 ต่อชั่วโมง

k_{loss} = สัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่นขนาดเล็กเนื่องจากกลไกอื่นๆ ได้จากการทดลองที่ 2

ดังนั้น ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดฝุ่นสามารถหาได้จากการบันทึกค่าความเข้มข้นฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาขณะที่เปิดเครื่องฟอกอากาศ แล้วนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ NLREG®

2. การออกแบบและสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย

การกรองไอสารระเหยในปัจจุบันมีหลายวิธีและประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โดยเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Commercial Proven) ได้แก่ ระบบบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber) และ การดูดซับ (Absorption)

ระบบบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber) เป็นหลักการถ่ายเทมวลสารจากตัวกลางแรก ไปยังตัวกลางที่หลัง เช่น อากาศที่มีไอรกปนเปื้อน จะนำละอองน้ำมาสัมผัสกับมวลสาร (เช่น ไอรก) เพื่อให้ถ่ายเทไปยังมวลสารหลัง (น้ำ) แล้วนำน้ำไปบำบัดต่อ การบำบัดอากาศในลักษณะนี้ จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อ มวลสารนั้น สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น ไอรก ไอต่าง เป็นต้น หากนำไปกำจัดไอสารระเหยง่าย (VOCs) ในอากาศนั้น จะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากไอสารระเหยง่ายส่วนใหญ่มี

ความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีพอ ดังนั้นโครงการนี้ จึงไม่เลือกกระบวนการบำบัดอากาศแบบเปียกมาทำการออกแบบและสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย

การดูดซับ (Absorption) เป็นหลักการตรึงมวลสารให้ติดอยู่ในรูพรุนของตัวกลาง (ถ่านกัมมันต์ หรือ ตัวกลางดูดซับตัวอื่น) โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิว เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van De Waal Force) ลักษณะของมวลสารที่สามารถถูกตรึงได้ ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ เช่น สารไอระเหยที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป ได้แก่ กลุ่ม BTEX (Benzene, Toluene, EthylBenzene และ Xylene) ซึ่งเป็นสารระเหยหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป และสามารถระเหยในบรรยากาศโดยทั่วไป

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากโฟมพียูที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยนำโฟมพียูที่เหลือทิ้งมาใช้เป็นตัวกรองไอสารระเหย ซึ่งโดยทั่วไปโฟมพียูที่ใช้แล้วนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี ด้วยวิธีการเผาในโรงงานปูนซีเมนต์

2.1 แนวคิดการออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหย

การออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหย ประกอบด้วยหลายปัจจัย ดังนี้

2.1.1 การพิจารณาไอสารระเหยที่จะกำจัด ได้แก่

- (1) คุณสมบัติทางเคมี
- (2) ค่าการละลายน้ำ
- (3) ระดับความเข้มข้นของไอสารระเหย
- (4) ระดับความปลอดภัย ที่ผู้ที่ได้รับไอสารระเหยไม่เกิดผลกระทบทางสุขภาพ
- (5) ระดับความเข้มข้นไอสารระเหย ที่ไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ

2.1.2 การพิจารณาการออกแบบเครื่องกรอง ได้แก่

- (1) การบำรุงรักษา
- (2) ความปลอดภัยในการใช้งาน ทางกล และไฟฟ้า

2.1.3 การจัดการกากของเสียอันตราย ได้แก่

- (1) การนำไปกำจัด
- (2) การรวบรวมขนส่ง
- (3) ความปลอดภัยในการทำงาน

ในกรอบงานวิจัย เป็นการมุ่งหวังหาและสร้างประโยชน์ที่ยังคงหลงเหลือจากของเหลือทิ้ง (PU FOAM) ดังนั้นในข้อย่อย 2.1.1 จะดำเนินการเพียงขั้นตอนที่ (1)-(3) ซึ่งขั้นตอนที่ (4)-(5) อาจจะดำเนินการในโอกาสต่อไป เพื่อต่อยอดให้สามารถนำโฟมพียูไปทดแทนถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ได้ในอนาคต ส่วนในข้อย่อย 2.1.2 และ 2.1.3 อยู่ในขอบเขตงานวิจัย เพราะเมื่อมีการถ่ายทอดออกไปสู่ชุมชน ควรต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่เพียงพอต่อการใช้งาน

การออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหยขึ้นกับสมมติฐาน ดังนี้

- โฟมพียู มีลักษณะเป็นรูพรุน และเป็นคาร์บอน (Carbon material) คล้ายโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่ใช้ในการกรองสารไอระเหย จึงนำเอาหลักการนี้มาประยุกต์ ในหลักคิดของ Relife/Remark concept.
- ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นตัวดูดซับไอสารระเหย ซึ่งเมื่อดูดซับเต็มที่แล้ว จะนำไปฟื้นฟูสภาพด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis) เพื่อไล่ สารอินทรีย์ที่ตกค้างด้านในออก และนำกลับไปใช้ใหม่ เพียงแต่ว่า ในกระบวนการดังกล่าวต้องดำเนินการครั้งละจำนวนมากกว่า 20,000 กิโลกรัม อย่างต่อเนื่อง ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับไปสารระเหยสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็กมีการใช้งานในปริมาณน้อยแต่กระจายกระจาย และหลากหลายอุตสาหกรรม จึงไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ (Regenerated) ได้ จึงเป็นการใช้เพียงครั้งเดียวแล้วนำไปทำลายโดยการเผา
- โฟมพียูที่ใช้เป็นฉนวนกันความเย็นและ/หรือความร้อน เมื่อหมดอายุการใช้งานจากเครื่องมือหลัก เช่น ตู้เย็น จะกลายเป็น ชากที่ไม่มีมูลค่าต่อ และ ต้องการพื้นที่จัดเก็บขนาดใหญ่ และหากเกิดเพลิงไหม้ จะเกิดมลพิษทางอากาศในปริมาณสูง
- การนำโฟมพียูมาประยุกต์เป็นเครื่องกรองไอสารระเหยนั่น แม้การประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นจะน้อยกว่าถ่านกัมมันต์มาก จนไม่สามารถนำไปใช้งานอย่างจริงจัง เพื่อทดแทนถ่านกัมมันต์ได้ แต่เป็นการลดปริมาณการใช้ถ่านกัมมันต์ลงได้ ก่อนที่โฟมพียูจะถูกนำไปเผาทำลายอย่างถูกวิธีต่อไป

2.2 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องกรองไอสารระเหย

2.2.1 การคำนวณระยะเวลาการดูดซับไอสารระเหย (Retention Time หรือ Contact time) ของโฟมพียู โดยในกรณีนี้อาจไม่มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลไอโซเทอมของโฟมพียู มาอยู่ในกระบวนการออกแบบ แต่จะนำมาประเมินอายุของโฟมพียู เพื่อใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาและนำไปกำจัด

อุปกรณ์และเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

- ทินเนอร์ (เกรด AAA) ดังรูปที่ 3-30 ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้งานอยู่ทั่วไป มีส่วนประกอบหลักเป็นสารผสม BTEX ตามสัดส่วนของแต่ละโรงงานผู้ผลิต จึงใช้เป็นสารระเหยตัวแทนของมลสารในอากาศ



รูปที่ 3-30 ทินเนอร์ทั่วไปเกรด AAA

- เครื่องวัดไอสารระเหยแบบ Photo Ionized Detector (รูปที่ 3-31) มีหลักการทำงานคือ ภายในเครื่องมีหลอดกำเนิดแสงอนุภาคสูง ที่ 10.6 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เมื่อลำแสงฉายผ่านอนุภาคไอสารระเหยที่ผ่านเข้ามา อนุภาคไอสารระเหย จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้า และทำให้ตัวรับศักย์ไฟฟ้าภายในเครื่องวัดมีการเปลี่ยนแปลง โดยแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข เครื่องนี้ไม่สามารถแยกชนิดสารไอสารระเหยได้โดยตรง แต่เป็นค่าเทียบเคียงที่มีการปรับตั้งจากโรงงานผู้ผลิต โดยมีการปรับความถูกต้องด้วยการอ่านค่าความเข้มข้นของไอสารระเหยที่มีความเข้มข้นแน่นอน (Reference Standard Vapor)



รูปที่ 3-31 เครื่องวัดไอสารระเหยแบบ Photo Ionized Detector

- เครื่องวัดลม เป็นแบบ pitot tube (รูปที่ 3-32) คือจะมีการใช้ความแตกต่างของแรงดันที่กระทำต่อ sensor ภายใน



รูปที่ 3-32 เครื่องวัดความเร็วลมแบบ Pitot Tube

2.2.2 การออกแบบขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับตำแหน่งและส่วนประกอบของสถานที่ในทางกายภาพ เครื่องกรองอากาศต้นแบบนี้ จะมุ่งเน้นเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพในภาคสนาม โดยคำนึงถึงปัจจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานที่มีไอสารระเหยปนอยู่ในอากาศ

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1) ตรวจสอบความเป็นรูพรุน โดยการส่องด้วยกล้อง SEM (Scanning Electron Microscopy) เพื่อดูลักษณะของรูพรุน เทียบกับถ่านกัมมันต์
- 2) ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของโฟมพียูที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นตัวกรอง
- 3) ตรวจสอบค่าความดัน (Pressure drop) ของโฟมพียูที่นำมาใช้ (Selected shape PU foam filter) เพื่อประกอบการเลือกประสิทธิภาพของพัดลมที่จะนำมาใช้งาน
- 4) ตรวจสอบไอโซเทอม (Isotherm) ของโฟมพียูในการดูดซับไอสารระเหย
- 5) เลือกตัวแทนของไอสารระเหย ที่จะนำมาเป็นตัวแทนในงานวิจัย
- 6) นำปัจจัยต่างๆ (Parameters) มาออกแบบ เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบ โดยยึดหลักของการนำวัสดุใน
พื้นที่มาใช้งาน และอะไรที่สามารถหาได้ในพื้นที่ห่างไกลทั่วไป
- 7) นำไปทดสอบ เพื่อหาข้อบกพร่อง ในรายละเอียดต่อไป และนำมาปรับปรุง
- 8) นำออกเผยแพร่

3. เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2562. ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. สืบออนไลน์จาก http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php. [กรกฎาคม 2562].
- มณีรัตน์ องค์กรวรรณดี, ทับทิม ขาดิสุวรรณ, อติศักดิ์ ปัตติยะ. 2562. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการใช้ถ่านชาร์จากกระบวนการไฟโรไลซิสแบบเร็วเป็นสารดูดซับมลพิษอากาศในอาคาร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2562), 91-102.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องเซรามิก. มอก. 2398-2553.
- Godish, T. 1989. Indoor air pollution control. Michigan: Lewis.

- Ongwandee M, Moonrinta R, Panyametheekul S, Tangbanluekal C, and Morrison G. 2011. Investigation of volatile organic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: concentrations, sources, and occupant symptoms. *Building and Environment*. 46: 1512-1522.
- Ongwandee M, and Kruewan A. 2012. Evaluation of portable household and in-car air cleaners for air cleaning potential and ozone-initiated pollutants. *Indoor and Built Environment*. 22: 659–668.

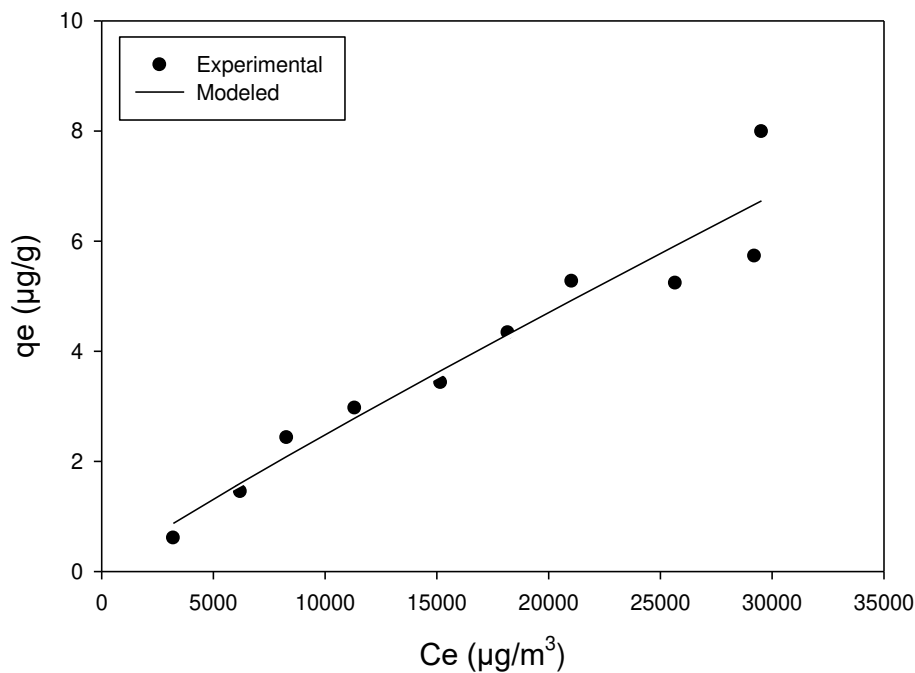
บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย

1. เครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู

1.1 ความสามารถในการดูดซับของโฟมพียู (ไอโซเทอม)

ผลการทดลองไอโซเทอมการดูดซับก๊าซโทลูอินของโฟมพียูเพื่อวัดความสามารถของโฟมในการกำจัดมลพิษอากาศประเภทสารอินทรีย์ระเหยอะโรมาติก โดยใช้แบบจำลองสมการการดูดซับฟรุนดลิช แสดงได้ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ไอโซเทอมการดูดซับก๊าซโทลูอินด้วยสมการฟรุนดลิชของโฟมพียู

ไอโซเทอมการดูดซับก๊าซโทลูอินของโฟมพียูที่ได้จากการทำนายด้วยสมการฟรุนดลิชแนบสนิทกับชุดข้อมูลจากการทดลองดี โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.94 ไอโซเทอมของโฟมพียูมีลักษณะโค้งงาย พารามิเตอร์การดูดซับฟรุนดลิชมีค่าดังนี้ $K_f = 0.00051 \mu\text{g}^{1-n}\text{m}^3\text{g}^{-1}$ และ $n = 0.92$ ค่าความสามารถของโฟมพียูในการดูดซับก๊าซโทลูอิน (q_e) ที่ความเข้มข้น ณ สมดุล (C_e) แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้ หมายเหตุ ค่าความสามารถในการดูดซับแสดงในหน่วย ไมโครกรัม (μg) ของโทลูอิน ต่อ กรัม (g) ของโฟมพียู

ผลการทดลองไอโซเทอมนี้อาจนำไปใช้ในการออกแบบม้านั่งที่ด้านในบรรจุชั้นโฟมพียูสำหรับกรองอากาศเพื่อกำจัดมลพิษอากาศประเภทสารอินทรีย์ระเหยเป็นหลัก

จากงานวิจัยของ Ongwandee และคณะ (2011) ได้ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยภายในและภายนอกอาคารของอาคารขนาดใหญ่พิเศษในกรุงเทพมหานครจำนวน 17 แห่ง พบโพลูอินในระดับสูงสุดในจำนวนสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจวัด 13 ชนิด ความเข้มข้นเฉลี่ยของโพลูอินในอาคาร 110 ไมโครกรัม-เมตร⁻³ ($\mu\text{g m}^{-3}$) นอกอาคาร 43.6 $\mu\text{g m}^{-3}$

ตารางที่ 4-1 ความสามารถของโฟมพียูในการดูดซับก๊าซโพลูอิน

Ce		qe ($\mu\text{g g}^{-1}$)
$\mu\text{g m}^{-3}$	ppm	
4000	1.06	1.068
8000	2.12	2.022
12000	3.18	2.937
16000	4.25	3.828
20000	5.31	4.702
24000	6.37	5.561
28000	7.43	6.409
30000	7.96	6.830

1.2 การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

1.2.1 แบบร่างของเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศ

1.2.1.1 ผลทดสอบ CADR (AHAM standard)

การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ไส้กรองโฟมพียู รวมทั้งภาพถ่ายเครื่องต้นแบบที่ได้แสดงรายละเอียดในบทที่ 3 สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่ใช้รูปแบบไส้กรองแตกต่างกันสามารถวัดได้ด้วยค่าพารามิเตอร์ CADR ซึ่งได้จากข้อมูลการทดสอบด้วยห้องทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังปฏิกริยาแบบกวนผสมอย่างสมบูรณ์ แล้วพยากรณ์หาค่า CADR ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง โดยใช้โปรแกรม NLREG[®] version 6.3 (Advanced) ระดับความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ สามารถแสดงได้ด้วยค่า R^2 (Proportion of variance

explained) การทดสอบเครื่องฟอกในครั้งนี้ใช้ดักจับฝุ่น PM2.5 ที่เกิดจากการเผาไหม้รูป ผลของการทดสอบด้วยห้องทดสอบรวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-2 ผลของการทดสอบเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ไส้กรองโฟมพียู ด้วยห้องทดสอบ

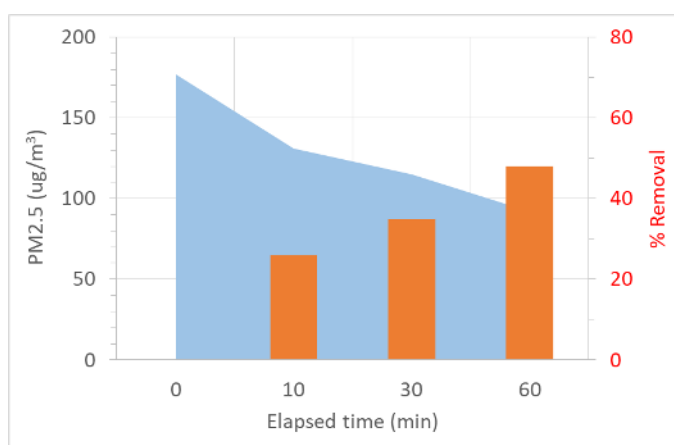
เครื่องฟอก ต้นแบบ	รูปแบบไส้กรองโฟมพียู	บรรจุแผ่น คาร์บอน	CADR (ลบ.ม./ชม.)	R ²
เครื่องฟอกไส้ กรองแบบแผ่น โฟมพียู	แผ่นโฟมพียูหนา 0.3-0.4 เซนติเมตร ขนาด 860 ตารางเซนติเมตร	ไม่มี	0.81 ± 0.05	0.932
เครื่องฟอก อากาศไส้กรอง แบบ ทรงกระบอก บรรจุชั้นโฟมพียู	เส้นโฟมพียูยาว 2-5 เซนติเมตร กว้าง 0.5-1 เซนติเมตร หนา 0.2-0.4 เซนติเมตร น้ำหนักโฟมพียู 50 กรัม	ไม่มี	6.0 ± 0.05	0.995
	เส้นโฟมพียูยาว 2-5 เซนติเมตร กว้าง 0.5-1 เซนติเมตร หนา 0.2-0.4 เซนติเมตร น้ำหนักโฟมพียู 50 กรัม	มี	7.2 ± 0.07	0.993
	ลูกเต๋า ขนาดประมาณ 0.5x0.5x0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำหนักโฟมพียู 55 กรัม	มี	1.2 ± 0.03	0.975
	ลูกเต๋า ขนาดประมาณ 0.5x0.5x0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำหนักโฟมพียู 45 กรัม	มี	2.7 ± 0.07	0.932
เครื่องฟอก อากาศทรงตู้ไส้ กรองโฟม ก้อน	โฟมก้อน ขนาดประมาณ 1-2 ซม. ได้ จากโครงการวิจัยของมหาวิทยาลัย ราชภัฏในการทดลองใช้โฟมทดแทน มวลรวมในปูนซีเมนต์	ไม่มี	26 ± 0.5	0.996
	โฟมก้อน ขนาดประมาณ 1-2 ซม. ได้ จากโครงการวิจัยของมหาวิทยาลัย ราชภัฏในการทดลองใช้โฟมทดแทน มวลรวมในปูนซีเมนต์	มีแผ่นกรอง*	35 ± 0.5	0.998

* ฟิลทรีตTM ของบริษัท 3เอ็ม

จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่น PM2.5 พบว่า เครื่องฟอกอากาศที่ออกแบบให้ใช้ไส้กรองแผ่นโฟมพียูมีค่า CADR ต่ำกว่า 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้มาจากแผ่นโฟมพียูที่ใช้ถึงแม้จะมีความหนาประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร ยังมีความดันลดค่อนข้างสูงทำให้อากาศไหลผ่านได้ยาก ประกอบกับพัดลมดูดที่เลือกใช้ติดตั้งในเครื่องฟอกไม่สามารถสร้างความดันสถิตได้สูงพอ จึงทำให้ความสามารถในการฟอกอากาศต่ำ ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบใหม่เป็นเครื่องที่ 2 ผลการทดสอบไส้กรองแบบเส้นโฟมพียูมีค่า CADR สูงที่สุด และเมื่อติดตั้งแผ่นกรองคาร์บอนเข้าที่ด้านล่างถังกรองก่อนปล่อยอากาศที่ฟอกแล้วสู่ภายนอก สามารถเพิ่มค่า CADR ได้ร้อยละ 20 ซึ่งค่า CADR ที่ได้ 7.2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของเครื่องฟอกอากาศใช้ในบ้านเรือนที่ขายในท้องตลาดแบบตัวกลางกรองชนิดที่มีระบบเปิด-ปิดประจุ ซึ่งระบุใช้กับห้องขนาด 15-20 ตารางเมตร ใช้แผ่นกรองชนิด HEPA มีแผ่นกรองคาร์บอนและมีกำลังไฟ 35 วัตต์ (Ongwandee and Kruewan, 2012) อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ไส้กรองโฟมพียูแบบรูปทรงลูกเต๋า กลับได้ค่า CADR ลดลง ซึ่งคาดว่ามาจากชั้นตัวกลางอัดแน่นเกินไปเพราะตัวกลางมีขนาดชิ้นเล็กสามารถบรรจุเรียงตัวแน่นทำให้อากาศไหลผ่านได้ยาก พัดลมดูดทำงานหนักขึ้นเพื่อสร้างความดันสถิตย ดังนั้นชั้นตัวกรองด้านในจึงไม่ได้ถูกใช้ในการดักจับฝุ่นในอากาศ ซึ่งสังเกตได้จากเมื่อลดปริมาณโฟมพียูที่ใส่ในถังกรองส่งผลให้ค่า CADR เพิ่มขึ้น

1.2.1.2 ผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ

คณะผู้วิจัยได้ทดสอบใช้เครื่องฟอกไส้กรองแบบทรงกระบอกไส้กรองโฟมลูกเต๋าลดฝุ่น PM2.5 ในห้องปฏิบัติการวิจัยขนาด 8x6x3 ลูกบาศก์เมตร โดยจุดรูปบริเวณกลางห้องได้ความเข้มข้น PM2.5 เริ่มต้น 177 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นเปิดเครื่องฟอกเป็นเวลา 60 นาที วัดความเข้มข้น PM2.5 ในอากาศที่ผ่านการฟอกแล้ว ได้ผลดังรูปที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีเครื่องฟอกสามารถลด PM2.5 ในอากาศภายในห้องได้สูงสุดร้อยละ 48 ความเข้มข้นอยู่ที่ 92 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลของ PM2.5 ที่ถูกกำจัดออกจากอากาศด้วยการระบายอากาศของห้องและการตกทับถมตามธรรมชาติ



รูปที่ 4-2 ผลการทดสอบเครื่องฟอกไส้กรองทรงกระบอกในห้องปฏิบัติการ

(พื้นที่สีฟ้าแสดงค่าความเข้มข้น PM2.5 ในอากาศหลังผ่านการฟอก และแท่งสีส้มแสดงร้อยละการลดลง)

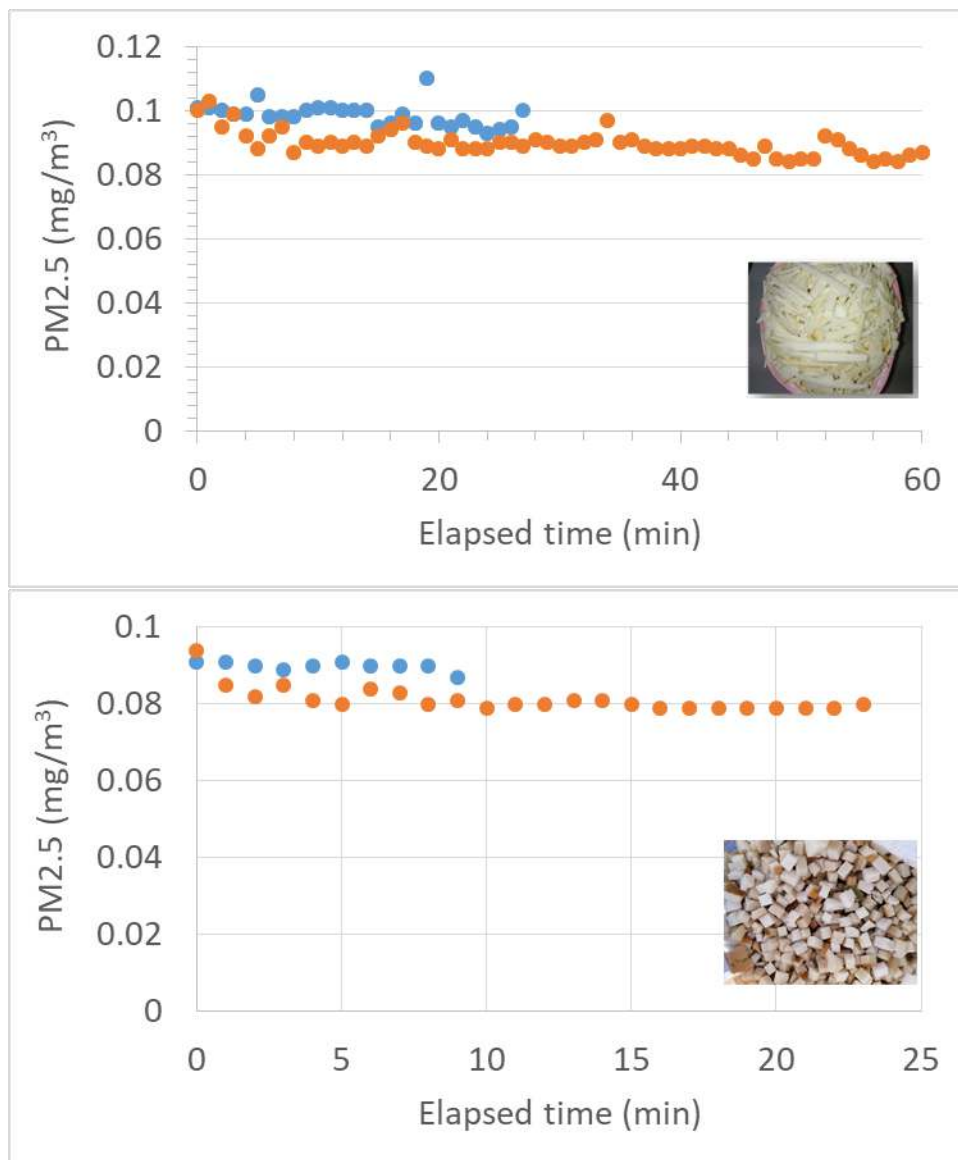
1.2.1.3 ผลทดสอบในภาคสนาม

คณะผู้วิจัยได้ทดสอบเครื่องฟอกในพื้นที่ทำงานจริง ณ ร้านผู้ประกอบการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ เมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2562 ดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 การทดสอบเครื่องฟอกไส้กรองทรงกระบอก ณ ร้านผู้ประกอบการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์

การทดสอบภาคสนามโดยใช้เครื่องฟอกไส้กรองโฟมพียู 2 รูปร่าง ได้แก่ โฟมเส้น และ โฟมลูกเต๋า วางตำแหน่งที่ใกล้กับบริเวณที่พนักงานนั่งทำงานคัดแยกชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ความสูงในระดับตำแหน่งหายใจ พื้นที่ทำงานเป็นโรงเรือนหลังคาสูง พื้นที่เปิดโล่ง ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PM_{2.5} ให้ออกจากเครื่องฟอกเปรียบเทียบกับความเข้มข้นขาเข้าแสดงดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 ผลการทดสอบเครื่องฟอกไส้กรองทรงกระบอกภาคสนาม

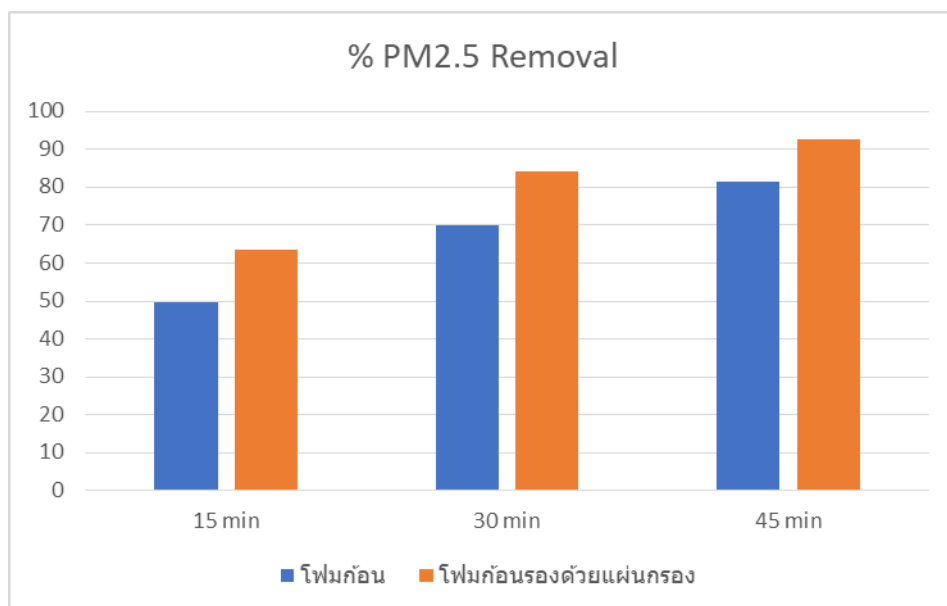
(จุดสีฟ้าแสดงความเข้มข้น PM2.5 ในอากาศก่อนเข้าเครื่องฟอก และจุดสีส้มแสดงค่าขาออกจากเครื่อง)

ผลการทดสอบในภาคสนามโดยภาพรวมสามารถลด PM2.5 ได้ประมาณร้อยละ 10 ซึ่งต่ำกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการเนื่องจากแหล่งกำเนิดฝุ่นจากการทิ้งบริเวณที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และลมพัดฝุ่นมาจากด้านนอกโรงเรือน ตัวเครื่องฟอกไส้กรองทรงกระบอกมีขนาดเล็กเกินไปสำหรับพื้นที่ทำงาน

1.2.2 เครื่องฟอกทรงตู้ไส้กรองแบบโฟมก้อน

การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศทรงตู้ รวมทั้งภาพถ่ายเครื่องต้นแบบที่ได้แสดงรายละเอียดในบทที่ 3 สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องฟอกสามารถวัดได้ด้วยค่าพารามิเตอร์ CADR ผลแสดงดังตารางที่ 4-2

เครื่องฟอกที่ใช้ไส้กรองโฟมก้อนมีค่า CADR เท่ากับ 26 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าเครื่องฟอกทั้งสองรูปแบบก่อนหน้านี้เนื่องจากเปลี่ยนใช้พัดลมหอยโข่งที่มีกำลังวัตต์สูงขึ้นและเครื่องฟอกมีพื้นที่ไส้กรองสำหรับการฟอกอากาศเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ได้ทดลองใส่แผ่นกรองรองรับโฟมก้อนที่บรรจุในเฟรมไส้กรองเพื่อป้องกันฝุ่นโฟมที่หลุดออกมาขณะใช้งาน พบว่าสามารถเพิ่มค่า CADR เป็น 35 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 35 ส่วนรูปที่ 4-5 แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ลดลงของ PM2.5 ในห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรที่เวลาผ่านไป 15, 30 และ 45 นาที สำหรับเครื่องฟอกไส้กรองโฟมก้อนอย่างเดียวและโฟมก้อนรองด้วยแผ่นกรอง ผลการทดสอบพบว่าเครื่องฟอกสามารถกำจัด PM2.5 จากค่าเริ่มต้นประมาณ 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้ลดลงต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปิดใช้งานเครื่องผ่านไป 45 นาทีสำหรับไส้กรองโฟม และ 30 นาทีสำหรับไส้กรองโฟมที่รองด้วยแผ่นกรอง



รูปที่ 4-5 ผลการทดสอบเครื่องฟอกทรงตู้โดยใช้ไส้กรองโฟมก้อนในการกำจัด PM2.5

1.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู

การลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการลงพื้นที่ 2 แห่ง ได้แก่

- วันที่ 24 มกราคม 2563 พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์
- วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2563 พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา

ซึ่งประกอบด้วย การแนะนำและสาธิตการใช้งานเครื่องฟอกไส้กรองโฟมพียู การเปิดรับฟังความคิดเห็นจากชุมชน และการพัฒนาต่อยอด ภาพตัวอย่างการลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู แสดงดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 การลงพื้นที่ถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู

การถ่ายทอดเทคโนโลยี เป็นการเผยแพร่การสร้างเครื่อง/วัสดุที่ใช้ ต้นทุนการผลิต และการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องในการกำจัดฝุ่น PM2.5 โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องด้วยการเผาสายไฟ (ระดับ PM2.5 5,000 – 10,000 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) พบว่าเมื่อผ่านเครื่องฟอก PM2.5

ลดลง 500 -1,000 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียูมีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 90 นอกจากนี้ยังมีการสร้างความตระหนักรู้มลพิษจากการเผาไหม้/สายไฟให้นักเรียน

หลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี ความคิดเห็น/ข้อเสนอแนะจากประชาชนในชุมชน มีดังต่อไปนี้

- รูปแบบเครื่องง่ายต่อการสร้างเองในพื้นที่
- ต้นทุนในการสร้าง สามารถลดลงได้ต่ำกว่าที่นักวิจัยทำ เช่น ค่าแรงถูกกว่า หรือใช้ของมือสองได้ เช่น พัดลม เป็นต้น
- เสียงค่อนข้างดังขณะเปิดใช้ น่าจะเหมาะกับการใช้ในสถานที่คัดแยก WEEE
- ควรหาอายุการใช้งานไส้กรองโฟม
- โฟมพียูหลังจากใช้กรองฝุ่นแล้ว นำไปกำจัดขั้นสุดท้าย เช่น ใช้แทนมวลรวมผสมซีเมนต์ โตะกระถาง

2. เครื่องกรองไอสารระเหย

2.1 การหาระยะเวลาการดูดซับไอสารระเหย (Retention Time หรือ Contact time)

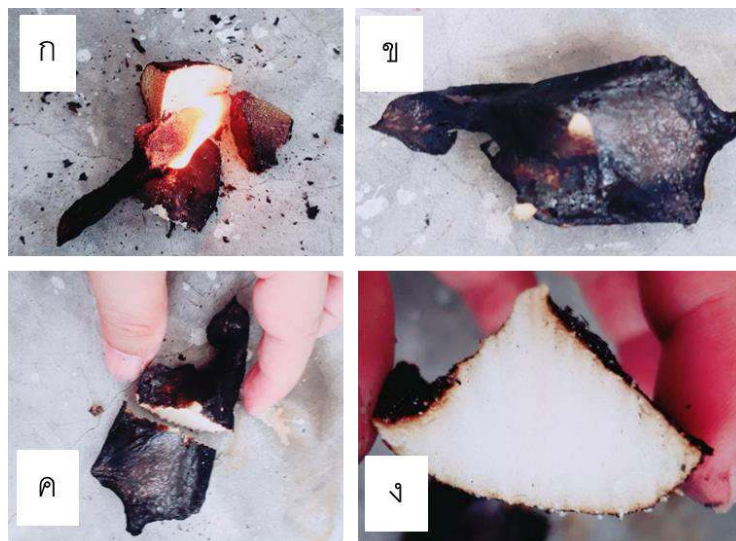
เนื่องจากโฟมพียู (PU Foam) มีลักษณะตัน ความโปร่งอากาศต่ำ (Low Permeable) ทำให้การดันอากาศผ่านแผ่นโฟมขนาดใหญ่ทำได้ยาก จึงทำการแปลงเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็กลง ที่สามารถดำเนินการทดลองด้วยอุปกรณ์ทั่วไป โดยผู้วิจัยใช้เลื่อยฉลุมือ ดังรูปที่ 4-7 แต่เนื่องจากโฟมพียู มีลักษณะเป็นฟูน้อย หากตัดชิ้นโฟมพียูให้ขนาดเล็กลงเกินไป จะทำให้โครงสร้างของโฟมพียูกลายเป็นฟูนมากขึ้น ทำให้ไม่เหมาะแก่การนำมาเป็นสารกรองทดแทน ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดแผ่นโฟมพียูให้มีขนาดประมาณ 3-4 เซนติเมตร เพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 4-7 การตัดแผ่นโฟมพียู (ก) วัตถุดิบแผ่นโฟมพียู (ข) โฟมพียูที่ตัดแล้ว (ค) เลื่อยฉลุมือ

การทดสอบลักษณะรูปทรงของโฟมพียูด้วยการเผาไฟ เพื่อดูลักษณะทางกายภาพทั่วไป โดยนำโฟมพียูมาจุดไฟอย่างทั่วถึงตลอดทั้งชิ้นตัวอย่าง จากนั้นเมื่อไฟดับลงแล้ว จะทำการผ่าชิ้นส่วนตัวอย่างแล้วทำการสังเกตลักษณะภายในของโฟมพียูที่ผ่านการเผาไหม้แล้ว

จากการทดสอบการเผาไหม้โฟมพียู ผลปรากฏดังรูปที่ 4-8 และเมื่อทำการตรวจบริเวณที่เผาไหม้พบว่า มีเพียงเฉพาะส่วนผิวภายนอกเท่านั้นที่เกิดความเสียหายเล็กน้อยไม่เกิน 0.3 เซนติเมตร จากผิวนอก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสันนิษฐานได้ว่า ไอสารระเหย จะเข้าไปสู่ภายในพื้นผิวของโฟมพียูได้ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ 4-8 การทดสอบการเผาไหม้แล้ว (ก) การเผาโฟมพียู (ข) ไฟเผาไหม้ดับ (ค) โฟมพียูที่เผาแล้ว (ง) ภายในโฟมพียูที่เผาแล้ว

การทดสอบการดูดซับไอสารระเหยเบื้องต้น ดำเนินการทดลองแบบทีละรอบ (Batch test) โดยการนำโฟมพียูที่ตัดชิ้นรูปแล้ว บรรจุใส่ถังปิดที่มีทินเนอร์เกรด AAA วางอยู่ด้านใน (ถังสีแดง) โดยเทียบกับถ่านไม้โกงกางที่มีขายตามท้องตลาด บรรจุใส่ถังปิดรวมกับทินเนอร์เช่นเดียวกัน (ถังสีเขียว) โดยมีทินเนอร์อย่างเดียวกันเทียบเป็นตัวพื้นฐาน (Blank test) วางในถังสีฟ้า จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 การทดสอบการดูดซับไอสารระเหยเบื้องต้นด้วยการดมกลิ่น

เมื่อครบ 6 ชั่วโมง ทำการเปิดกล่อง แล้วทดสอบการดูดซับไอสารระเหยเบื้องต้นด้วยการดมกลิ่น พบว่ามีความแตกต่างระหว่าง ถึงที่มีสารกรองและไม่มีสารกรอง แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างถึงที่บรรจุ ถ่านไม้และโฟมพียู

การหาระยะเวลาการดูดซับไอสารระเหย (Retention Time หรือ Contact time) ดำเนินการ ทดลองโดยการนำโฟมพียูที่ตัดเป็นชิ้น (รูปที่ 4-10) มาบรรจุลงในขวดพลาสติก และนำกระบอกฉีดยา (60 มิลลิลิตร) ดูดไอสารระเหยจากขวดทินเนอร์โดยตรง จากนั้นค่อยๆ ฉีดไอระเหยเข้าสู่ขวดพลาสติก ไอ ระเหยจะเคลื่อนที่ผ่านโฟมพียูในขวดไปยังบริเวณปลายขวด ซึ่งได้นำเครื่องวัดไอสารระเหยต่อเข้ากับ ปลายขวด ดังรูปที่ 4-10 แล้วจึงทำการปรับระยะเวลาในการกักตักกระบอกฉีดยา โดยกระบอกฉีดยามี ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ทำการกักตักกระบอกฉีดยาที่เวลาต่างกัน เพื่อหาจุดที่สามารถกักตักไอสารระเหยได้ โดยปริมาณที่วัดได้ จะนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณไอสารระเหยที่ดูดจากขวดบรรจุทินเนอร์โดยตรง เพื่อ เปรียบค่าความแตกต่าง



รูปที่ 4-10 การทดสอบหาระยะเวลาการดูดซับไอสารระเหย (Contact time)

จากการทดสอบพบว่า ระยะเวลาที่พอจะสามารถกักตักไอสารระเหยได้ประมาณร้อยละ 30 อยู่ที่ 200 วินาที หรือประมาณ 3.3 นาที ซึ่งเมื่อเทียบกับการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) พบว่าถ่านกัมมันต์ใช้เวลาประมาณ 2 วินาที เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 70 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามจากกรอบงานวิจัยพบว่า การใช้ประโยชน์จากโฟมพียูก่อนนำไป ทำลายอย่างถูกวิธีมีความเป็นไปได้ และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจ

2.2 การออกแบบและสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย

การออกแบบและสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย จะเน้นออกแบบขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับ ตำแหน่งและส่วนประกอบของสถานที่ในทางกายภาพ และเครื่องกรองอากาศต้นแบบนี้ (Pilot scale) จะ

มุ่งเน้นเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพในภาคสนาม โดยคำนึงถึงปัจจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานที่มีไอสารระเหยปนอยู่ในอากาศได้

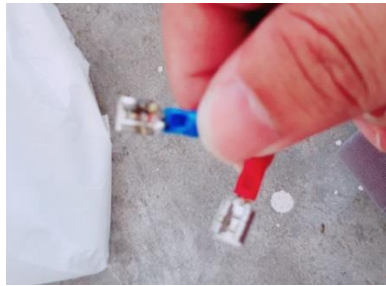
สำหรับการออกแบบ เมื่อทราบระยะเวลาการดูดซับไอสารระเหย (Contact time) แล้ว จึงทำการกำหนดขนาดเครื่องกรองอากาศ เนื่องจากเป็นตัวทดสอบ ผู้วิจัยจึงกำหนดมิติเครื่องกรองที่ขนาด 1x1x1 เมตร เพื่อให้ง่ายต่อการจัดวางและขนส่งไปทดสอบ ในส่วนของพัดลมดูดอากาศ (Blower) ที่เลือกใช้ เป็นพัดลมดูดอากาศทั่วไป ที่สามารถหาได้ในพื้นที่ ดังรูปที่ 4-11 หลังจากที่ผ่านมาการทดสอบแล้ว ผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ไม่ยาก และในมิติของความปลอดภัยในด้านไฟฟ้ารั่วไหลผู้วิจัยจึงเลือกพัดลมดูดอากาศที่มีมอเตอร์แบบไฟฟ้ากระแสตรง และใช้แบตเตอรี่ (Battery 24VDC) ตามรูปที่ 4-12 แต่เมื่อระหว่างทำการทดลอง ที่ต้องมีการถอดขั้วไฟฟ้าเข้าออก พบว่ามีโอกาสสูงที่หากนำไปขยายผล และกระทำโดยความประมาท อาจส่งผลให้เกิดเพลิงไหม้ได้ เนื่องจากไฟฟ้าลัดวงจร ตัวอย่างขั้วไฟฟ้าที่เกิดการไหม้จากการลัดวงจรแสดงดังรูปที่ 4-13 อีกทั้งโฟมพียู เป็นเชื้อเพลิงอย่างดีและรุนแรง แม้ว่าจะไม่ลุกกลามนานก็ตาม แต่ถ้าหากไปอยู่ในแหล่งเชื้อเพลิงร่วมอื่น อาจจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้ ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้ระบบไฟฟ้า 220 VAC ซึ่งเป็นกระแสสลับทั่วไป ในการพิจารณาเลือกพัดลมดูดอากาศ (Blower)



รูปที่ 4-11 พัดลม (Centrifugal fan) ขนาดเล็ก



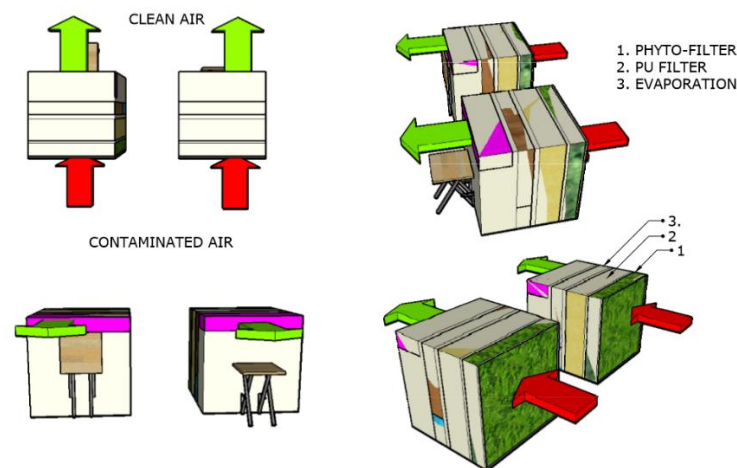
รูปที่ 4-12 แบตเตอรี่ (24V, 10 Amp.hr.)



รูปที่ 4-13 ขั้วแบตเตอรี่ที่เกิดการลัดวงจร (ไฟไหม้ขั้ว)

2.2.1 แบบร่างของเครื่องกรองไอสารระเหย

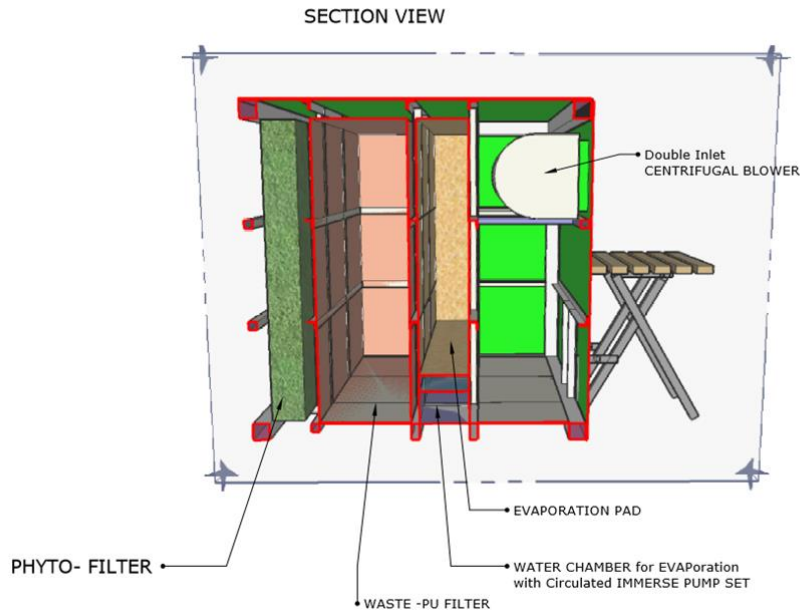
เครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ (Pilot scale) มีขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์เมตร เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย และจัดวาง โดยแบบร่างเบื้องต้นของเครื่องแสดงดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 แบบร่างเบื้องต้นของเครื่องกรองไอสารระเหย

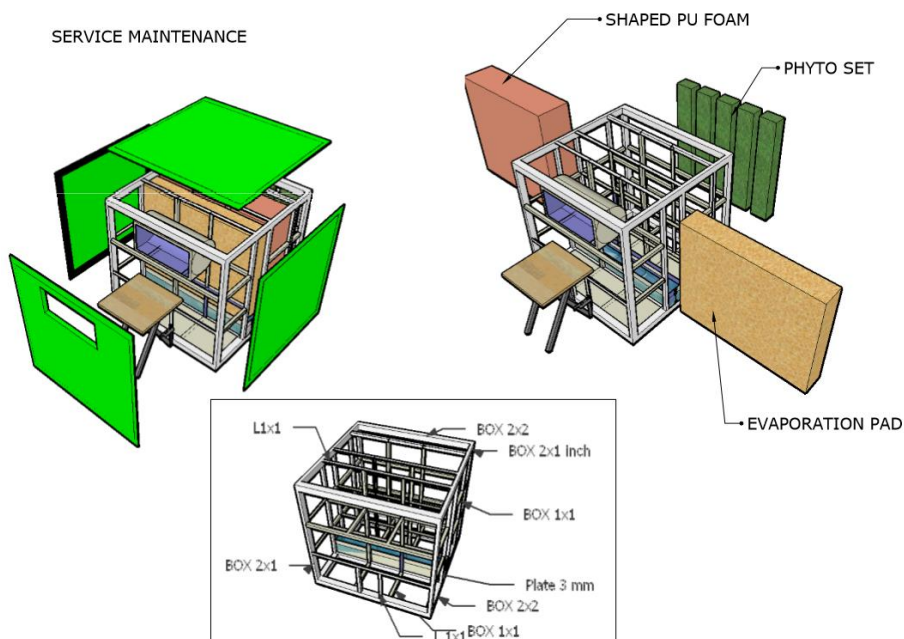
ภาพตัดขวางแสดงองค์ประกอบภายในของเครื่องกรองต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 4-15 โดยไอสารระเหยจะเข้าจากทางด้านซ้ายมือ ผ่านส่วนประกอบต่างๆ ตามลำดับ ดังนี้

- ผ่านตัวกรองฟิโอรากาศ ในการทดลองนี้จะเลือกใช้ หนวดฤๅษี เป็นฟิโอรากาศเบื้องต้น
- ผ่านชั้นกรองโฟมพียู ที่แปลงรูปเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 2-3 เซนติเมตร
- ผ่านชั้นกรองกระดาษ (Evaporation) เพื่อดักฝุ่นผงโฟมพียู และปรับอุณหภูมิบางส่วน ก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก โดยพัดลมดูดอากาศ (Blower) ติดตั้งอยู่ทางด้านขวาสุด



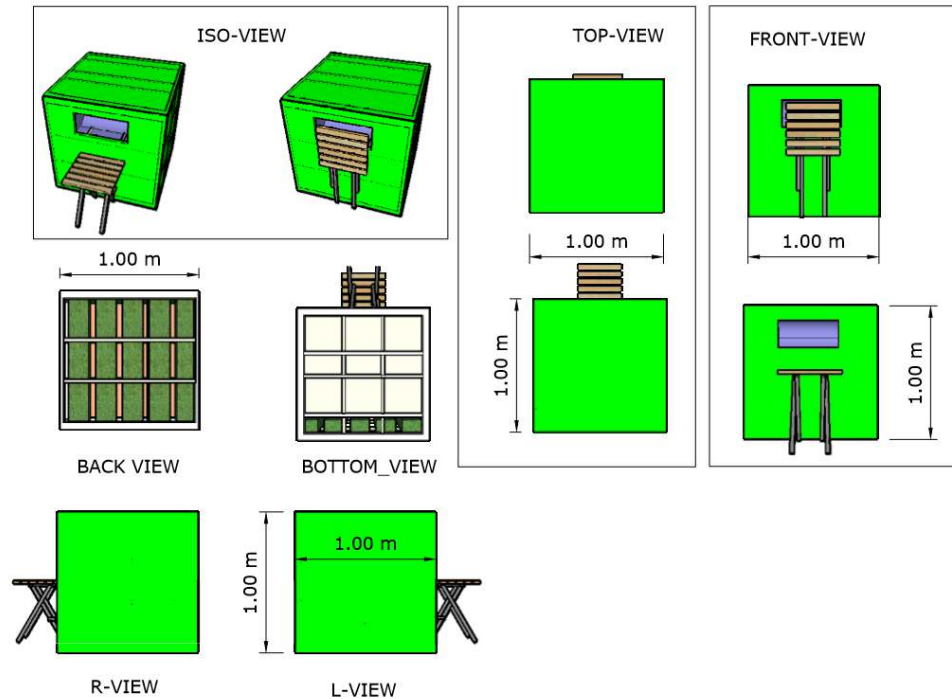
รูปที่ 4-15 ส่วนประกอบภายในของเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ

รูปที่ 4-16 แสดงวิธีการประกอบ และการบำรุงรักษาเมื่อต้องการเปลี่ยน สารกรองโฟมพียู และส่วนประกอบอื่นๆ โดยการคลายน็อตที่ยึดโครงโดยรอบออก และโยกโฟมพียูเก็บใส่ถุงที่เตรียมไว้ เพื่อนำขนส่งเข้าสู่กระบวนการกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป เมื่อดำเนินการเสร็จก็หมุนประกอบเข้าเหมือนเดิม

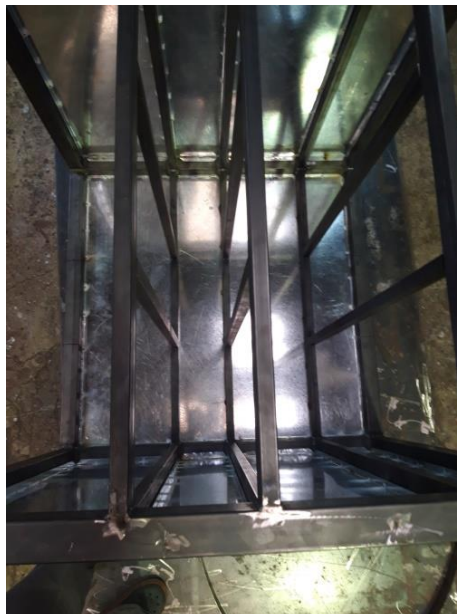


รูปที่ 4-16 ส่วนประกอบสำหรับการติดตั้ง

เครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 4-17, 4-18 และ 4-19 โดยมีแผนงานในการสร้างเครื่องกรองไอสารระเหยให้เสร็จสมบูรณ์ ดังตารางที่ 4-3



รูปที่ 4-17 ขนาดภายนอกของเครื่องกรองไอสารระเหย



รูปที่ 4-18 มุมมอง Top view ของเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ



รูปที่ 4-19 มุมมอง Iso view ของเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ

ตารางที่ 4-3 แผนงานการสร้างเครื่องกรองไอสารระเหย

ลำดับ	แผนงาน	วันที่คาดว่าจะสำเร็จ
	จัดหาอุปกรณ์ พัดลม	20/10/62
	จัดหาอุปกรณ์ไฟฟ้า	20/10/62
	จัดหาอุปกรณ์ ลวดอุณหภูมิ	20/10/62
	พร้อมทดสอบระบบเป่าไม่มี PU foam	21/10/62
	จัดหาโฟมพียู และบรรจุหน้าที่ บุรีรัมย์หรืออุบลราชธานี	22/10/62

ซึ่งในเดือนพฤศจิกายนได้ทำการส่งมอบเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ ดังรูปที่ 4-20 และจะดำเนินการนำไปทดสอบภาคสนาม ในวันที่ 10-12 ธันวาคม พร้อมกับเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู



รูปที่ 4-20 เครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ

2.3 ผลการทดสอบและการปรับปรุงเครื่องกรองไอสารระเหยด้วยไส้กรองโฟมพียูที่นำออกมาจากตู้เย็นที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว

2.3.1 การทดสอบการลดอุณหภูมิ โดยการทำการทดสอบช่วงเวลา 14.35 น. ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศร้อน เครื่องดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิได้ลง จาก 28.8 องศาเซลเซียส เหลือ 27.2 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4-21



รูปที่ 4-21 การทดสอบการลดอุณหภูมิของเครื่องกรองไอสารระเหย

โดยมีการนำเหล็กที่มีในพื้นที่ยี่ มาดัดแปลงเป็นเก้าอี้ พักเหนื่อยระหว่างวันได้ ดังรูปที่ 4-22 ซึ่งมีลมที่แรงที่สามารถพัดเสื้อปลิวได้



รูปที่ 4-22 แก้วอีัดดแปลงของเครื่องกรองไอสารระเหย

2.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไอสารระเหย โดยใช้ทินเนอร์ที่ผสมสีทั่วไป เป็นตัวแทนของไอสารระเหย ขั้นตอนการทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1) นำทินเนอร์ผสมสีเทลงในถ้วย เพื่อเป็นตัวแทนของไอสารระเหย ดังรูปที่ 4-23
- 2) นำเครื่องวัดไอสารระเหยมาวัด พบว่าค่าความเข้มข้นไอสารระเหยมีมากถึง 4,000 ส่วนในล้านส่วน ดังรูปที่ 4-24



รูปที่ 4-23 ถ้วยทินเนอร์



รูปที่ 4-24 ปริมาณไอสารระเหยก่อนเข้าเครื่องกรองไอสารระเหย

3) วัดไอสารระเหยภายในเครื่องกรอง เมื่อไอสารระเหยถูกดูดเข้าไปในเครื่องบำบัดไอสารระเหย ด้วยไส้กรองโฟมพียูแล้ว พบว่าความเข้มข้นขาเข้าลดลงจาก 4,000 ส่วนในล้านส่วน เหลือ ระหว่าง 43.3 – 81.5 ส่วนในล้านส่วน (รูปที่ 4-25) ซึ่งเป็นผลจากการเจือจางในอากาศ



รูปที่ 4-25 ปริมาณไอสารระเหยภายในเครื่องกรองไอสารระเหย

4) ตรวจสอบไอสารระเหย ที่ผ่านการบำบัดแล้วพบว่า สามารถลดปริมาณความเข้มข้นลงจาก ค่า 43.3 – 81.5 ส่วนในล้านส่วน เหลือปริมาณขาออก 3.9 – 6.5 ส่วนในล้านส่วน (รูปที่ 4-26) หรือคิดเป็นประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 92.02 – 90.99 ($(81.5 - 6.5)/81.5 \times 100 = 92.02\%$ และ $(43.3 - 3.9)/43.3 \times 100 = 90.99\%$)



รูปที่ 4-26 ปริมาณไอสารระเหยที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องกรองไอสารระเหย

ปริมาณที่นำฉนวนตู้เย็นหรือโฟมพียูมาใช้งาน ในเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบเท่ากับ 3 กรอบ ดังรูปที่ 4-27 โดยอายุของการใช้เป็นไส้กรองอากาศ คาดว่าจะมากกว่า 2 ปี ซึ่งต้องทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 4-27 โฟมพียูที่นำมาใช้งานในเครื่องกรองไอสารระเหย

2.3.3 ข้อควรระวังเพิ่มเติม

เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการนำเครื่องกรองไอสารระเหยไปใช้งาน มีข้อควรระวังคือ การลดลงของระดับของโฟมพียูภายในเครื่อง ดังรูปที่ 4-28 ทำให้ไอสารระเหยไม่ไหลผ่านไส้กรอง และส่งผลให้ไส้กรองมีประสิทธิภาพต่ำลงอย่างมาก

วิธีแก้ไข คือการนำแผ่นทึบ มาปิดช่องว่าง ทำให้ไอสารระเหย ไม่สามารถลอดช่องออกไปได้ (Non-bypass)



รูปที่ 4-28 โฟมพียูภายในเครื่องกรองไอสารระเหย (ก) การเติมไส้กรองโฟมพียูครั้งแรกที่เติมเต็มช่อง (ข) โฟมพียูเมื่อผ่านการเคลื่อนย้ายและใช้งานมาสักระยะ

2.3.4 สรุป

ไส้กรองโฟมพียู สามารถนำมาแปรรูปให้มีขนาดเล็ก แล้วมาบรรจุเป็นไส้กรองไอสารระเหยได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับที่ดี แต่ยังคงไม่สามารถเทียบเท่าไส้กรองถ่านกัมมันต์ได้ โดยประสิทธิภาพสามารถเพิ่มได้ จากการออกแบบอย่างถูกต้อง และมีการตรวจสอบข้อบกพร่องอยู่เสมอ

เมื่อไส้กรองโฟมพียูหมดสภาพ สามารถนำไปเผาพร้อมกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ และการแปรรูปเป็นชิ้นขนาดเล็กแล้ว ทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงมาก

2.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องกรองไอสารระเหย

การลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องกรองไอสารระเหย ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการลงพื้นที่ 2 แห่ง ได้แก่

- วันที่ 24 มกราคม 2563 พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์
- วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2563 พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดสุรินทร์

ซึ่งประกอบด้วย การแนะนำและสาธิตการใช้งานเครื่องกรองไอสารระเหย การเปิดรับฟังความคิดเห็นจากชุมชน และการพัฒนาต่อยอด เช่นเดียวกับการถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องฟอกอากาศจากเศษโฟมพียู

3. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ที่ปรึกษาฯ ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อมในการจัดการกับฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียู ของตำบลบ้านกอก อำเภอยางชุมน้อย

ใน จังหวัดอุบลราชธานี จำกัด โดยการดำเนินกิจกรรมนี้ ที่ปรึกษาฯ จะนำประเด็นข้อมูลต่าง ๆ ของฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโคมพื้ที่เป็นของเสียเป้าหมายที่ศึกษา เช่น ข้อมูลด้านปริมาณ การเกิดของเสีย วิธีการจัดการของเสียของพื้นที่ กฎระเบียบจากภาครัฐ ปัญหาและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานในการจัดการกับโคมพื้ รวมถึงการพัฒนานำโคมพื้มาใช้ประโยชน์เพื่อหาแนวทางการลดผลกระทบที่เกิดจากของเหลือทิ้ง ให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ลดปริมาณหรือภาระในการจัดการกับของเสีย มาพิจารณา เพื่อที่จะศึกษาและเสนอแนวทางในการนำโคมพื้กลับมาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับการดำเนินการของชุมชนในพื้นที่โดยรอบ

3.1 ปัจจัยในการวิเคราะห์และประเมินเปรียบเทียบการดำเนินการจัดการซากโคมพื้

1) *ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์* เป็นการนำแนวทางวิธีการจัดการซากโคมพื้การมาใช้ประโยชน์ มาพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ด้านตัวเงินที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการจัดการกับโคมพื้และการนำโคมพื้กลับมาใช้ประโยชน์จากการดำเนินการจัดการในรูปแบบอื่นๆ ที่มีความเป็นไปได้และเหมาะสมชุมชนในพื้นที่โดยรอบ

2) *ปัจจัยด้านสังคม* จะพิจารณาจากการดำเนินการจัดการซากโคมพื้ในพื้นที่ ที่อาจเกิดผลกระทบต่อชุมชน โดยจะศึกษาจากการสำรวจความคิดเห็นของชุมชนรอบพื้นที่จากผลกระทบของการดำเนินการจัดการกับโคมพื้กลับมาใช้ประโยชน์ และการดำเนินการนำตะกอนน้ำประปาลกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่นๆ ที่มีความเป็นไปได้และเหมาะสมที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชนในพื้นที่

3) *ปัจจัยศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม* จะพิจารณาจากระดับของผลกระทบด้านมลพิษต่างๆ จากการดำเนินการจัดการกับโคมพื้ในรูปแบบปัจจุบัน ที่อาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เช่น มลพิษที่เกิดจากการจัดการซากโคมพื้ สุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อม ภาระของสถานที่ฝังกลบ กฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการจัดการซากโคมพื้กลับมาใช้ประโยชน์ จากการดำเนินการจัดการนำโคมพื้กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่นๆ ที่มีความเป็นไปได้และเหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม

3.2 การเปรียบเทียบการดำเนินการจัดการโคมพื้ในพื้นที่เป้าหมายในปัจจุบัน

จากการศึกษาวิธีการจัดการซากโคมพื้ของโรงงานอุตสาหกรรม เปรียบเทียบการจัดการโคมพื้ของพื้นที่เป้าหมาย ในประเด็นทางด้านเศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลของตำบลบ้านกรอก จังหวัดอุบลราชธานี ซากโคมพื้เกิดจากการคัดแยกชิ้นส่วนซากตู้เย็นเก่าที่ถูกรับซื้อเพื่อการคัดแยกชิ้นส่วนขาย หากดำเนินการในโรงงานประกอบการคัดแยก จะมีรหัสของเสียอุตสาหกรรม คือ 16 02 16 ชิ้นส่วนที่ถอดแยกจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ใช้งาน เป็นของเสียที่เกิดจากการคัดแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ใช้งาน จัดอยู่ในกลุ่มของเสียที่ไม่เป็นอันตราย แต่ต้องมีการส่งไปกำจัดนอกโรงงานอย่างถูกต้องตามกฎหมาย

โรงงานกับบริษัทผู้รับบำบัดกำจัดของเสียอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ของเสียจะถูกส่งไปเผาทำลายที่โรงงานปูนซีเมนต์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียไม่อันตรายประมาณ 2,000 – 3,000 บาทต่อตัน หรือคิดตามปริมาณของเสียโดยยังไม่รวมค่าใช้จ่ายในการขนส่ง แต่ซากโฟมพียูของ ตำบลบ้านกรอก จังหวัดอุบลราชธานี เกิดขึ้นจากกิจกรรมการ รื้อ คัดแยก ขยายของเก่าจากกิจกรรมระดับชุมชนหมู่บ้าน ทำให้ซากโฟมพียูที่เกิดขึ้น เป็นขยะชุมชนไม่จำเป็นต้องปฏิบัติตามวิธีการจัดการของเสียอุตสาหกรรมของกรมโรงงาน ทำให้การจัดการซากโฟมพียูเป็นความรับผิดชอบของผู้ทำกิจกรรม รื้อคัดแยกและองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น จากการสำรวจข้อมูลเชิงสถิติ ปริมาณโฟมพียูที่เกิดขึ้นภายในชุมชนตำบลบ้านกรอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี เกิดจากกิจกรรมการคัดแยกชิ้นส่วนตู้เย็นทั้งหมด มีการนำเข้าและคัดแยกตู้เย็นประมาณ 44 เครื่องต่อเดือน มีปริมาณเศษโฟมพียูเฉลี่ย 103 กิโลกรัมต่อเดือน เฉลี่ยขึ้นละ 2.4 กิโลกรัม ซึ่งในการศึกษาหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม ของทางเลือกในการนำซากโฟมพียูไปจัดการตามวิธีต่างๆ ที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันมี รายละเอียดดังนี้

วิธีการจัดการซากโฟมพียูทั่วไปตามวิธีการจัดการที่ดำเนินการอยู่ของพื้นที่ศึกษามีดังนี้

- การเผาทำลายในพื้นที่ชุมชนหรือลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ
- การรวบรวมส่งสถานที่ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล
- การรวบรวมส่งไปกำจัดโรงงานเตาเผาปูนซีเมนต์ (กรณีโรงงานอุตสาหกรรมต้องปฏิบัติตามกฎหมายโรงงาน)

3.2.1 การเผาทำลายในพื้นที่ชุมชนหรือลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ

การจัดการซากโฟมพียู ด้วยการเผาทำลายในพื้นที่ชุมชนหรือลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ เป็นวิธีการจัดการที่ผู้ประกอบการชุมชนในพื้นที่ศึกษาดำเนินการอยู่ รายละเอียดในการประเมินมีดังนี้

ด้านเศรษฐกิจ

โดยทั่วไป ผู้ประกอบการที่ดำเนินกิจกรรมคัดแยกตู้เย็นจะทำการคัดแยกชิ้นส่วนอะไหล่ของตู้เย็นที่ขายได้ทุกชิ้นโดยเฉพาะที่เป็นโลหะโครงสร้างและทองแดง ยกเว้นแต่โฟมพียูที่เป็นโครงฉนวนที่ขายไม่ได้ ไม่มีผู้รับซื้อ ขนาดชิ้นใหญ่เปลืองเนื้อที่การจัดเก็บ ทางหน่วยงานรับผิดชอบท้องถิ่นในปัจจุบันไม่รับดำเนินการจัดการร่วมกับขยะชุมชน แต่ยังหาข้อสรุปในการจัดการด้านค่าใช้จ่ายในการจัดการกับโฟมพียูไม่ได้ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายการส่งไปกำจัดยังสถานที่จัดการของท้องถิ่น ผู้ประกอบการส่วนใหญ่ไม่ยินยอมจะจ่ายค่าจัดการกับพียูโฟม เนื่องจากเคยปฏิบัติด้วยการทิ้งร่วมกับขยะชุมชนมาอย่างยาวนาน การเก็บโฟมพียูไว้ในสถานที่คัดแยกจะทำให้เสียพื้นที่การจัดเก็บสินค้าอย่างมากเป็นภาระของผู้ประกอบการ ผู้ประกอบการคัดแยกส่วนใหญ่ จึงนำโฟมพียูเหล่านั้นไปเผาทำลายหรือแอบทิ้งตามที่โล่งแจ้งเพื่อจะได้ไม่ต้อง

เสียค่าใช้จ่ายในการจัดการ โดยส่วนใหญ่จะคิดว่าการเผาหรือการทิ้ง ไม่ส่งผลกระทบต่อชาวบ้านและสิ่งแวดล้อมเนื่องทำตามทีโง่เง่า ซึ่งในแง่ของเศรษฐกิจหรือค่าใช้จ่ายในการกำจัดของผู้ประกอบการถือว่าการเผาทำลายหรือทิ้งตามที่สาธารณะถือว่าดีที่สุดสำหรับตัวผู้ประกอบการ เพราะไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ แต่การกิจกรรมเหล่านี้เป็นการผลักภาระต้นทุนค่าใช้จ่ายการจัดการของเสียและผลกระทบต่อให้กับคนอื่น ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบ ชาวบ้านในพื้นที่ใกล้เคียง สิ่งแวดล้อมอื่นที่ไม่ได้เป็นผู้ก่อ ต้องมารับหรือจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นแต่ค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาที่สูงกว่า

ด้านสังคม

การจัดการซากโคมพื้ด้วยการเผาทำลายในพื้นที่ชุมชนหรือลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ ชาวบ้านและชุมชนโดยรอบไม่ได้รับผลประโยชน์แต่อย่างใดจากการกำจัดโคมพื้ด้วยวิธีนี้ นอกจากนี้จะได้รับผลกระทบโดยตรง จากละอองฝุ่นควัน กลิ่นเหม็น ขยะที่ตกค้างตามที่สาธารณะ เป็นเหตุเดือดร้อนรำคาญและปัญหาสุขภาพจากการได้รับมลพิษที่เกิดขึ้น ผู้ที่ไม่ได้ประกอบกิจกรรมคัดแยกขยะอื่นได้รับผลกระทบและเกิดเป็นต้นทุนทางสังคม ที่ผู้ก่อไม่ได้เข้ามารับผิดชอบต่อค่าเสียหายที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างภาระกับหน่วยงาน เจ้าหน้าที่ติดตาม ควบคุมความเป็นสงบเรียบร้อยในชุมชนอีกด้วย

ด้านสิ่งแวดล้อม

การจัดการซากโคมพื้ด้วยการเผาทำลายในพื้นที่ชุมชนหรือลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ ในด้านสิ่งแวดล้อมถือว่าการจัดการที่แย่มากที่สุด เนื่องจากการสร้างมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ทั้งทางอากาศ แห้งน้ำ พื้นที่การเกษตรต่างก็ได้รับผลกระทบที่เกิดขึ้น ถึงแม้ว่าการเผานั้นจะเป็นวิธีการที่รวดเร็ว ไม่มีค่าใช้จ่าย ลดปริมาณของเสียได้อย่างมาก แต่นำมาซึ่งความเสียหายต่อคน สัตว์และสิ่งแวดล้อมในบริเวณการจัดการและอาณาบริเวณโดยรอบนั้นอย่างประเมินมูลค่าไม่ได้

3.2.2 การรวบรวมส่งสถานที่ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล

การจัดการซากโคมพื้ การรวบรวมส่งสถานที่ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล เป็นวิธีการจัดการที่ผู้ประกอบการชุมชนและหน่วยงานรับผิดชอบในพื้นที่ดำเนินการอยู่ รายละเอียดในการประเมินมีดังนี้

ด้านเศรษฐกิจ

โดยทั่วไป ผู้ประกอบการที่ดำเนินกิจกรรมคัดแยกตู้เย็นจะทำการคัดแยกชิ้นส่วนอะไหล่ของตู้เย็นที่ขายได้ทุกชิ้น ยกเว้นแต่โคมพื้ที่เป็นโครงฉนวนที่ขายไม่ได้ ไม่มีผู้รับซื้อ ตามแนวทางปฏิบัติของหน่วยงานท้องถิ่นเป็นผู้ดำเนินการรวบรวมนำไปจัดการ เนื่องจากโคมพื้ที่เกิดจากการคัดแยกจากผู้ประกอบการในชุมชนถือเป็นขยะชุมชน ถึงแม้ว่าลักษณะทางกายภาพของโคมพื้จะมีลักษณะเป็นของเสียอุตสาหกรรมก็ตาม ทำให้การดำเนินการจัดเก็บรวบรวมเป็นหน้าที่ของหน่วยงานท้องถิ่น

ค่าธรรมเนียมในการเก็บจากผู้ประกอบการอยู่ในอัตราค่าบริการที่น้อยหรือไม่ได้มีการจัดเก็บเลย ทำให้ผู้ประกอบการเลือกดำเนินการจัดการด้วยวิธีเพราะมีค่าใช้จ่ายในการนำโคมพื้ญไปจัดการที่ต่ำ (เก็บได้เพียงค่าเก็บขนหรือค่ากำจัดขยะชุมชน ที่ประมาณ 400-500 บาทต่อครัวเรือนต่อเดือน) และเข้าใจว่าเป็นการจัดการเป็นหน้าที่ของภาครัฐ และเนื่องจากโคมพื้ญไม่ย่อยสลาย ทำให้กลายเป็นขยะสะสมอยู่ที่หลุมฝังกลบ เป็นภาระในพื้นที่หลุมฝังกลบเป็นอย่างมาก จากการสำรวจมีปริมาณสะสมมากกว่า 2,000 ตัน หรือกินพื้นที่หลุมฝังกลบของท้องถิ่นมากกว่า 4 ไร่จากพื้นที่ทั้งหมด 5 ไร่ ไม่สามารถดำเนินการจัดการซากโคมพื้ญของใหม่และขยะมูลฝอยอื่นๆ ได้อีก เป็นภาระและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดหาสถานที่ฝังกลบแห่งใหม่

ด้านสังคม

การรวบรวมซากโคมพื้ญของผู้ประกอบการกิจกรรมคัดแยกเป็นหน้าที่ของหน่วยงานท้องถิ่น เนื่องจากเป็นของเสียจากการคัดแยกจากผู้ประกอบการที่ไม่ได้เป็นโรงงานอุตสาหกรรม ยังถือว่าเป็นขยะชุมชนการเก็บรวบรวมส่งสถานที่ฝังกลบจึงยังเป็นการดำเนินการจัดการกับโคมพื้ญที่ถูกต้อง แต่เนื่องจากขยะอื่นๆ จากการคัดแยกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงโคมพื้ญที่มีปริมาณและปริมาตรมากทำให้การขนส่งรวบรวมและสถานที่ฝังกลบมูลฝอยรวมเต็มเร็วเปลืองพื้นที่ฝังกลบ อีกทั้งซากของเสียเหล่านี้ยังย่อยสลายได้ยากเป็นภาระของหลุมฝังกลบ จึงอาจจะทำให้ชาวบ้านที่ต้องทิ้งมูลฝอยทั่วไปที่ไม่ได้ประกอบกิจกรรมการคัดแยกได้รับผลกระทบจากปัญหาหลุมฝังกลบเต็มไปด้วย

ด้านสิ่งแวดล้อม

การรวบรวมซากโคมพื้ญของผู้ประกอบการคัดแยกส่งสถานที่ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล ถือว่าเป็นการดำเนินการถูกต้องตามนิยามของขยะชุมชน แต่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เนื่องจากโคมพื้ญเป็นของเสียที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนานมาก ไม่เหมาะกับการนำไปฝังกลบ ถึงแม้ว่าตัวโคมพื้ญที่ไม่ปนเปื้อนสารเคมีจะเป็นของเสียที่ไม่อันตรายก็ตาม แต่ด้วยปริมาณมากปริมาตรที่ใหญ่ การนำไปฝังกลบอาจจะเป็นภาระของพื้นที่ของหลุมฝังกลบที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งควรจะใช้ในการรองรับกับของเสียอื่นๆ ที่เหมาะสมกว่า ผู้ประกอบการเจ้าของโคมพื้ญจึงควรคำนึงถึงทางเลือกการจัดการที่เหมาะสมพร้อมกับภาระต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมจากของเสียของตนเอง

3.2.3 การรวบรวมส่งไปกำจัดโรงงานเตาเผาปูนซีเมนต์

การจัดการซากโคมพื้ญ ด้วยการรวบรวมส่งไปกำจัดโรงงานเตาเผาปูนซีเมนต์ เป็นวิธีการจัดการที่ผู้ประกอบการชุมชนในพื้นที่ไม่ได้ทำ แต่หน่วยงานรับผิดชอบในพื้นที่ดำเนินการอยู่บางตามความเหมาะสม รายละเอียดในการประเมินมีดังนี้

ด้านเศรษฐกิจ

โดยทั่วไปโรงงานผลิตปูนซีเมนต์สามารถที่จะรับโม่ปูนได้ เนื่องจากสามารถนำโม่ปูนสามารถทำลายได้ แต่มีค่าพลังงานความร้อนที่เป็นเชื้อเพลิงไม่ดีพอที่จะรับซื้อไปเผาเพื่อทำพลังงาน การส่งโม่ปูนจาก จังหวัดอุบลราชธานี มาที่โรงงานปูนจังหวัดสระบุรีมีระยะทางที่ไกล นอกจากผู้รวบรวมขนส่งมาจำกัดที่โรงงานเตาปูนซีเมนต์จะต้องเสียค่าจำกัด ซึ่งตกต้นละ 3,000 – 5,000 บาทหรือคิดตามปริมาตรของเสียที่ไม่ใช่ขยะที่ปนเปื้อนหรือขยะอันตราย ยังต้องเสียค่าเดินทางขนส่งของโม่ปูนมาทำลายด้วย ทั้งขาไปขากลับ ทำให้ทางองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการส่งของเสียมากำจัดไม่ต่ำกว่า 103 กิโลกรัมต่อเดือน ซึ่งมีน้ำหนักน้อย แต่ปริมาตรมาก มีค่าใช้จ่ายพาหนะการส่งโม่ปูนไปจำกัด เฉลี่ยเดือนไม่น้อยกว่า 200,000 บาทต่อปี และปัญหาที่สำคัญในการกำจัดโม่ปูนด้วยวิธีนี้ คือทางผู้รับผิดชอบในการรวบรวมขนส่ง จะต้องเตรียมการลดขนาดของโม่ปูนและอัดให้แน่นเพื่อเพิ่มการบรรจุให้สอดคล้องกับปริมาณความจุในการขนส่งให้ได้มากที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดจำนวนรอบการบรรทุก

ด้านสังคม

การดำเนินการส่งซากโม่ปูนไปให้โรงงานผลิตปูนซีเมนต์จัดการ ซึ่งเป็นการจัดการที่ถูกต้องโดย การนำของเสียของชุมชนไปจัดการนอกพื้นที่ ทำให้ชุมชนในพื้นที่ไม่ได้ผลกระทบในเรื่องของการจัดการ ความเรียบร้อยและมลพิษที่เกิดจากการกำจัดในพื้นที่ แต่มีค่าใช้จ่ายในการจัดการที่สูง ในปัจจุบันผู้ประกอบการหรือชาวบ้านในพื้นที่เป็นเจ้าของของเสีย แต่ไม่ได้มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการกำจัดของหน่วยงานท้องถิ่นที่ดำเนินการอยู่ แต่งบประมาณที่ภาครัฐดำเนินการสูงมาก ทำให้ต้องมีการจัดสรรงบประมาณในการพัฒนาชุมชนด้านอื่นๆ ได้รับผลกระทบไปด้วย

ด้านสิ่งแวดล้อม

การส่งซากโม่ปูนไปให้โรงงานผลิตปูนซีเมนต์จัดการในเตาเผาปูนซีเมนต์ ถือว่าเป็นการนำของเสียชุมชนไปจัดการในรูปแบบของอุตสาหกรรม ที่มีความพร้อมในเรื่องของการควบคุมการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่า การนำของเสียไปจัดการเองของชุมชน ไม่ว่าจะเป็นการเผาในที่โล่งแจ้ง หรือนำไปฝังกลบในสถานที่ของชุมชน ซึ่งจะสามารถรับรองคุณภาพของมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขณะทำการกำจัดได้ เช่น มลพิษทางอากาศจากการเผาที่ถูกควบคุมโดยบริษัทผู้รับกำจัด แต่ด้วยค่าใช้จ่ายด้านระยะทางการขนส่งและค่าใช้จ่ายในการกำจัดประกอบกับยังไม่มีกฎหมายรองรับการดำเนินการ และที่สำคัญผู้รับผิดชอบในการดำเนินการไม่ใช่เจ้าของซากโม่ปูนแต่เป็นหน่วยงานดูแลภาครัฐ ทำให้ดำเนินการด้วยวิธีไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร

ตารางที่ 4-4 สรุปการเปรียบเทียบวิธีการจัดการซากโฟมพียู

วิธีการจัดการ	เศรษฐกิจ (ค่าใช้จ่าย)	สังคม (ผลกระทบต่อชุมชน)	สิ่งแวดล้อม (ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม)
1) การเผาทำลายในพื้นที่ชุมชนหรือลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ	ผู้ประกอบการเจ้าของซากไม่เสียค่าใช้จ่าย แต่หน่วยงานรับผิดชอบต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบ	มีผลกระทบต่อชุมชนในพื้นที่ เช่น มลพิษทางอากาศ ฝุ่น ควัน กลิ่นเหม็น สุขภาพของคนในพื้นที่จากมลพิษที่เกิดขึ้น	เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย โดยเฉพาะการเผาทำลายในที่โล่งแจ้ง
2) การรวบรวมส่งสถานที่ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล-	ผู้ประกอบการคัดแยก ตู้นิ้นต้องเสียค่าเก็บรวบรวมและฝังกลบ เทียบเท่าของเสียที่ไม่เป็นอันตรายชุมชน 400-500 บาทต่อเดือนรวมค่ากำจัดและค่าเก็บขน (ในส่วนของโฟมพียูไม่ได้ดำเนินการแล้ว)	ปริมาณพื้นที่หลุมฝังกลบไม่เพียงพอ ไม่สามารถดำเนินการนำซากโฟมพียูไปจัดการได้แล้ว ทำให้เกิดขยะสะสมที่ไม่ได้รับการจัดการในพื้นที่จำนวนมาก	เกิดปริมาณขยะสะสมรอการกำจัดในหลุมฝังกลบเป็นจำนวนมาก เนื่องจากจากโฟมพียูไม่ย่อยสลาย ไม่ควรรวมเป็นขยะชุมชน แต่เป็นภาระให้หลุมฝังกลบ
3) การรวบรวมส่งไปกำจัดโรงงานเตาเผาปูนซีเมนต์	หน่วยงานรับผิดชอบเสียค่าขนส่งและค่ากำจัดไปสถานที่จัดการประมาณ 20,000 บาทต่อเดือน (ผู้ประกอบการไม่ได้เป็นผู้เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งเจ้าของของเสียควรเป็นผู้จ่าย) รวมเฉลี่ยปีตามปริมาณ 240,000 บาทต่อปี	ไม่มีผลกระทบต่อชุมชนในพื้นที่ แต่อาจส่งผลกระทบต่อการจัดสรรงบประมาณพัฒนาชุมชนด้านอื่นๆ ที่ต้องมารับภาระในการจัดการซากโฟมพียู	ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ เนื่องจากเป็นการจัดการที่ควบคุมคุณภาพจากผู้รับกำจัดบำบัด ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้ของเสียเข้าสู่ระบบการจัดการที่ดีมากขึ้น

ตารางที่ 4-4 สรุปการเปรียบเทียบวิธีการจัดการซากโฟมพียู (ต่อ)

วิธีการจัดการ	เศรษฐกิจ (ค่าใช้จ่าย)	สังคม (ผลกระทบต่อชุมชน)	สิ่งแวดล้อม (ผลกระทบ สิ่งแวดล้อม)
4) การพัฒนานำซากโฟมพียูกลับมาใช้ประโยชน์ ด้วยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ	ไม่มีค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบที่จะนำไปใช้พัฒนา เนื่องจากซากโฟมพียู ไม่มีราคาไม่ผู้รับซื้อ	หากสามารถนำซากโฟมพียูกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ก็จะลดปริมาณของเสียที่ต้องจัดการน้อยลง ชุมชนได้รับผลประโยชน์ในด้านที่ของเสียในพื้นที่น้อยลง	เป็นการนำของเสียไปใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์ ลดปริมาณของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

3.3 การศึกษาทางเลือกความเป็นไปได้การใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียู ทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ

จากการศึกษาประเด็นด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อมของแนวทางการจัดการซากโฟมพียู ตามวิธีการจัดการที่ดำเนินการอยู่นั้น ยังมีวิธีการจัดการซากโฟมพียูทางเลือกอื่นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่สามารถทำได้ เช่น การจัดการซากโฟมพียูโดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้โฟมพียูเป็นวัตถุดิบผสมในการผลิต คอนกรีตบล็อกหรืออิฐมวลเบา โดยจุดประสงค์เพื่อการลดภาระในการกำจัดโฟมพียู ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ทางที่ปรึกษาได้นำไปใช้ทดลองการผลิตผลิตภัณฑ์ทางเลือก ได้แก่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาความเป็นไปได้เชิงเทคโนโลยี เพื่อปริมาณซากโฟมพียูสะสมในการโดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไส้กรองอากาศ 1) เครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และ 2) เครื่องกรองไอสารระเหย

ในส่วนของการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยีในการนำโฟมพียูทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กและเครื่องกรองไอสารระเหยได้กล่าวไว้ในบทก่อนหน้า ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของความคุ้มค่าในของการนำซากโฟมพียูพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ โดยจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นได้ ในการลดปริมาณโฟมพียูที่จะถูกนำไปทิ้งสะสมหรือกำจัดไม่ถูกต้อง ที่ปริมาณเฉลี่ยมากกว่า 103 กิโลกรัมต่อเดือน จากการคัดแยกตู้เย็น 44 เครื่องต่อเดือน หรือมีปริมาณโฟมพียูเครื่องขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวมเฉลี่ย 2.4 กิโลกรัมต่อชิ้น ให้สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งการประหยัดจากค่าใช้จ่ายในการจัดการ

ซากโฟมพียู การลดการลักลอบเผาทำลาย และชุมชนโดยรอบสามารถนำผลิตภัณฑ์จากการที่ใช้โฟมพียูที่เป็นของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ไปใช้ในเป็นไส้กรองอากาศที่เป็นวัสดุประกอบในผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ลดมลพิษทางอากาศได้ เพื่อให้เกิดการพัฒนาในพื้นที่ต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การประเมินเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของการเตรียมวัสดุในการผลิตไส้กรองอากาศจากซากโฟมพียูสำหรับ เครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และ เครื่องกรองไอสารระเหย

จากการศึกษาทางด้านการนำซากโฟมพียูกลับมาใช้ประโยชน์โดยนำมาผลิตเป็นไส้กรองอากาศสำหรับใช้เครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และ เครื่องกรองไอสารระเหย จากการศึกษาตัวไส้กรองอากาศที่เหมาะสมใช้โฟมพียูขนาด 1 ลบ.ม. เหมือนกัน โดยมีน้ำหนัก 50 กรัมต่อแผ่น ใช้ได้ 1 สัปดาห์เปลี่ยน สำหรับเครื่องฟอกอากาศและ 4 กิโลกรัมต่อครั้ง ใช้ได้ 2 สัปดาห์เปลี่ยน สำหรับเครื่องกรองไอสารระเหย โดยปริมาณโฟมพียูที่ศึกษาในพื้นที่ศึกษา มีปริมาณ 103 กิโลกรัมต่อเดือน ไม่มีค่าใช้จ่ายในการซื้อขายซากโฟมพียู โดย สามารถจ้างเหมาแรงงานตัดแผ่นโฟมพียูให้มีขนาด 1 ลบ.ม. ได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม 300 บาท หรือ 100 กิโลกรัม 3,000 บาทต่อเดือน จะมีต้นทุนสำหรับการเตรียมวัตถุดิบสำหรับอุปกรณ์ ที่หน่วยละ 30 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้น ไส้กรองอากาศสำหรับเครื่องฟอกอากาศมีต้นทุนอยู่ ที่ครั้งละ 1.5 บาท และ ไส้กรองสำหรับเครื่องกรองไอระเหย ที่ครั้ง 120 บาท ซึ่งหากนำไปเทียบวัสดุที่เป็นไส้กรอง เช่น ถ่านกัมมันต์หรือแผ่นไส้กรองอื่น จะมีราคาอยู่ที่ 30-50 บาทต่อกิโลกรัม (ไม่สามารถเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นหรือไอระเหย เนื่องจากมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน) การใช้ซากโฟมพียูกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำไส้กรองก็จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า

3.3.2 การวิเคราะห์ด้านต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ของเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และเครื่องกรองไอสารระเหย

ด้านต้นทุนหรือค่าใช้จ่าย

1) เครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ด้านต้นทุน (Cost) ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

(1) ต้นทุนคงที่ เป็นต้นทุนที่เกิดจากการลงทุนในปีแรก ได้แก่ เครื่องจักรอุปกรณ์ การติดตั้งระบบต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4-5 ต้นทุนค่าอุปกรณ์เครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ลำดับ	ต้นทุนเครื่องฟอกอากาศ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
1	โครงสร้างกล่องสังกะสี	36x36x78 เซนติเมตร มีราง ด้านหน้าสำหรับใส่เฟรมอะลูมิเนียม ไส้กรอง	1,000	บาท
2	ชุดพัดลมดูดอากาศ	พัดลมหอยโข่ง ขนาด 250 วัตต์ 220 โวลต์	2,700	บาท
3	ค่าติดตั้งและอุปกรณ์อื่นๆ	ไส้กรองทำจากเฟรมสี่เหลี่ยมผืนผ้า อะลูมิเนียมสำหรับใส่โคมพื้ญ ขนาด 31x5x44 เซนติเมตร กริลเลอร์ (Griller) ทำจากแผ่นเหล็ก ขนาด 19x20x42.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	1,300	บาท
	รวม		4,000	บาท

หมายเหตุ เป็นราคาประมาณการ

(2) ค่าใช้จ่ายดำเนินการ เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตหรือใช้อุปกรณ์ ต่อ 1 ชุดอุปกรณ์

ตารางที่ 4-6 ค่าใช้จ่ายดำเนินการเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ลำดับ	ค่าใช้จ่ายในดำเนินการ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
1	ค่าวัตถุดิบโคมพื้ญ	ใช้ปริมาณ 50 กรัม ต่อ 1 ไส้กรอง ถอดเปลี่ยนไส้กรองได้ทุกสัปดาห์ (เป็นวัสดุเหลือทิ้งไม่เสียค่าใช้จ่าย)	-	

ตารางที่ 4-6 ค่าใช้จ่ายดำเนินการเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
2	ค่าแรงงาน	แรงงานในการตัดแผ่นโพนพิญ ขนาด 1 ลบ.ชม. เหนือ 100 กิโลกรัม 3,000 บาท กิโลกรัมละ 30 บาท ใช้ 200 กรัมต่อ เดือน	6	บาทต่อเดือน
3	ค่าไฟฟ้า	พัดลมดูดอากาศใช้ไฟฟ้า 2.52 หน่วย ต่อวัน (ค่าไฟฟ้าคิดที่หน่วยละ 4 บาท) 1 เดือน คิดที่ 20 วัน	202	บาทต่อเดือน
	รวม		208	บาทต่อเดือน

2) เครื่องกรองไอสารระเหย

ด้านต้นทุน (Cost) ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

(1) ต้นทุนคงที่ เป็นต้นทุนที่เกิดจากการลงทุนในปีแรก ได้แก่ เครื่องจักรอุปกรณ์ การติดตั้งระบบต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4-7 ต้นทุนค่าอุปกรณ์เครื่องกรองไอสารระเหย

ลำดับ	ต้นทุนเครื่องกรองไอสาร ระเหย	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
	โครงสร้างโลหะเครื่องกรองไอ สารระเหย	โครงเหล็กแบบกล่องขนาด 1x1 นิ้ว โดยแบ่งออกเป็น 4 ห้องสำหรับการ ติดตั้งระบบกรอง 3 ห้องและ อุปกรณ์ดูดอากาศ 1 ห้อง ผนัง ภายนอกหุ้มด้วยเหล็กแผ่น	7,000	บาท

ตารางที่ 4-7 ต้นทุนค่าอุปกรณ์เครื่องกรองไอสารระเหย (ต่อ)

ลำดับ	ต้นทุนเครื่องกรองไอสารระเหย	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
	ชุดพัดลมดูดอากาศ	พัดลมดูดอากาศ (Blower) แบบ centrifuge blower	2,000	บาท
	ค่าติดตั้งและอุปกรณ์อื่นๆ	อุปกรณ์ด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า	1,000	บาท
	รวม		10,000	บาท

หมายเหตุ ราคาประมาณการ

(2) ต้นทุนดำเนินการ เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตหรือใช้อุปกรณ์ ต่อ 1 ชุดอุปกรณ์

ตารางที่ 4-8 ค่าใช้จ่ายดำเนินการเครื่องกรองไอสารระเหย

ลำดับ	ค่าใช้จ่ายในดำเนินการ	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
1	ค่าวัตถุดิบโพนพิลุ	ใช้ปริมาณ 4 กิโลกรัม ต่อ 1 ไส้กรอง ถอดเปลี่ยนไส้กรองได้ทุก 2 สัปดาห์ (เป็นวัสดุเหลือทิ้งไม่เสียค่าใช้จ่าย)	-	
2	ค่าแรงงาน	แรงงานในการตัดแผ่นโพนพิลุ ขนาด 1 ลบ.ซม. เหนมา 100 กิโลกรัม 3,000 บาท กิโลกรัมละ 30 บาท ใช้ 8 กิโลกรัมกรัมต่อเดือน	240	บาทต่อเดือน
3	ค่าไฟฟ้า	พัดลมดูดอากาศใช้ไฟฟ้า 5 หน่วย ต่อวัน (ค่าไฟฟ้าคิดที่หน่วยละ 4 บาท) 1 เดือน คิดที่ 20 วัน	400	บาทต่อเดือน
	รวม		640	บาทต่อเดือน

ด้านประโยชน์ (Benefit)

ด้านประโยชน์ (Benefit) เป็นผลประโยชน์ที่เกิดจากการใช้ซากโพลีเมอร์มาผลิตเป็นไส้กรองสำหรับการกรองอากาศ มีรายละเอียดดังในตารางที่

1) ผลประโยชน์ตรง

(1) ประหยัดค่าใช้จ่ายในการส่งซากโพลีเมอร์ไปกำจัดอย่างถูกต้องที่โรงปูนซีเมนต์รวมค่าการขนส่ง อย่างน้อย 20,000 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 240,000 บาทต่อปี

(2) ได้ไส้กรองอากาศสำหรับเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และไส้กรองอากาศ เครื่องกรองไอสารระเหย จากซากโพลีเมอร์จำนวน 103 กิโลกรัมต่อเดือน ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้เทียบเท่ากับ วัสดุทำไส้กรองอากาศ ชนิดอื่นที่คุณภาพใกล้เคียงกัน เช่น ถ่านกัมมันต์หรือผ้ากรองอากาศ ที่ 30-50 บาทต่อกิโลกรัมหรือต่อแผ่น

2) ผลประโยชน์ทางอ้อม

(1) สามารถลดการนำโพลีเมอร์ไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง เช่น การเผาทำลายในที่โล่งแจ้ง หรือการรวบรวมนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบชุมชน

(2) สุขภาพของคนที่ใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และอากาศ เครื่องกรองไอสารระเหยดีขึ้น เนื่องจากช่วยลดปัญหาฝุ่นละอองภายในอาคารและไอสารระเหยบริเวณภายนอกได้

(3) สิ่งแวดล้อมภาพรวมดีขึ้นสามารถลดปริมาณการตกค้างสะสมของซากโพลีเมอร์ที่เป็นของเสียที่ไม่ย่อยสลาย ลดภาระของหลุมฝังกลบชุมชน ลดปัญหามลพิษทางอากาศ และการนำทรัพยากรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดก่อนกลับไปเป็นของเสียอีกครั้ง

3.4 สรุปความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์

สรุปความเป็นไปได้ด้านทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ของเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และเครื่องกรองไอสารระเหย จากการศึกษาพบว่า ปริมาณซากโพลีเมอร์มี 103 กิโลกรัมต่อเดือน เสียค่าใช้จ่ายในการส่งไปเผาทำลายประมาณ 20,000 บาทต่อเดือน ใช้งบประมาณต่อปี 240,000 สำหรับค่ากำจัดของเสีย หากนำมาดำเนินการตัดเป็นชิ้นขนาด 1 ลบ.ม. เพื่อเตรียมทำเป็นวัสดุไส้กรองอากาศทั้งหมด 100 กิโลกรัมจะเสียค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน 3,000 บาทต่อเดือน สามารถนำไปเป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศในอาคาร ได้ 2,000 แผ่น (ครั้ง 50 กรัม) หรือสำหรับใช้ในเครื่องกรองไอสารระเหย 25

ครั้ง (ครั้งละ 4 กิโลกรัม) โดยมีต้นทุนค่าอุปกรณ์อยู่ที่ประมาณ 2,000 บาท และ 10,000 บาท ตามลำดับ ดังนั้นหากมีการลงทุนจัดทำอุปกรณ์หรือพัฒนาที่ผ่านการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยีว่าสามารถนำซากโฟมพียูไปใช้ได้โดยไม่เกิดโทษและสร้างประโยชน์ในการลดมลพิษโดยไม่เปลี่ยนแปลงหรือส่งผลกระทบต่อวัฒนธรรมความเป็นอยู่ของชุมชน โดยมุ่งไปเพื่อประโยชน์ในด้านการลดปริมาณการส่งกำจัดซากโฟมพียูเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ลดมลพิษทางอากาศในระยะยาวย่อมเป็นการลงทุนที่คุ้มค่ากว่าการนำเงินงบประมาณไปกับการจัดการของซากโฟมพียูของผู้ประกอบการที่ขาดความรับผิดชอบต่อสังคม

4. เอกสารอ้างอิง

- Ongwandee M, Moonrinta R, Panyametheekul S, Tangbanluekal C, and Morrison G. 2011. Investigation of volatile organic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: concentrations, sources, and occupant symptoms. *Building and Environment*. 46: 1512-1522.
- Ongwandee M, and Kruewan A. 2012. Evaluation of portable household and in-car air cleaners for air cleaning potential and ozone-initiated pollutants. *Indoor and Built Environment*. 22: 659-668.

บทที่ 5

ผลผลิต (Output) หรือตัวชี้วัดแต่ละช่วงรายงานความก้าวหน้า

ตารางที่ 5-1 แสดงแผนการดำเนินของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัยการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโคมพื้ยทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งขณะนี้กิจกรรมที่ดำเนินการแล้วเสร็จและได้ผลผลิตมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-1 แผนการดำเนินของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัยการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโคมพื้ยทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ

กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
1. ศึกษา สํารวจ การรื้อและคัดแยกฉนวนกันความร้อนจากตู้เย็น	*							
2. ทดสอบสมบัติพื้ยโคมพื้ยเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์	*	*						
3. ทดสอบเบื้องต้นการใช้พื้ยโคมพื้ยเป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ	*	*						
4. ออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศต้นแบบและมํานั่งฟอกอากาศ		*	*	*				
5. ทดสอบเครื่องต้นแบบตามวิธีมาตรฐานสากล			*	*				
6. พัฒนาผลิตภัณฑ์นําร่อง				*	*			
7. วิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นในการออกแบบผลิตภัณฑ์					*			
8. ประชาสัมพันธ์ โดยเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ของโครงการ						*		

ผลผลิต 1 แบบร่างและแบบสามมิติของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู ดังแสดงในบทที่ 3

ผลผลิต 2 เครื่องต้นแบบไส้กรองรูปทรงกระบอกบรรจุขึ้นโฟมพียู ดังแสดงภาพถ่ายในบทที่ 3

ผลผลิต 3 สมรรถนะของเครื่องต้นแบบในการดักจับฝุ่น PM2.5 ดังแสดงในบทที่ 4

ผลผลิต 4 ความก้าวหน้าและแผนงานในการสร้างเครื่องกรองไอสารระเหยต้นแบบ ดังแสดงใน
บทที่ 4

ผลผลิต 5 การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ของโครงการ ดังแสดงในบทที่ 4

บทที่ 6

ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้

ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้

	กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
แผนที่ตั้งไว้	1. ศึกษา สำรวจ การรื้อและคัดแยก ฉนวนกันความร้อนจากตู้เย็น	*							
ผลการ ดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	2. ทดสอบสมบัติพื้ญโคมเพื่อการ นำไปใช้ประโยชน์	*	*						
ผลการ ดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	3. ทดสอบเบื้องต้นการใช้พื้ญโคม เป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ	*	*						
ผลการ ดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	4. ออกแบบและสร้างเครื่องฟอก อากาศต้นแบบและม้านั่งฟอก อากาศ		*	*	*				
ผลการ ดำเนินงาน	การออกแบบแล้วเสร็จตามแผนงาน และได้ดำเนินการสร้าง เครื่องต้นแบบ								

ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้ (ต่อ)

	กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
แผนที่ตั้งไว้	5. ทดสอบเครื่องต้นแบบตามวิธีมาตรฐานสากล			✱	✱				
ผลการดำเนินงาน	ดำเนินการแล้วเสร็จ ด้วยการวิเคราะห์หาค่า Clean air delivery rate (CADR) อ้างอิงตามมาตรฐาน AHAM (US Association of Home Appliance Manufacturers)								
แผนที่ตั้งไว้	6. พัฒนาผลิตภัณฑ์นำร่อง				✱	✱			
ผลการดำเนินงาน	ดำเนินการแล้วเสร็จ								
แผนที่ตั้งไว้	7. วิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นในการออกแบบผลิตภัณฑ์					✱			
ผลการดำเนินงาน	ดำเนินการแล้วเสร็จ								
แผนที่ตั้งไว้	8. ประชาสัมพันธ์ โดยเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ของโครงการ						✱		
ผลการดำเนินงาน	ดำเนินการแล้วเสร็จ								

หมายเหตุ	✱	คือ แผนที่ตั้งไว้
	—	คือ ผลการดำเนินงานที่ทำแล้วเสร็จ
		คือ รอดำเนินการ