



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย
ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

Developing Adsorbent to Study Volatile Organic Compounds (VOCs)
Emission in Para-rubber Wood Furniture Manufacturing

นางสาวปรีชญา ชัยสาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย
ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

Developing Adsorbent to Study Volatile Organic Compounds (VOCs)

Emission in Para-rubber Wood Furniture Manufacturing

นามผู้วิจัย นางสาวปริญญา ชัยसार

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณวิทย์ สถาปนจารุ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ทรงศนีย์ พฤกษาสีทธิ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 5 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 51

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย
ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

Developing Adsorbent to Study Volatile Organic Compounds (VOCs)
Emission in Para-rubber Wood Furniture Manufacturing

โดย

นางสาวปรีชญา ชัยสาร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2551

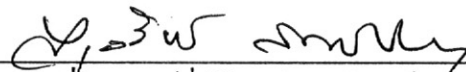
ปริญญา ชัยสาร 2551: การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยใน
โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการ
สิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวิทย์ สถาปนจารุ, Ph.D. 118 หน้า

ปริมาณเศษไม้เหลือทิ้งจำนวนมากและการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ
เป็นปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการ
พัฒนาตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ต้นทุนต่ำจากเศษไม้ยางพาราเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้
ยางพาราเพื่อใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยจากตัวดูดซับที่ผลิตได้

โดยนำเศษไม้ยางพาราจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรีมาทำการกระตุ้นด้วยกรด
ฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 1:2 และทำการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิที่ 450 และ 550 องศา
เซลเซียส ระยะเวลาในการเผาที่ 60 90 และ 120 นาที ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้
อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 786.71
มิลลิกรัมต่อกรัม และ 1,635.65 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยทั้งใน
ห้องทดลองและที่โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ สามารถตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยง่าย 21 ชนิดจากกระบวนการ
ผลิต โดยสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิดหลักที่ตรวจพบในอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์คือ toluene ethylbenzene
p-xylene และ o-xylene ซึ่งนำมาใช้เป็นสารอินทรีย์ระเหยหลักในการศึกษาครั้งนี้

ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด คือ toluene ethylbenzene p-xylene
และ o-xylene พบว่า สามารถอธิบายพฤติกรรมดูดซับได้ดีด้วยสมมติฐานตามสมการการดูดซับฟรุนดลิช
แสดงให้เห็นถึงการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยบนถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น เมื่อทดสอบ
ประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษ ไม้ยางพารากับตัวดูดซับ
ชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้าด้วยวิธีการทางสถิติ t-test พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยไม่
แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงสรุปได้ว่าตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษ ไม้ยางพาราดัชนีต้นทุนต่ำ
สามารถใช้ดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในการศึกษามลพิษทางอากาศได้

ปริญญา ชัยสาร
ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

29 / พ.ค. / 51

Preechaya Chaisarn 2008: Developing Adsorbent to Study Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in Para-rubber Wood Furniture Manufacturing. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Tunlawit Satapanajaru, Ph.D. 118 pages.

Large amount of wood waste and volatile organic compounds (VOCs) emission from production process are major problems in Para-rubber wood furniture manufacturing. The objective of this research was to develop adsorbent to study VOCs adsorption efficiency by low cost activated charcoal produced from Para-rubber wood.

The activated charcoals were prepared by using Para-rubber sawdust from Para-rubber wood furniture manufacturing in Chonburi province, Thailand. Phosphoric acid (H_3PO_4) was used as activating agent with 2:1 impregnation ratio. The material was activated at 450°C or 550°C for 60, 90 or 120 min. Results shows that the suitable condition was the activation at temperatures 450°C in 120 min. Iodine number and BET surface area of activated charcoal produced in this condition were 786.71 and 1,635.65 m^2/g , respectively. Adsorptions of VOCs were conducted both in laboratory and in factory. Twenty one VOCs were found and four evident VOCs of air pollutants such as toluene, ethylbenzene, p-xylene and o-xylene were mainly observed in every study.

Adsorption isotherm of toluene, ethylbenzene, p-xylene and o-xylene are expressed relatively well with Freundlich model. It has shown that VOCs adsorption on activated charcoal produced from sawdust are multi-layer adsorption. The results of t-test shows that the VOCs adsorption efficiency of the activated charcoal produced from sawdust and that of activated charcoal in commercial active gas tube were not significantly different at 95% of acceptable confidence. It could substitute for monitoring as a low cost activated charcoal in actual place.

Preechaya Chaisarn

Student's signature

Tunlawit Satapanajaru 29 / MAY / 08

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลวิทย์ สถาปนจารุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ และ อาจารย์ ดร.พรรศนีย์ พลุกษาสีทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงาน แนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหา ให้ข้อคิดเห็น อบรมสั่งสอน ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตลอดมา รวมทั้ง อาจารย์ ดร.ประไพพิศ ชัยรัตนมโนกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์โรจน์ คุณอนเนก อาจารย์กรรมการผู้ร่วมเข้าฟังการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาช่วยเหลือในการให้ข้อแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ต่างๆ ให้ความช่วยเหลือ อบรมสั่งสอนและเปิดโอกาสดีๆ อื่นๆ ในชีวิตให้ รวมถึงการทำการวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม) ภายใต้โครงการ “โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. (TRF-MRG, Master Research Grants)” รุ่นที่ 3 ปีการศึกษา 2549 ซึ่งได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย เพื่อให้โอกาสในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้อย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณ โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา ศรีราชา จังหวัดชลบุรี คุณสุข คุณสุชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการอนุญาตให้เข้าไปทำการศึกษาวิจัยภายในโรงงาน ให้ข้อมูลที่สำคัญ รวมถึงอำนวยความสะดวกต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยให้เป็นอย่างดี

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ญาติธรรมทั้งหลายที่ผ่านพบจนไม่อาจกล่าวนามได้หมด ในที่นี้ ที่คอยช่วยเหลือ ตามไป และให้กำลังใจในการทำวิจัยในครั้งนี้เสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ทุกๆ เรื่องของชีวิต ให้ความรัก สติ และเป็นกำลังใจที่สำคัญ จนสามารถทำทุกสิ่งอย่างได้ตามที่มุ่งหวัง รวมทั้งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปรีชญา ชัยสาร

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	43
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์โดยประมาณของเศษไม้ยางพาราวัตถุคิบ	86
ภาคผนวก ข การหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์	89
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ BET surface area	92
ภาคผนวก ง คุณลักษณะของ active gas tube ตัวดูดซับอ้างอิง	98
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS	100
ภาคผนวก ฉ Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน VOCs Japanese 52 component indoor air	105
ภาคผนวก ช ค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรมและคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชุดการทดลองตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ	33
2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย	40
3	องค์ประกอบทางกายภาพของเศษไม้ยางพาราซึ่งใช้เป็นวัสดุคืบ	44
4	องค์ประกอบทางเคมีของเศษไม้ยางพาราซึ่งใช้เป็นวัสดุคืบ	45
5	ผลการทดลองการตรวจสอบค่าการดูดซับไอโอดีน	46
6	พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์	47
7	ค่าคงที่ต่างๆ ตามสมการของฟรุนดิชและแลงเมียร์ของการศึกษาครั้งนี้	56
8	เปรียบเทียบค่าคงที่ต่างๆ ตามสมการของฟรุนดิชของการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยอื่นๆ	57
9	โครงสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้ง 21 ชนิดที่ตรวจพบ	60
10	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยภายในห้องปนโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube และผลิตภัณฑ์เกรดการค้า active gas tube เป็นตัวดูดซับ	66
11	ค่ามาตรฐานสากลขององค์ประกอบต่างๆ ของสารอินทรีย์ระเหยที่อนุญาตให้มีในบรรยากาศเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเก็บตัวอย่าง	68
12	การทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยภายในห้องปนโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราระหว่างใช้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube และใช้ผลิตภัณฑ์เกรดการค้า active gas tube เป็นตัวดูดซับ	70
13	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับชนิด active gas tube	72
ตารางผนวกที่		
จ1	ค่า retention time และ m/z ของสารละลายมาตรฐาน VOCs	102
จ2	ค่า R ² ของ VOCs 40 ชนิด จากการสร้าง Calibration curve	104

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์	13
2	กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช	14
3	การจัดประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟไอโซเทอม	15
4	แผนการทดลอง	30
5	ชุดการทดลองที่ใช้ในการทดลองการดูดซับก๊าซ	35
6	(ก) ผลิตภัณฑ์ active gas tube เกรดการค้า (ข) ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้	35
7	ชุดเก็บตัวอย่างแบบ active sampler	36
8	ขั้นตอนการสกัดสารอินทรีย์ระเหยจากถ่านกัมมันต์ในการทดลองการดูดซับ	37
9	เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดสาร	38
10	การวิเคราะห์ด้วยวิธีนิตสารละลายมาตรฐานด้วย Micro syringe เข้าไปในหลอด active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิด activated charcoal ที่สนใจ	38
11	GC ต่อกับ Mass Spectrometer และ auto samplers	39
12	ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ก ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 60 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า	50
13	ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ข ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 90 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า	50
14	ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ค ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 120 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ง ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 60 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า	51
16	ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง จ ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 90 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า	52
17	ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ช ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 120 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า	52
18	ไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสภาวะ อุณหภูมิคงที่ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา	53
19	กราฟความสัมพันธ์การดูดซับแบบฟรุนดิชของ สารอินทรีย์ระเหยง่าย 4 ชนิด ที่ ความเข้มข้นต่างๆ ในสภาวะอุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง) ด้วยตัวดูดซับชนิด ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา	57
20	GC/MS โครมาโตแกรมของ (ก) สารละลายมาตรฐาน VOCs Japanese 52 component indoor air ที่ความเข้มข้น 5,000 นาโนกรัม/มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับ (ข) สารอินทรีย์ระเหยที่ทำการเก็บตัวอย่างในห้องพ่นด้วยผลิตภัณฑ์ดินแบบ active gas tube และ (ค) สารอินทรีย์ระเหยที่ทำการเก็บตัวอย่างในห้องพ่นด้วยผลิตภัณฑ์ การค้า active gas tube	63
ภาพผนวกที่		
จ1	GC/MS โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐาน VOCs Japanese 52 component indoor air ที่ความเข้มข้น 5,000 นาโนกรัม/มิลลิลิตรและ Toluene d-8 (internal std.)	103
ฉ1	Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component	106

การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย
ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

**Developing Adsorbent to Study Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission
in Para-rubber Wood Furniture Manufacturing**

คำนำ

อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันสามารถขยายการส่งออกได้อย่างต่อเนื่องจนสามารถส่งออกคิดอันดับ 1 ใน 20 อันดับแรกของสินค้าส่งออกจากประเทศไทย โดยในปี พ.ศ.2547 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 27,643.20 ล้านบาท และมีแนวโน้มที่แน่ชัดว่าจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2547) อีกทั้งยังเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานและวัตถุดิบไม้ยางพาราจากสวนยางพารากว่า 12 ล้านไร่ทั่วประเทศ สินค้าที่ผลิตได้จะส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศกว่าร้อยละ 80 ซึ่งตลาดหลักได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และสหภาพยุโรป (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546)

สมาคมอุตสาหกรรมเครื่องเรือนไทยได้ประมาณไว้ว่า ไม้ยางพาราท่อนหนึ่งเมื่อนำมาแปรรูปเพื่อผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์จะสามารถใช้ประโยชน์ได้เพียงร้อยละ 30 ที่เหลือร้อยละ 70 เป็นเศษไม้และเปลือกไม้ซึ่งจะนำมาทำปาร์ติเกิลบอร์ดและไม้ฟีนต่อไป ซึ่งในช่วงปี พ.ศ.2535-2540 ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตไม้ยางพาราท่อนได้ปีละ 2,479,000 ลูกบาศก์เมตร เมื่อนำมาแปรรูปเพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์จะสามารถใช้ประโยชน์ได้ 743,700 ลูกบาศก์เมตร เหลือเศษไม้ยางพาราปริมาณ 1,735,300 ลูกบาศก์เมตร ที่จะนำมาผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดและไม้ฟีน (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2540) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในปีหนึ่งมีเศษไม้ยางพาราที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์จำนวนมาก ทั้งยังนำมาใช้ประโยชน์ได้น้อยและยากต่อการกำจัด

นอกจากปัญหาเศษไม้ยางพาราเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากแล้วนั้น อุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารายังประสบปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่ระเหย

(volatile organic compounds, VOCs) จากกระบวนการอบแห้งไม้ยางพารา การพ่นสเปรย์เคลือบ ทับเฟอร์นิเจอร์ และการอบเฟอร์นิเจอร์ให้แห้ง รวมถึงจากถังบรรจุสารที่ถูกเปิดทิ้งไว้ (Industrial technology development institute, 2005) จากข้อมูลของ Colorado Department of Public Health and Environment (2006) พบว่าโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ปลดปล่อยมลพิษประเภทสารอินทรีย์ระเหยออกมาจากกระบวนการผลิตชิ้นต่างๆ อย่างมาก อาทิ เช่นกระบวนการเคลือบแลคเกอร์ ปลดปล่อยโทลูอีนถึงร้อยละ 31 และไซลีนร้อยละ 8 ของปริมาณที่ใช้ 420 แกลลอนต่อปีหรือคิดเป็น 0.5 ตัน และ 0.13 ตัน ต่อปีตามลำดับ และเมื่อคิดรวมกระบวนการอื่นๆ ในโรงงานพบการปลดปล่อยโทลูอีนและไซลีนถึง 1.5 และ 0.33 ตัน ต่อปีตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่มากของสารอินทรีย์ระเหยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคนงานภายในพื้นที่เขตประกอบการ โดยทำให้เกิดการระคายเคืองตา มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ หอบหืดอักเสบและหดรกเร็งและอาจเสียชีวิตได้จากระบบหายใจล้มเหลว รวมถึงระบบประสาทส่วนกลาง ตับ ไต มีผลทำให้อวัยวะทำงานผิดปกติไปจนถึงทำงานไม่ได้ และบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง (สาวิตรี, 2548)

แม้การกำหนดค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศยังไม่มีการประกาศใช้ใน ประเทศไทย แต่เนื่องจากสินค้าที่ผลิตได้ส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 80 จะถูกส่งออกไปจำหน่ายยัง สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และสหภาพยุโรปเป็นหลัก ซึ่งในประเทศเหล่านี้มีกฎหมายข้อบังคับ และการกำหนดกฎเกณฑ์ทางการค้าที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอย่างเข้มงวด เกี่ยวกับการตรวจสอบการปลดปล่อยสารมลพิษจากกระบวนการผลิตและตัวผลิตภัณฑ์ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราของไทยยังคงเผชิญกับการแข่งขันที่สูงจากประเทศคู่แข่งในตลาดระดับบนที่สำคัญ ไม่ว่าจะเป็นประเทศแคนาดา หรือประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป ที่มีอัตราส่วนแบ่งของตลาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สินค้าจากประเทศไทยมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (นที, 2548) สาเหตุหนึ่งมาจากการที่ประเทศเหล่านี้สามารถผลิตสินค้าได้มีคุณภาพและราคาใกล้เคียงกับสินค้าจากประเทศไทย แต่มีการควบคุมการปลดปล่อยมลพิษจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์และผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ได้ดีกว่า ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ใช้ในการกีดกันทางการค้าเพื่อรักษาผลประโยชน์ร่วมกันในกลุ่มการค้าของตน โดยเฉพาะตลาดในประเทศสหรัฐอเมริกา (ปาริฉัตร, 2545)

จากปัญหาด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจดังกล่าว สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากใน อุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราของไทยไม่มีการติดตั้งหรือจัดการให้มีระบบ ตรวจสอบและควบคุมค่าการปลดปล่อยมลพิษ เนื่องจากราคาในการติดตั้งระบบติดตามตรวจสอบ

รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ยังคงมีราคาสูง ทำให้ผู้ประกอบการ โดยเฉพาะผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อมที่มีจำนวนถึงกว่าครึ่งของผู้ประกอบการทั้งหมดกว่า 1,000 ราย ยังคงไม่สนใจที่จะดำเนินการ เพราะไม่เห็นความสำคัญและเสียค่าใช้จ่ายมากในการลงทุน (ชนากานต์, 2540) ตัวดูดซับเป็นอุปกรณ์หลักชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการตรวจวัดคุณภาพอากาศและเป็นการบำบัดสารมลพิษทางอากาศ ทำให้ลดการปลดปล่อยมลสารออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากในปัจจุบันตัวดูดซับมีราคาที่สูงมากจึงถูกจำกัดการใช้งานอยู่แค่เพียงบางกลุ่มเท่านั้น (Harper, 2000)

เมื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของไม้ยางพาราที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์พบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำมาพัฒนาเป็นตัวดูดซับเพื่อใช้ในการตรวจวัดค่าการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา (Arriagada et al., 2005; Pastor-Villegas et al., 2006; Abe et al., 2001) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว หากประสบผลสำเร็จในการวิจัยและพัฒนาจะส่งผลทางตรงกับโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราที่จะช่วยลดภาระในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากจากกระบวนการผลิต รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มแรงจูงใจให้ผู้ประกอบการหันมาให้ความสำคัญกับระบบติดตามตรวจสอบมลพิษ อีกทั้งยังเพิ่มคุณภาพชีวิตของพนักงานในโรงงานและส่งผลให้เกิดความเชื่อมั่นกับลูกค้าในนานาประเทศ เป็นการช่วยส่งเสริมศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราของประเทศไทยให้มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเทียบเคียงกับประเทศคู่แข่งที่สำคัญอื่นๆ ซึ่งจะเป็นการนำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมากต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) จากเศษไม้ยางพาราที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์กับตัวดูดซับแบบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุชนิดอื่น
3. ศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่ระเหย (volatile organic compounds, VOCs) จากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ ด้วยตัวดูดซับที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์

การตรวจเอกสาร

1. ถ่านกัมมันต์ (activated charcoal)

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนซึ่งเป็นตัวดูดซับชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งสีดำอาจมีสถานะเป็นผงหรือเม็ด โครงสร้างส่วนใหญ่จะเป็นรูพรุนขนาดเล็กมีปริมาณพื้นที่ผิวสูง ทำให้มีสมบัติการดูดซับที่ดีสามารถใช้ในการแยกกลิ่น สี หรือ ก๊าซ วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์นิยมใช้วัสดุที่มีราคาถูกหรือของเหลือทิ้งที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ มีปริมาณเถ้าต่ำและมีความทนทานสูง เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บไว้นานๆ การผลิตจะทำได้โดยนำวัตถุดิบซึ่งอาจเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม ฯลฯ มาผ่านกระบวนการกระตุ้น (activation) เพื่อให้มีปริมาณพื้นที่ผิวสูง มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีความจุในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (สุโรชินี, 2545)

ถ่านกัมมันต์มีการผลิตและใช้มาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 การควบคุมสถานะในการผลิตเพื่อให้ได้โครงสร้างของรูพรุนและความแข็งแรงเชิงกลตามต้องการเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังมาก ซึ่งวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์คือวัสดุที่มีโครงสร้างหลักเป็นคาร์บอน เช่น ไม้ถ่านหินพีท (peat) ถ่านหินปิโตรเลียมโค้ก (petroleum coke) กะลามะพร้าว ผลไม้จำพวกถั่ว ถ่านหินแอนทราไซต์ลิกไนต์และบิทูมินัส จากการศึกษาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ (พีระ, 2548) อาจสรุปโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ได้ 2 แบบ คือ แบบที่เป็นลักษณะของกราฟไฟต์แต่การวางตัวระหว่างชั้นไม่ตั้งฉากกัน ทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นจึงชิดมากดังนั้นความแข็งแรงจึงน้อยกว่าผลึกกราฟไฟต์ สำหรับอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบคือ การเชื่อมโยงระหว่างอะตอมไม่อยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน โครงสร้างแบบนี้จะเสถียรมากขึ้นเมื่อมีอะตอมออกซิเจนผสมอยู่ด้วย (พีระ, 2548)

2. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราฟไฟต์แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในที่มากมายของถ่านกัมมันต์และการจัดเรียงอะตอมที่ไม่เป็นระเบียบ (Faust and Aly, 1987) ซึ่งเกิดจากในระหว่างกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) โดยโครงสร้างนี้เป็น

ไมโครคริสตอลไลต์ (microcrystalline) ประกอบด้วยวงแหวนเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอน ผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชั้นคาร์บอนที่สร้างไมโครคริสตอลไลต์มีขนาดประมาณ 150 อังสตรอมและระยะห่างระหว่างไมโครคริสตอลไลต์มีค่าอยู่ระหว่าง 20-50 อังสตรอม ซึ่งกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์และสารปนเปื้อนทำให้เกิดช่องว่างภายในของไมโครคริสตอลไลต์ โดยโครงสร้างที่ขอบของแผ่นชั้นจะเปลี่ยนไปเป็นผลอันเนื่องมาจากลักษณะของวัสดุและกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์ กลุ่มของวงที่เปลี่ยนไปนั้นมีผลกระทบต่อระยะทางของแผ่นชั้นที่ติดกันและลักษณะการดูดซับของคาร์บอน รวมทั้งเนื่องจากกระบวนการออกซิเดชันบนชั้นคาร์บอนเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นโครงสร้างของถ่านกัมมันต์เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟไฟต์แล้วจะค่อนข้างไม่เป็นระเบียบซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันและอุณหภูมิในกระบวนการแอ็คติเวชัน

โดยทั่วไปคุณสมบัติที่ใช้พิจารณาเลือกใช้งานถ่านกัมมันต์ ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป ได้แก่กลุ่มฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านซึ่งประกอบด้วยกลุ่ม carboxyl, phenolic hydroxyl, quinone type carbonyl, normal lactones, fluorescein type lactones, carboxylic acid anhydrides และ cyclic peroxide ซึ่ง Hameed et al. (2008) ได้กล่าวว่าหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์มีผลกระทบต่อความจุการดูดซับ เช่น หมู่ carboxylic บนผิวของถ่านกัมมันต์ ทำให้ความจุการดูดซับฟีนอลลดลง

นอกจากนี้คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากตัวดูดซับชนิดอื่นคือพื้นผิวจะไม่มีขั้วหรือมีเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นผลมาจากหมู่ของออกไซด์หรือสารอนินทรีย์ปริมาณเล็กน้อยที่เกาะอยู่กับพื้นผิว นอกจากนี้ยังมีข้อดีดังนี้ (พีระ, 2548) คือ

1) ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับเชิงพาณิชย์เพียงชนิดเดียวที่ไม่ต้องขจัดความชื้นออกก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำให้อากาศบริสุทธิ์ขึ้น

2) เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวในรูพรุนมากจึงทำให้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วและมีขั้วเพียงเล็กน้อยได้มากกว่าสารดูดซับชนิดอื่น เช่น มีเทนที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่มีความดัน 1 บรรยากาศและที่อุณหภูมิห้องจะมีปริมาณมากกว่ามีเทนที่ถูกดูดซับโดย ซีโอไลต์ 5A ที่มีน้ำหนักเท่ากันที่สภาวะเดียวกันประมาณ 2 เท่า

3) ถ่านกัมมันต์จะมีความร้อนจากการดูดซับหรือความแข็งแรงของพันธะต่ำกว่าสารดูดซับชนิดอื่น ทำให้การขจัดโมเลกุลที่ถูกดูดซับออกจากถ่านกัมมันต์ง่ายกว่าตัวดูดซับชนิดอื่นและการคืนสภาพตัวดูดซับเพื่อนำกลับใช้ใหม่จะใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีอื่น

3. การผลิตถ่านกัมมันต์และการทดสอบการดูดซับ

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสามารถดูดซับสารที่อยู่ในสภาพของก๊าซและของเหลวได้ จึงมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท ถ่านกัมมันต์ผลิตขึ้นจากการเผาวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะวัตถุดิบที่มีแหล่งกำเนิดจากพืช เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว และอื่นๆ ถ่านที่ได้จะนำมากระตุ้นจนได้ถ่านกัมมันต์ซึ่งมีคุณภาพในการดูดซับสูง (อังคณา, 2548)

3.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้จากวัสดุหลายประเภท วัสดุแต่ละประเภทจะมีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติของตัวเอง เช่น กะลามะพร้าว มีความหนาแน่นสูงสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีการกระจายตัวของรูพรุนได้อย่างมากและจะมีความหนาแน่นสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มาจากถ่านหิน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ เช่น การเผาไหม้ ซึ่งการเผาไหม้ที่แตกต่างกันจะเป็นตัวกำหนดลักษณะของพื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซับ นอกเหนือจากส่วนประกอบของธาตุและโมเลกุลของวัสดุ

3.2 การแปรสภาพไม้เป็นถ่าน

ไม้เมื่อได้รับความร้อนสูงถึงระดับหนึ่งจะเกิดการสลายตัวของโมเลกุลในสภาวะที่ไม่มีอากาศหรือมีเพียงก๊าซเฉื่อยเรียกว่าการกลั่นทำลายโดยทำให้สองประการ คือ การใช้ความร้อนจากไม้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เตาเผาถ่าน (kilns หรือ beehives) และจากการใช้ความร้อนจากภายนอกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เฟอร์เนสและรีทอร์ท ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการกลั่นทำลาย ได้แก่ ถ่าน น้ำมัน ดิน กรด และก๊าซชนิดต่างๆ (พีระ, 2548)

3.3 กระบวนการกระตุ้น (activated process)

การกระตุ้นมี 2 วิธี คือวิธีทางกายภาพ (physical activation) โดยใช้ไอน้ำหรือก๊าซและวิธีทางเคมี (chemical activation) โดยใช้สารเคมีทั้งนี้อาจใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมีร่วมกันได้

3.3.1 การกระตุ้นทางกายภาพ

เป็นการกระตุ้นด้วยก๊าซหรือไอน้ำซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800 – 1000 องศาเซลเซียส เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (superheated steam) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆสลายไปทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุนอยู่ทั่วไปขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมีซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพนี้จะมีข้อดี คือสามารถนำไปใช้งานได้โดยทันทีโดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง

3.3.2 การกระตุ้นทางเคมี

เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมีซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึงทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้นจากนั้นนำไปเผาในถังที่มีออกซิเจนเป็นเวลาหลายชั่วโมงโดยใช้อุณหภูมิเผาประมาณ 400-1,000 องศาเซลเซียส การกระตุ้นทางเคมีนิยมใช้กับวัตถุดิบที่เป็น ไม้ แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์ออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เลย เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน สารเคมีที่นิยมใช้ อาทิเช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น

4. การดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการที่นิยมอย่างแพร่หลายทั่วไปในการใช้แยกสาร ตัวดูดซับที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่นถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ และซิลิกา ตัวดูดซับแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป สำหรับถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีราคาไม่สูงนัก แต่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูงที่สุด ดังนั้นจึงมีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในการดูดซับ ในปัจจุบันมีความต้องการใช้ถ่านกัมมันต์สูงมาก การใช้ถ่านกัมมันต์อย่างเหมาะสมเพื่อให้ดูดซับได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญ

การดูดซับคือการถ่ายโอนมวลของสารที่เป็นตัวถูกดูดซับ (adsorbate) จากกลุ่มก๊าซหรือของเหลวไปยังพื้นผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งเป็นของแข็ง (อังคณา, 2548) ตามหลักโดยทั่วไปของสสารจะมีสมบัติพื้นฐาน คือการดึงดูดกันระหว่างโมเลกุล สนามแรงดึงดูดอย่างอ่อนของพื้นผิวตัวดูดซับจะมีผลต่อโมเลกุลที่อยู่ใกล้ๆ กับพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น และแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวตัวดูดซับกับโมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวที่อยู่ใกล้พื้นผิวจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวด้วยตัวเอง โดยแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวตัวดูดซับกับโมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวจะทำให้โมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวที่จะเป็นตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปชนกับพื้นผิวของตัวดูดซับและโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะคายพลังงานออกมาเท่ากับพลังงานการดูดซับ (adsorption energy) และเกาะติดกับพื้นผิวของตัวดูดซับ หากโมเลกุลที่ชนกับพื้นผิวตัวดูดซับคายพลังงานออกมาน้อยเกินไปก็จะไม่เกิดการดูดซับ ปัจจัยสำคัญของการเลือกดูดซับของตัวดูดซับมีหลายปัจจัย เช่น ขนาดรูพรุนและความมีขั้วของตัวดูดซับ เป็นต้น การที่ตัวดูดซับเลือกดูดซับสารแต่ละชนิดแตกต่างกัน จึงทำให้สามารถใช้วิธีการดูดซับในการแยกสารที่มีค่าการเลือกดูดซับต่างกันได้ การดูดซับก๊าซหรือของเหลวสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายอุตสาหกรรม เช่น การแยกอากาศ ก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมีออกจากสารเจือปน

การดูดซับสามารถแยกตามลักษณะของแรงในการดูดซับได้เป็น 2 แบบคือ การดูดซับแบบเคมีและการดูดซับแบบกายภาพ ในการการดูดซับนั้นจะเป็นการดูดซับแบบใดขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงระหว่างพื้นผิวตัวดูดซับกับโมเลกุลที่ถูกดูดซับ การดูดซับแบบกายภาพจะเป็นแรงแบบอ่อน แรงหลักของการดูดซับแบบนี้คือแรงแวนเดอร์วาล (การเหนี่ยวนำระหว่างขั้วต่อขั้ว) นอกจากนั้นอาจมีแรงจากไฟฟ้าสถิตย์ด้วย ซึ่งความแข็งแรงของพันธะจะขึ้นกับลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ ส่วนการดูดซับแบบเคมี หลักสำคัญคือ การถ่ายโอนอิเล็กตรอนซึ่งเป็นการสร้างพันธะเคมีระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวตัวดูดซับ การดูดซับแบบเคมีความแข็งแรงของพันธะจะสูงกว่าการดูดซับแบบกายภาพ แต่การดูดซับแบบเคมีจะเกิดขึ้นกับโมเลกุลที่อยู่ติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเท่านั้น (อังคณา, 2548)

โดยมากการดูดซับเพื่อแยกสารและการทำให้สารมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นมักจะใช้การดูดซับแบบกายภาพ ส่วนการดูดซับแบบเคมีจะใช้ในการแยกสารปนเปื้อนโดยสารนั้นมีการเลือกดูดซับสูง ข้อจำกัดคือสามารถดูดซับได้เพียงชั้นเดียวและเมื่อดูดซับแล้วจะนำกลับมาใช้อีกได้ยาก เพราะพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวตัวดูดซับมีความแข็งแรงมาก การแยกสารที่ถูกดูดซับออกจากพื้นผิวตัวดูดซับจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับแบบเคมีจึงไม่นิยมนำ

กลับมาใช้อีก ส่วนการดูดซับแบบกายภาพสามารถดูดซับได้มากกว่าเพราะสามารถดูดซับได้หลายชั้นการดูดซับจึงสามารถประยุกต์ใช้ในการเก็บก๊าซได้ (พีระ, 2548)

การดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก แรงระหว่างพื้นผิวตัวดูดซับกับโมเลกุลที่ถูกดูดซับจะต่างจากการดูดซับบนพื้นราบเพราะทิศทางของแรงดูดซับบนพื้นราบจะมีเพียงทิศเดียว ดังนั้นการพิจารณาการดูดซับในรูพรุนจึงมุ่งความสนใจมาที่ลักษณะของรูพรุน การเลือกดูดซับของการดูดซับแบบกายภาพจะขึ้นกับสมมูลหรือจลศาสตร์และขึ้นกับตัวดูดซับ ลักษณะพื้นผิวตัวดูดซับมีความสำคัญมากเพราะหากขนาดและลักษณะของพื้นผิวต่างกันเพียงนิดเดียวอาจทำให้ปริมาณการดูดซับต่างกันอย่างมาก เพราะฉะนั้นข้อสำคัญคือ รูพรุนจะต้องมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่โมเลกุลยังคงแพร่ได้ดี ซึ่งจะทำให้สามารถดูดซับได้ในปริมาณที่มาก ส่วนโมเลกุลที่มีขนาดโตกว่าขนาดของรูพรุนจะดูดซับได้น้อยเนื่องจากโมเลกุลไม่สามารถแพร่เข้าไปเพื่อถูกดูดซับบนพื้นผิวภายในถ่านกัมมันต์ได้ ข้อสำคัญของการเลือกดูดซับก็คือขนาดของรูพรุนที่มีขนาดเล็กและเหมาะสำหรับการดูดซับสารนั้นๆ สำหรับถ่านกัมมันต์จะทำได้โดยการควบคุมการผลิตถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนการกระตุ้นพื้นผิวซึ่งจะทำให้ได้ขนาดรูพรุนตามต้องการ (อังคณา, 2548)

5. ตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่ใช้โดยทั่วไปแยกตามลักษณะ โครงสร้างได้ 2 แบบ คือแบบออสซิลานกับแบบผลึก หากแยกตามขนาดของรูพรุนจะแยกได้ 3 แบบ คือ แบบรูพรุนขนาดไมโคร แบบรูพรุนขนาดเมโซ และแบบรูพรุนขนาดแมโคร (พีระ, 2548) หากแบ่งตามลักษณะของพื้นผิวจะแยกได้เป็นแบบมีขั้ว แบบไม่มีขั้ว และแบบกึ่งมีขั้ว ลักษณะเหล่านี้สำคัญต่อการเลือกใช้ตัวดูดซับให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โดยทั่วไปมักจะพิจารณาขนาดของรูพรุนเป็นอันดับแรกในการเลือกใช้ตัวดูดซับ เพราะโมเลกุลที่จะถูกดูดซับจะต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุน โดยการเลือกใช้ตัวดูดซับจะใช้ตัวดูดซับที่มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าโมเลกุลตัวถูกดูดซับและโมเลกุลที่ใหญ่กว่ารูพรุนของตัวดูดซับจะไม่ถูกดูดซับ ลักษณะสำคัญนี้ทำให้สามารถใช้ตัวดูดซับในกระบวนการดูดซับเพื่อแยกก๊าซได้ (พีระ, 2548) ลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับที่สำคัญ เช่น ขนาดของอนุภาคความหนาแน่น สัดส่วนของช่องว่างภายในอนุภาคตัวดูดซับกับภายนอกอนุภาคตัวดูดซับเมื่อบรรจุอยู่ในถังดูดซับ ความแข็งแรงความทนทานต่อการสึกกร่อน ปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้ตัวดูดซับ ดังนั้นการเลือกใช้งานตัวดูดซับจะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่างเข้าด้วยกัน

6. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการการดูดติดผิว

6.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว

ความสามารถดูดติดผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) และอัตราการดูดติดผิวเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดติดผิว โดยกลไกของการดูดติดผิวภายนอกของสารดูดติดผิวที่ไม่มีโพรงนั้น อัตราการดูดติดผิวจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดติดผิวสำหรับสารดูดติดผิวที่มีโพรงอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวในโพรงถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอก ดังนั้นอัตราการดูดติดผิวจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดติดผิว ในทางตรงกันข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดติดผิว อัตราการดูดติดผิวจะเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดติดผิว (อังคณา, 2548) Mathews and Zayas (1989) กล่าวว่า สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายของมวลภายนอกจะประมาณได้ว่าคงที่สำหรับขนาดอนุภาคคาร์บอนที่อยู่ในช่วง 300 ไมโครเมตรถึง 900 ไมโครเมตร (50/70 ขนาดตะแกรงมาตรฐานถึง 20/25 ขนาดตะแกรงมาตรฐาน) และจะลดลงเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

6.2 ความสามารถในการละลายน้ำ

ลักษณะของสารดูดติดผิวของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดติดผิวในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดติดผิวสารดูดติดผิวจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ซึ่งในที่นี้คือน้ำ โดยสารดูดติดผิวที่ละลายน้ำได้ดี หรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงจึงเป็นการยากในการดูดติดผิว ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดติดผิวได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของสารดูดติดผิวยังมีความสัมพันธ์กับการดูดติดผิว ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไก อัตราการดูดติดผิวของ sulfonate alkyl benzenes ซึ่งมีขนาดโมเลกุลต่างๆกัน โดยเมื่อน้ำหนักโมเลกุลมีขนาดมากขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง (Weber, 1972)

6.3 ความเป็นกรดต่าง

ความเป็นกรดต่างมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวเนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) สามารถถูกดูดติดอย่างค่อนข้างแข็งแรง การดูดติดไอออนอื่นๆ จึงมีผลกระทบมาจากพีเอชของสารละลาย (อังคณา, 2548) นอกจากนี้พีเอชยังมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายน้ำของสารต่างๆอีกด้วย

6.4 อุณหภูมิ

Weber (1972) กล่าวว่า การดูดติดผิวโดยทั่วไป เป็นกระบวนการคายความร้อน ดังนั้นความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิแต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะสูงขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิจะมีผลต่อความสามารถในการดูดติดผิว โดยเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซึ่งโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวลดลง

6.5 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอกและการแพร่ภายในซึ่งขึ้นกับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดติดผิวจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดติดผิว ดังนั้นการแพร่ภายนอกเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในทางตรงข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆ ทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว (พีระ, 2548)

7. ไอโซเทอมการดูดติดผิว (adsorption isotherm)

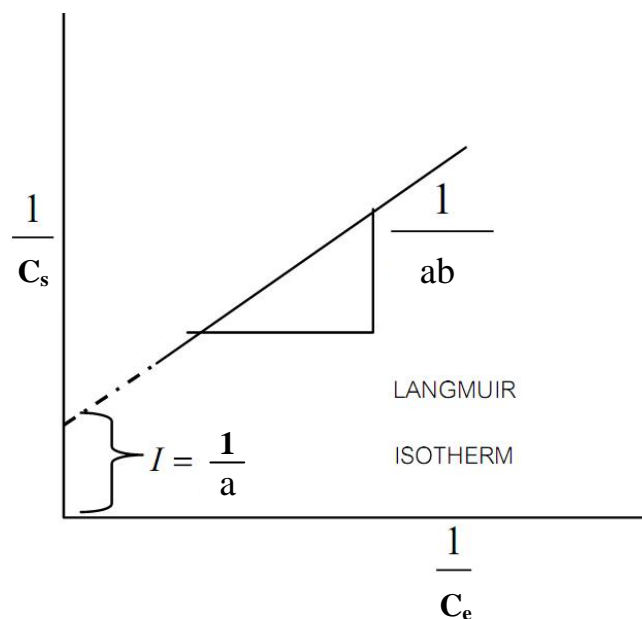
ความสามารถในการดูดติดผิวสารใดๆต่อหนึ่งหน่วย น้ำหนักสารดูดติดผิวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น ในรูปสารละลายที่จุดสมดุล ณ สภาวะอุณหภูมิคงที่ ปริมาณสารถูกดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองของแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

7.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมุติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงเมียร์ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือพลังงานในการดูดติดผิวมีค่าคงที่และไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นที่ผิว การดูดติดผิวจะเกิดเฉพาะที่โมเลกุลเดียวโดยไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดผิว สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการเส้นตรงได้ ดังนี้

$$\text{Langmuir Adsorption Isotherm : } \frac{C_e}{C_s} = \frac{1}{ab} + \frac{C_e}{a} \quad \text{-----(1)}$$

- โดยที่
- C_s = ปริมาณตัวดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/กรัม)
 - C_e = ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)
 - a = ปริมาณการดูดซับที่สูงสุด (ความสามารถในการดูดซับแบบชั้นเดียว)
 - b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว



ภาพที่ 1 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์

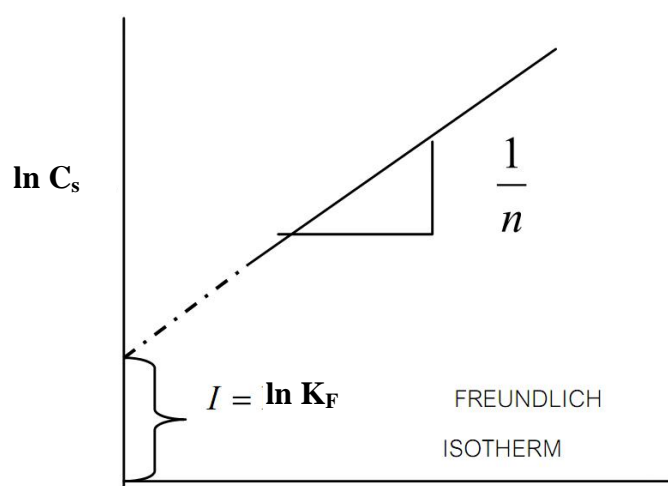
7.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิชใช้อย่างแพร่หลาย สมมติฐานแบบจำลองการดูดซับตามสมการฟรอนด์ลิช เกิดจากสมมติฐานจากพื้นผิวหลายชั้น (heterogeneous surface) ด้วยการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอของความร้อนของการดูดซับบนพื้นผิวที่เกิดจากการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer sorption) การประยุกต์ใช้สมการฟรอนด์ลิชอธิบายถึงการลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียลของพลังงานการดูดซับบนจุดสมดุลของจุดศูนย์กลางการดูดซับของตัวดูดซับ (Hameed and Daud, 2008) โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\text{Freundlich adsorption isotherm :} \quad \ln C_s = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{-----(2)}$$

$$C_s = K_F C_e^{1/n} \quad \text{-----(3)}$$

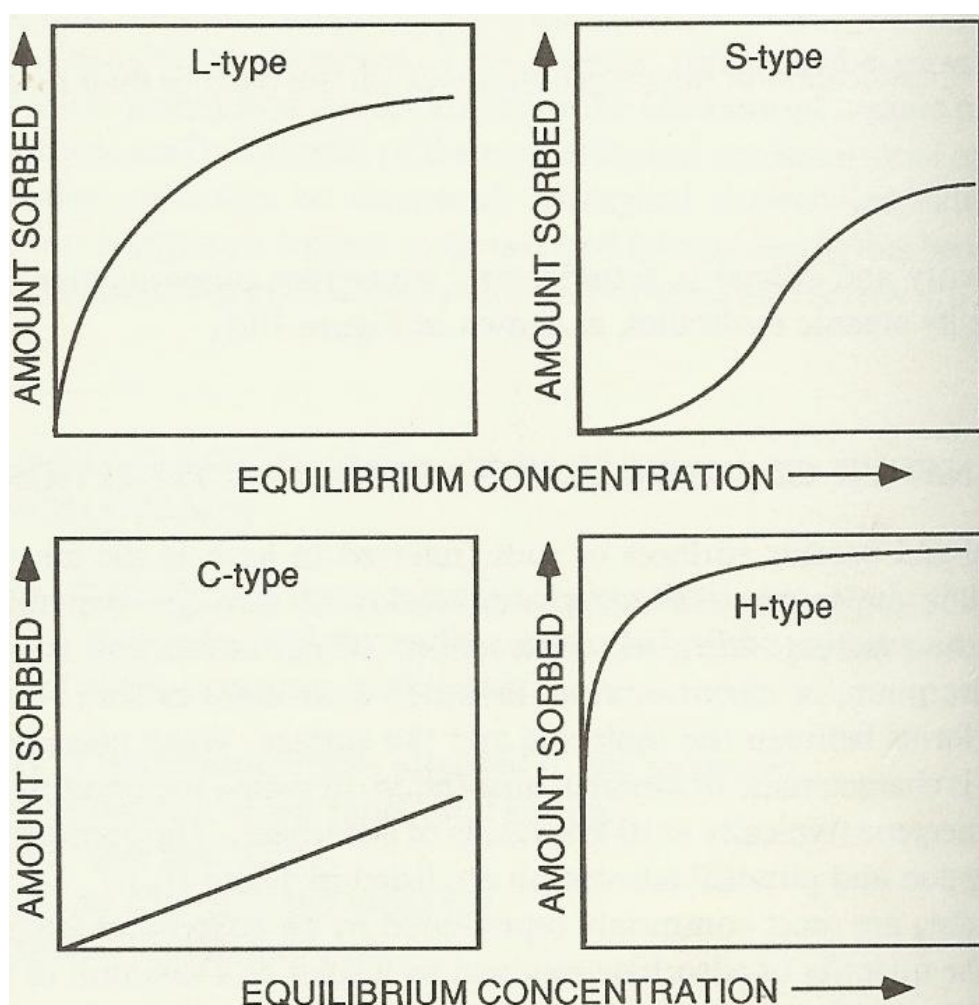
- โดยที่
- C_s = ปริมาณตัวดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/กรัม)
 - C_e = ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)
 - K_F = ปริมาณความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (adsorption capacity)
 - $1/n$ = บ่งบอกถึงความแรงของการดูดซับ (adsorption intensity) ของความเป็นพื้นผิวหลายชั้น



ภาพที่ 2 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช

8. ลักษณะรูปร่างของกราฟไอโซเทอม

ข้อมูลจากทดลองการดูดซับสามารถนำมาทำการสร้างกราฟไอโซเทอม ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับ กับความเข้มข้นที่สมดุลของสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งผลของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟที่สร้างได้ดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในการเสนอแนะขั้นต้นถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารที่ถูกดูดซับ (adsorbent) กับตัวดูดซับ(adsorbate) ได้ จากการจัดประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟไอโซเทอมตามวิธีการของ McBride (1994) สามารถแบ่งประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟได้ 4 ประเภท ดังนี้



ภาพที่ 3 การจัดประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟไอโซเทอม

ที่มา: McBride (1994)

1) กราฟไอโซเทอมชนิด L-type (Langmuir) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างสูงระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ซึ่งเป็นการบ่งบอกให้เห็นถึงกระบวนการดูดซับทางเคมี

2) กราฟไอโซเทอมชนิด S-type แสดงให้เห็นถึงการมีปฏิกิริยาดึงดูดกัน ระหว่างสารที่ถูกดูดซับด้วยตัวเอง มีมากกว่าแรงดึงดูดกันระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ เรียกสภาวะนี้ว่า การเกาะกลุ่มรวมตัว (clustering) ของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิว เนื่องจากพันธะในการเกาะกลุ่มด้วยตัวเองของสารที่ถูกดูดซับเหล่านั้น แข็งแรงกว่าพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับที่ใช้ในการเกาะที่พื้นผิวของตัวดูดซับ

3) กราฟไอโซเทอมชนิด C-type (Constant-partitioning) แสดงให้เห็นถึงค่าความคงที่ของความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ มักใช้ในการศึกษาเฉพาะในช่วงความเข้มข้นต่ำ ค่าการออกห่างเส้นกราฟคงที่แสดงให้เห็นถึงการมีลักษณะคล้ายกับการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นสูง

4) กราฟไอโซเทอมชนิด H-type แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างสูงมาก ระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ (เช่น กระบวนการดูดซับทางเคมี) เป็นลักษณะของกราฟไอโซเทอมชนิด L-shape ในระดับสูง

9. สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs)

สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและระเหยได้ง่าย มีความดันไออย่างน้อย 0.13 กิโลพาสกาล (kPa) หรือมากกว่า 1 มิลลิเมตรปรอทที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ที่ 293°K และ 101 kPa) เป็นสารประกอบเคมีที่มีคาร์บอน และมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน คลอรีน เป็นต้น ทั้งนี้ไม่รวมก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบกลุ่มออแกโนเมทัลลิก หรือกรดอินทรีย์ต่างๆ (มลิวรรณ, 2544 ; Hester and Harrison, 1995) สารอินทรีย์ระเหยมีมากมายหลายกลุ่ม ได้แก่ อะลิฟาติก อะโรมาติก คลอรีเนตเตดไฮโดรคาร์บอน อัลดีไฮด์ คีโตน เอสเตอร์ อีเทอร์ กรด และ แอลกอฮอล์ เป็นต้น ประโยชน์ของสารอินทรีย์ระเหยใช้งานได้อย่าง

กว้างขวาง เช่น สามารถนำมาใช้ในขบวนการผลิตอุตสาหกรรมต่างๆ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ล้างพวกคราบไขมัน เป็นต้น (สาวิตรี, 2548) อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์ระเหยสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยตรงหรือโดยทางอ้อม ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์แต่ละชนิด ถ้าหากมีการใช้ที่ไม่เหมาะสม และการควบคุมหรือการจัดการที่ไม่ดีพอ อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ สารอินทรีย์ระเหยหลายชนิดมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาทส่วนกลาง ตับ และ ไต บางชนิดเป็นสารก่อให้กำเนิดมะเร็ง ส่วนผลกระทบต่อทางอ้อมก่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมี คัดลอกซีแคนท์ในบรรยากาศ ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศ อันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ระเหย โดยเฉพาะในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม กำลังเป็นปัญหาที่ขยายวงกว้างไปทุกแห่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

การแบ่ง VOCs ออกตามลักษณะของโมเลกุล สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

9.1 Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated hydrocarbons

ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น สารในกลุ่ม aliphatic hydrocarbons (เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซโซลีน (gasoline) hexane solvents ในอุตสาหกรรม alcohols aldehydes และ ketone) และ กลุ่ม aromatic hydrocarbons (เช่น toluene benzene ethylbenzene xylenes styrene และ phenol) สารอินทรีย์ระเหย กลุ่มนี้มาจาก การเผาไหม้ กองขยะ พลาสติก วัสดุ และอุปกรณ์เครื่องใช้ สีทาวัสดุ เป็นต้น มีผลเสียต่อสุขภาพ ตัวอย่างเช่น พนักงานดับเพลิง คนงานเผาขยะ คนเผาถ่าน มักป่วยด้วยโรคทางเดินลมหายใจบ่อยเพราะได้รับสารอินทรีย์ระเหยประมาณ 144 ชนิด เป็นประจำจากควันไฟและเชื้อเพลิง ในรูปของ benzene toluene naphthalene propene และ 1,3-butadiene styrene และ alkylsubstituted benzene compounds อื่นๆ xylenes 1-butene/2-methylpropene propane 2-methylbutane ethylbenzene naphthalene isopropylbenzene รวมกันในปริมาตรสูงถึง 76.8 % ของสารอินทรีย์ระเหยทั้งหมดที่วัดได้ (สาวิตรี, 2548)

9.2 Chlorinated VOCs หรือ halogenated hydrocarbons

ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ สารเคมีสังเคราะห์ในอุตสาหกรรม สาร chlorinated VOCs นี้มีความเสถียรและสะสมได้นานในสิ่งแวดล้อมมากกว่ากลุ่มสิ่งแวดล้อมแรก (non-chlorinated VOCs) เพราะมีพันธะระหว่าง คาร์บอน และธาตุกลุ่มฮาโลเจนซึ่งทนทาน และยากต่อการสลายตัวในธรรมชาติ อันตรายของสารกลุ่มนี้ คือจะรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในการ ก่อมะเร็งหรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ในบรรดาสารกลุ่ม halogenated VOCs นี้ trichloroethylene (TCE) ซึ่งเป็นสารตัวทำละลายในน้ำยาซักแห้ง น้ำยาละลายคราบน้ำมัน หรือคราบไขมัน และเรซินต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมพบบนเปื้อนได้บ่อยและได้รับการศึกษาค้นคว้าวิจัยมานานมากกว่า 30 ปี (สาวิตรี, 2548) ในด้านผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์ทดลองและมนุษย์ TCE เป็นก่อมะเร็งร้ายแรงชนิดหนึ่ง (ซึ่งจัดอยู่ใน Group 2A carcinogen หมายถึง probably carcinogenic to humans) ตามนิยามและการยอมรับของ International Agency for Research on Cancer (IARC) และ World Health Organization (WHO)

10. การปลดปล่อย VOCs

การปลดปล่อย VOCs จะมีกระบวนการเกิดขึ้น 4 แบบ ดังนี้

10.1 การแพร่กระจายเป็นก๊าซที่แขวนลอย (dispersion)

การแพร่กระจายเป็นก๊าซที่แขวนลอย (dispersion) เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการกระจายตัวและการเคลื่อนตัวซึ่งมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ไหลเข้ามา (turbulent motion) และเกิดการหมุนเวียนของมวลอากาศ ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่และแรงโน้มถ่วงโลกสารอินทรีย์ระเหยปลดปล่อยออกมาจะแพร่กระจายเจือจางแตกต่างกันอยู่เหนือกลุ่มชั้นบรรยากาศ (atmospheric boundary layer (ABL))

10.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical transformations)

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical transformations) เช่นสารอินทรีย์ระเหยจะรวมตัวกันแน่นเข้าไปในอนุภาคเกิดการดูดซับอยู่บนพื้นผิวหรือละลายในหยดน้ำ สารอินทรีย์ระเหย จะเปลี่ยนจากสถานะก๊าซเข้าสู่กระบวนการที่สมดุล

10.3 การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (chemical reactions)

การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (chemical reactions) สารอินทรีย์ระเหย จะเปลี่ยนแปลงกลายเป็นโมเลกุลอินทรีย์และอนินทรีย์ ในทางกลับกันก็จะเกิดการแพร่กระจายและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

10.4 สารอินทรีย์ระเหย เกิดการสะสม (deposition)

สารอินทรีย์ระเหยเกิดการสะสม (deposition) โดยจะเคลื่อนย้ายจากบรรยากาศลงสู่ดิน และสะสมในน้ำ โดยจะเกิดการตกตะกอนอย่างช้าๆ เกิดอัตราความสมดุลระหว่างการปลดปล่อย การแพร่กระจาย การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และการตกสะสมจะเป็นส่วนประกอบในบรรยากาศ

11. แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหย

สารอินทรีย์ระเหยถูกปล่อยสู่บรรยากาศได้ทั้งจากกระบวนการต่างๆตามธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ โดยแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติที่พบได้แก่ ภูเขาไฟระเบิดและไฟป่า อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์ระเหยส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ แต่จากการกระทำของมนุษย์นั้นเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพกับมนุษย์โดยตรงจากกิจกรรมของมนุษย์ สารอินทรีย์ระเหยส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดของ VOCs สามารถแบ่งออกเป็น

11.1 แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่

สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ (mobile sources) นั้น ส่วนใหญ่มาจากการปลดปล่อยมาจากยานพาหนะ และถังเชื้อเพลิง ซึ่งจะเกิดในพื้นที่เมืองมากที่สุด เนื่องจากในพื้นที่เมืองจะมีการจราจรที่คับคั่งกว่าในเขตชนบท อาทิเช่นบริเวณถนนสุขุมวิทและสีลม (สาวิตรี, 2548)

11.2 แหล่งกำเนิดไม่เคลื่อนที่

สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากแหล่งกำเนิดไม่เคลื่อนที่ (point sources) นั้น ส่วนใหญ่มาจากการปลดปล่อยจากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ขยายเป็นวงกว้าง รวมทั้งกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลาย สีหรือการใช้สารเคมี จะเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุด จากการศึกษาในประเทศออสเตรเลียพบว่า แหล่งกำเนิดไม่เคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยมาจากโรงกลั่นน้ำมัน และการกักเก็บถ่านหิน และโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก สารอินทรีย์ระเหยสามารถปนเปื้อนลงแหล่งน้ำได้ จากการปล่อยน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม และการบำบัดน้ำเสียจากของเสียอันตรายของ นอกจากนี้กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรม เช่นถ่านโค้ก หรือน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้เพิ่มระดับความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศจึงทำให้บริเวณเมืองและแหล่งที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมีระดับความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหย มากกว่าบริเวณชนบท (สาวิตรี, 2548)

11.3 consumer products

consumer products จะเป็นตัวกำหนดสารอินทรีย์ระเหย ทั้งหมด โดยจะปลดปล่อยมาจากผ้าพรม กระดานไม้อัด ผลิตภัณฑ์พลาสติก กาว ตัวทำละลาย กระจกสเปรย์ วัสดุพิมพ์ สี น้ำมันขัดเงา ขี้ผึ้ง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด สารฆ่าเชื้อโรค เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น เชื้อเพลิง อัตราการปลดปล่อยจะลดน้อยลงขึ้นอยู่กับเวลาที่มันระเหย

11.4 บ้านเรือนและภายในอาคาร

แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยที่ใหญ่ที่สุดที่ปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยสู่บรรยากาศคือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในบ้าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเผาไหม้และระบบการ

ควบคุมการปลดปล่อย (สาวิตรี, 2548) สำหรับบริเวณภายในอาคาร การสูบบุหรี่ การทำอาหาร รวมทั้งเครื่องทำความร้อน ทำให้เพิ่มระดับความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยในอาคารได้ ในสิ่งแวดล้อมภายในที่พักอาศัยสารอินทรีย์ระเหยจะสามารถปลดปล่อยมาจากแหล่งกำเนิด เช่น เฟอร์นิเจอร์ สี สารยึดติด เครื่องเรือน ซึ่งความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยภายในอาคาร โดยทั่วไปจะมีความเข้มข้นสูงกว่า ภายนอกอาคาร เพราะแหล่งกำเนิดภายในอาคารจะมาจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในกิจกรรมของมนุษย์ แต่มีบางกรณีที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยภายนอกอาคารสูงกว่า ภายในอาคาร เช่น ในบริเวณที่มีการเผาไหม้หรือมีการจราจรคับคั่ง (สาวิตรี, 2548)

12. การได้รับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยของมนุษย์

การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย ที่ปรากฏอยู่ในบรรยากาศจะคุกคามสุขภาพของมนุษย์ โดยทำให้เกิดการก่อกลายพันธุ์ สารก่อมะเร็ง หรือทำให้เกิดการบกพร่องของการพัฒนาทางกายของทารกในครรภ์ หรือเป็นสาเหตุให้เกิดโรคเฉียบพลันหรือโรคเรื้อรัง (สาวิตรี, 2548) สารอินทรีย์ระเหยเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ การหายใจ ทางปากโดยการกิน-ดื่มน้ำ และ การสัมผัสทางผิวหนัง ซึ่งความเป็นพิษต่อร่างกายจะมากขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังต่อไปนี้

- 1) ช่วงครึ่งชีวิตของสารอินทรีย์ระเหยในร่างกาย
- 2) สภาวะความสมบูรณ์ของร่างกาย
- 3) ระบบการขับถ่ายของเสีย สารอินทรีย์ระเหย ถูกขับผ่านทางไตโดยปัสสาวะ ทางลมหายใจและทางตับและน้ำดี

13. หลักการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหย

หลักการการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศมีหลักวิธีการเก็บอยู่ 2 วิธี ได้แก่ active sampling และ passive sampling

13.1 active sampling

active sampling หมายถึง การเก็บตัวอย่างอากาศที่ต้องอาศัยปั๊มในการดูดตัวอย่างอากาศเพื่อเก็บสารที่ต้องการตรวจสอบผ่านตัวกลาง (collection medium) โดยอาศัยหลักการอย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้

13.1.1 การเข้าไปแทนที่อากาศ (air displacement)

หลักการนี้ตัวอย่างก๊าซจะถูกดูดซึมเข้าไปในภาชนะเก็บ (collector) เช่น ขวดสูญญากาศ ถุง ถึงคานิสเตอร์ เป็นต้น

13.1.2 การควบแน่น (condensation)

หลักการนี้ตัวอย่างก๊าซจะถูกดูดผ่านเข้าไปใน u-tube หรืออุปกรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งแช่อยู่ในภาชนะที่บรรจุสารทำความเย็นเพื่อให้ตัวอย่างอากาศเย็นตัวลงต่ำกว่าจุดเดือดหรือจุดเยือกแข็งของก๊าซที่ต้องการจับ สารทำความเย็นมีหลายชนิดและมีอุณหภูมิต่างกัน ภาชนะควบแน่นส่วนใหญ่ใช้ Dewar flask ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุสารทำความเย็นและจับ ก๊าซ ระบบควบแน่นต้องใช้ไอตราการไหลค่อนข้างต่ำกว่า 10 ลิตร/นาที ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูง (สาวิตรี, 2548) หากใช้ไอตราไหลสูงขึ้นเวลาที่สัมผัสกับความเย็นจะน้อยลง และอาจนำละอองไอน้ำจากการควบแน่นออกไป วิธีนี้ตัวอย่างก๊าซสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ทันที ปัญหาสำคัญในการควบแน่น เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำในตัวอย่างก๊าซ ดังนั้นอาจใช้เครื่องควบแน่นหลายอันต่อกัน เครื่องแรกมีความเย็นพอที่จะกลั่นไอน้ำและเครื่องต่อไปเย็นขึ้นตามลำดับการกลั่นตัวของก๊าซแต่ละชนิดหลักการควบแน่นเหมาะที่จะใช้กับตัวอย่างที่มีคุณสมบัติที่ระเหยได้ง่ายมากๆ หรือไม่คงตัว (stable) บนตัวดูดซับ

13.1.3 การดูดซึม (absorption)

หลักการนี้ตัวอย่างก๊าซละลายในของเหลวหรือทำปฏิกิริยากับของเหลวที่บรรจุในขวดดูดซึมหรือ impinger โดยการทำให้ตัวอย่างก๊าซให้เป็นฟองอากาศเล็ก เพื่อช่วยในการดูดซึมจะมีประสิทธิภาพดีและเป็นที่ยอมรับใช้กันมากที่สุดแต่ต้องป้องกันการอุดตันจากฝุ่นละออง นอกจากนี้ ขวดดูดซึมที่มีรูพรุนขนาดเล็กมาก ๆ อาจทำให้เกิดความดันลดลง (pressure drop) และ

ต้องมีที่ว่างตอนบนของสารละลายเพื่อไม่ให้ฟองล้นออกมา ขวดดูดซึมส่วนใหญ่ทำด้วยแก้ว ดังนั้นต้องแน่ใจว่าไม่ดูดหรือทำปฏิกิริยากับก๊าซที่สนใจศึกษา เนื่องจากสารละลายที่ใช้ดูดซึมไม่สามารถดูดซึมสารมลพิษได้ทั้งหมด ดังนั้นหลักการดูดซึมใช้สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยที่ใช้หลักการดูดซึม ได้แก่ acetaldehyde, acetone, acrolein, benzaldehyde, crotonaldehyde, ethylene oxide, formaldehyde, hexanal, isobutyraldehyde, methyl ethylketone, pentanal, propanal o-toualdehyde และ p-tolualdehyde การเก็บตัวอย่างโดยหลักการดูดซึมนี้ไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากยุ่งยากต้องเคลื่อนย้าย สารละลายที่ใช้ในการดูดซึมต้องระวังอุปกรณ์แตกหักเสียหายในขณะที่เก็บตัวอย่าง และต้องคำนึงถึงศักยภาพของ impinger เป็นต้น ดังนั้นส่วนใหญ่จึงหันไปใช้เทคนิคการดูดซับ (sorbent method) โดยการไหลอดดูดซับแต่อย่างไรก็ตามเทคนิคการดูดซึมอาจใช้ในกรณีที่ตัวดูดซับบางตัวไม่เหมาะสำหรับเก็บตัวอย่างในสภาวะที่มีความชื้นสูง ๆ (สาวิตรี, 2548)

13.1.4 การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับของก๊าซตัวอย่างเป็นการเกิดขึ้นที่ผิวโดยที่โมเลกุลของก๊าซจะรวมตัวและดูดด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเข้าหาผิวของวัสดุที่ดูดจับตัวอย่าง ณ อุณหภูมิเดียวกัน ปริมาณก๊าซที่ถูกดูดจะเป็นสัดส่วนกับความดันของก๊าซ นอกจากนี้การดูดซับยังขึ้นกับพื้นที่ผิวของวัสดุที่ดูดปริมาณก๊าซต่าง ๆ ที่ถูกดูดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความสามารถในการระเหย สารที่สามารถดูดซับอะตอมหรือโมเลกุลของสารอื่น เรียกว่าสารดูดซับ (adsorbent) โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่ใช้เป็นสารดูดซับจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน (pore size) และขนาดของอนุภาคจะเป็นลักษณะสำคัญต่อการดูดซับ อะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่าสารถูกดูดซับ ส่วนกระบวนการที่ทำให้สารถูกดูดซับหลุดออกจากผิวของตัวดูดซับเรียกว่าดีซอร์พชัน (desorption) แรงการดูดซับ (adsorption force) แรงการดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

(1) การดูดซับทางฟิสิกส์ (physical adsorption) หรือ physiosorption เกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของสารถูกดูดซับ ซึ่งเป็นแรงค่อนข้างอ่อน ใช้แรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนเช่นเดียวกับแรงแวนเดอวาลส์ (Van Der Waals Force) โมเลกุลที่ถูกดูดซับยังคงมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนเดิมการดูดซับชนิดนี้สามารถดูดซับ โมเลกุลได้หลายชั้น (multilayer adsorption) โดยโมเลกุลแต่ละชั้นจะเกิดบนชั้นของ โมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ก่อนแล้ว

(2) การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) หรือ chemisorption เกิดขึ้นเมื่อมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและผิวของสารดูดซับ เกิดเป็นพันธะเคมี ซึ่งแรงการดูดซับทางเคมีนี้ต้องอาศัยพลังงานเข้ามา ร่วมด้วย เรียกว่า activated adsorption ชั้นของการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว (monolayer adsorption) ตัวดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) ตัวดูดซับที่ไม่มีขั้ว ได้แก่ Carbotrap Graphitised carbon black ซึ่งตัวดูดซับ สามารถดูดซับสารได้หลายกลุ่ม เช่น สารประกอบกลุ่ม n-alkanes aromatic hydrocarbon chlorinated hydrocarbons organometallic compounds primary alcohols organic acids และ organic bases

2) ตัวดูดซับที่มีประจุบวก ได้แก่ activated silica gel

3) ตัวดูดซับที่มีประจุลบ ได้แก่ porous polymer เช่น Tenax, activated charcoal เนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับมีออกไซด์ของคาร์บอน

ตัวดูดซับประเภทที่ 2 และ 3 สามารถจับยึดกับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับด้วยแรง Dipole-dipole interactions และ London and Van de Waals forces สิ่งที่ต้องคำนึงถึงการเลือกชนิดของตัวดูดซับคือ สัทธิภาพของการดูดซึมน้ำ ถ้าสภาวะที่มีความชื้นสูงในบริเวณที่เก็บตัวอย่าง การแข่งขันการดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับจะเกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างที่ต้องการเก็บ และ น้ำ เป็นผลให้ความเข้มข้นที่ได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง และสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการใช้หลอดดูดซับ (sorbent tube) คือมี breakthrough เกิดขึ้นหรือไม่ breakthrough เกิดขึ้นเมื่อหลอดดูดซับหลอดแรกอิ่มตัว (saturated) แล้วผ่านออกไปสะสมอีกหลอดหนึ่งที่ต่ออยู่ด้านหลัง (สาวิตรี, 2548)

ชนิดของตัวดูดซับ(adsorbent)

การเลือกตัวดูดซับ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการระเหยหรือความดันไอของสารที่สนใจศึกษา ตัวดูดซับที่เลือกใช้ต้องสามารถดูดซับปริมาณของสารที่สนใจได้ในขณะเก็บตัวอย่าง และสามารถปลดปล่อยสารนั้นออกมา (desorption) โดยใช้ความร้อน และอัตราการไหลของก๊าซในการ desorption สารนั้นออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

13.2 passive sampling

passive sampling หมายถึง การเก็บตัวอย่างโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ก๊าซจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ ณ สภาวะ steady state โดยการดูดซึมทางเคมี หรือ การดูดซับทางด้านกายภาพบนตัวกลาง (medium) ซึ่งวิธีนี้ไม่ต้องใช้ปั๊มในการเก็บตัวอย่าง

หลักการของการเก็บแบบ passive แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

(1) passive sampling ที่อาศัยการแพร่ของโมเลกุลก๊าซมวลของก๊าซที่เก็บได้จะถูกควบคุมโดยความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของตัว passive และคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของ ก๊าซแต่ละชนิดอัตราการเก็บตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับค่า diffusion coefficient ของก๊าซที่เก็บและพื้นที่ หน้าตัดของตัว passive sampling ตัว passive sampling ที่อาศัยการแพร่ ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นตัว หลอดที่มีตัวดูดซับที่มีฝาครอบเป็นช่องตะแกรงป้องกันผลกระทบของกระแสลมในขณะที่เก็บ ตัวอย่าง ความเข้มข้นของก๊าซสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ระยะทางจากผิวหน้าของ ตัว passive ถึงสารดูดซับอัตราการเก็บตัวอย่างและประสิทธิภาพของการ desorp ตัวอย่างก๊าซที่ใช้ หลักการแพร่ ได้แก่สารอินทรีย์ระเหยพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซีน โทลูอิน และไซลีน เป็นต้น

(2) passive sampling ที่อาศัยการซึมแทรกของโมเลกุลก๊าซมวลของก๊าซที่เก็บได้ถูก ควบคุมโดยคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ของ membrane และคุณสมบัติของก๊าซ มวลของก๊าซที่เก็บได้ ขึ้นโดยตรงกับอัตราการซึมผ่านของก๊าซ ความเข้มข้นของก๊าซในบรรยากาศ และระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง นอกจากนี้ตัวอย่างก๊าซที่ซึมผ่าน membrane ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของ ก๊าซ ใน membrane ซึ่งเคลือบด้วยสารที่สามารถละลายก๊าซได้และขึ้นกับอัตราการแพร่ผ่าน membrane ภายในสภาวะที่ความเข้มข้นต่างกันปัจจัยที่มีผลต่อการซึมแทรกของโมเลกุลก๊าซ ได้แก่ ความหนา ของ membrane การบวมหรือการหดตัวของ membrane และความเป็นไปได้ในการกั ดกร่อนของสารเคมีที่ใช้ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของ passive sampling ขึ้นอยู่กับชนิดขอ membrane ซึ่งง่าย ต่อการซึมแทรกเฉพาะก๊าซที่สนใจศึกษาไม่ใช่ก๊าซทุกชนิด จากข้อจำกัดดังกล่าวข้างต้น ดังนั้น passive sampling แบบอาศัยการซึมแทรกของโมเลกุลก๊าซจึงเลือกใช้ศึกษาเฉพาะก๊าซตัวใด ตัวหนึ่ง เช่น NO_2 Formaldehyde เป็นต้น โดยเลือกใช้ membrane และสารเคมีที่เฉพาะเจาะจงต่อ ก๊าซที่จะศึกษา

ข้อจำกัดของการใช้ passive sampling ในการตรวจวัด ค่าความถูกต้องและความแม่นยำของ passive sampling ในการตรวจวัดขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง กระแสลม อุณหภูมิ และความชื้นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บตัวอย่าง โดยใช้ passive sampling ได้แก่ ขนาดของ passive sampling ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ช่วงความเข้มข้นของก๊าซ ความเสถียรภาพของตัวกลาง ค่าความถูกต้องและแม่นยำที่ต้องการ วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ อุณหภูมิ อัตราความเร็วที่ผิวหน้า ความชื้น ความเสถียรของก๊าซในตัวกลาง สิ่งเจือปนที่รบกวน ความดัน ประสิทธิภาพของการเก็บตัวอย่าง ความเสถียรภาพในการเก็บรักษาตัวอย่าง และปริมาตรของตัวอย่าง

14. หลักการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย

เทคนิคในการเตรียมตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างหรือการสกัดตัวอย่างก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟมีหลายวิธี

14.1 headspace

วิธีนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ก๊าซและสารระเหยที่ระเหยได้ง่ายมากหรือมีจุดเดือดต่ำๆ แต่ไม่สามารถวัดสารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดสูง ๆ และสารอินทรีย์กึ่งระเหยได้เนื่องจากมี partition ใน gas headspace volume ต่ำ และ sensitivity ของเทคนิคนี้อยู่ระดับ ppm

14.2 purge and trap thermal desorption

วิธีนี้สามารถวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยและสารกึ่งระเหยได้ โดยการ purge ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูง ทำให้สามารถตรวจวัดสารประกอบที่มี molecular weight สูงได้ เทคนิคนี้ sensitivity มากกว่าเทคนิค headspace มากกว่า 1,000 เท่า สำหรับสารอินทรีย์ระเหยและสารกึ่งระเหย โดยมี detection limit อยู่ในช่วง ppb อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำๆ หรือระเหยได้ง่ายๆ เนื่องจากสารดังกล่าวไม่ trap บนตัวดูดซับ

14.3 การสกัดด้วยสารละลาย

สารละลายที่ใช้ในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยส่วนใหญ่ มักใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยออกจากตัวดูดซับ เช่น activated carbon เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการสกัดสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง

14.4 เทอร์มอลดีซอร์प्ชัน (thermal desorption)

เป็นเทคนิคใหม่ที่ใช้ในสกัดตัวอย่างสารอินทรีย์อาจเป็นสารที่ระเหยง่าย (volatile) และสารกึ่งระเหย (semi-volatile) ที่เป็น trace organic จาก solid sorbent หรือ sample matrix ตัวอื่น โดยไม่ต้องใช้สารละลายเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายและมี sensitivity สูง เทคนิคนี้เป็นการสกัดตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพสามารถ transfer sensitivity สารที่ต้องการวิเคราะห์ไปยังเครื่องมือที่วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยนั้น ส่วนใหญ่ต้องอาศัยเทคนิคทาง GC การเลือกคอลัมน์ คอลัมน์ ถือเป็นหัวใจของการแยกสารด้วยเทคนิคทาง GC เมื่อก๊าซผสม หรือไอ ของสารที่ปนกันอยู่ในสารตัวอย่าง ผ่านคอลัมน์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแยกก๊าซหรือไอผสม เหล่านี้แยกออกจากกันเป็นส่วน ๆ ดังนั้น โครมาโตแกรมที่ได้จะดีหรือไม่จึงขึ้นอยู่กับชนิดของคอลัมน์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุประสงค์
 - 1.1 เศษไม้ยางพาราจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
 - 1.2 ถ่านกัมมันต์ภายในหลอด active gas tube จาก Hygitest รุ่น ST-CN 870
2. สารเคมี
 - 2.1 สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
 - 2.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร/ปริมาตร
 - 2.3 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร/ปริมาตร
 - 2.4 สารละลายมาตรฐานไอโอดีนเข้มข้น 0.1 N
 - 2.5 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 N
 - 2.6 สารละลายน้ำแป้ง
 - 2.7 สารละลายมาตรฐาน toluene ethylbenzene p-xylene และ o-xylene
 - 2.8 สารละลายมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยชนิด Japanese 52 component indoor air
 - 2.9 สารละลายมาตรฐาน toluene-d8เข้มข้น 935 นาโนกรัม/มิลลิลิตร
 - 2.10 สารละลายเมทานอล
 - 2.11 สารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์
 - 2.12 สารละลายอะซิโตน
3. อุปกรณ์
 - 3.1 บีกเกอร์
 - 3.2 บิวเรต
 - 3.3 ปิเปต
 - 3.4 กระจกตวง
 - 3.5 กรวยกรอง

- 3.6 แท่งแก้วคนสาร
- 3.7 จานแก้ว
- 3.8 ครุฑชิลิต
- 3.9 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.10 ปากก๊ีบ
- 3.11 โหลแก้ว
- 3.12 กระจายฟอยโลหะ
- 3.13 โถดูดความชื้น
- 3.14 สารดูดความชื้น
- 3.15 ขวดรูปชมพู่
- 3.16 ขวดวัดปริมาตร
- 3.17 กระจายกรองยี่ห้อ Wat Man เบอร์ 40
- 3.18 กระจายวัด pH
- 3.19 ตะแกรงร่อนสาร
- 3.20 ชุดเก็บตัวอย่างอากาศแบบ active sampler
- 3.21 น้ำกลั่น

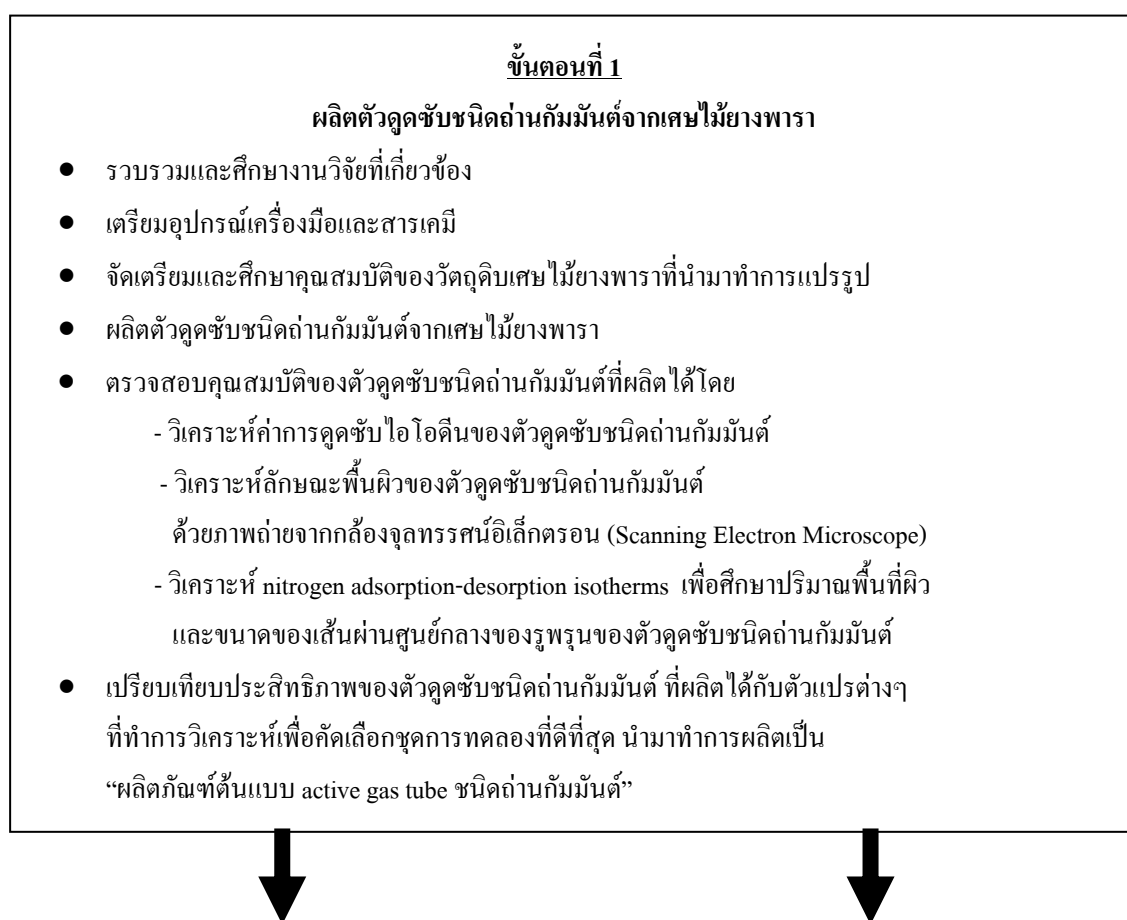
4. เครื่องมือ

- 4.1 เครื่องบดหยาบ
- 4.2 เครื่องบดละเอียด
- 4.3 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 และ 5 ตำแหน่ง
- 4.4 อุปกรณ์ให้ความร้อน
- 4.5 ตู้อบ
- 4.6 เตาไฟฟ้า
- 4.7 เครื่องปั๊มอากาศส่วนบุคคล รุ่น 3500 ของ Gillian
- 4.8 เครื่อง Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) รุ่น 6890 ของ

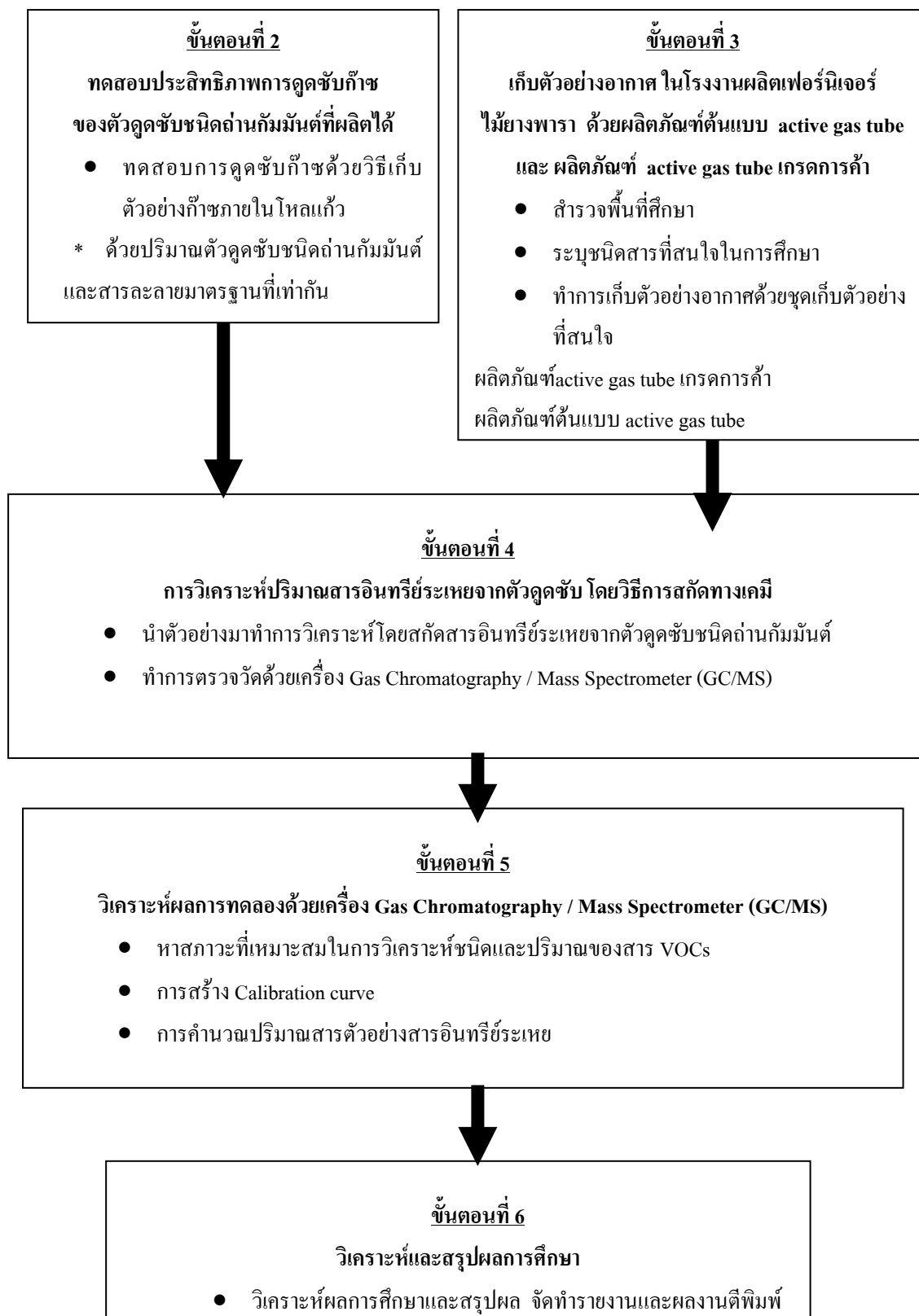
Hewlett –Packard ต่อกับ Mass Spectrometer HP 5973 กับ HP 6890 auto sampler และติดตั้ง capillary column DB-5MS ขนาด 60 m x 0.32 mm 1.0 μ m filmthickness ของ J&W.

วิธีการ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองหาวิธีการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เพื่อนำมาผลิตเป็นวัสดุเพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจวิเคราะห์สารมลพิษทางอากาศ ในที่นี้เลือกสารมลพิษประเภทสารอินทรีย์ระเหยซึ่งเป็นมลพิษหลักของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ แผนการทดลองแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนการทดลอง



ภาพที่ 4 (ต่อ)

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบของเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบ

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบ โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพโดยทำการหาความชื้นโดยวิธี air-dry basic วิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (volatile matter) วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash) และ วิเคราะห์ค่าคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ตามวิธี JIS M 8812-1984 และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษไม้ยางพารา (ภาคผนวก ก)

2. ผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา

2.1 เตรียมวัตถุดิบเศษไม้ยางพารา

จัดเตรียมวัตถุดิบเศษไม้ยางพารามาทำการแปรรูปเพื่อเตรียมนำมาผลิตเป็นตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ โดยนำเศษไม้ยางพาราเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์หนึ่งในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี มาทำการตากแห้งเป็นเวลา 1 วัน นำเศษไม้ส่วนที่มีขนาดใหญ่ มาทำการบดหยาบให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำเศษไม้ทั้งหมดมาทำการบดละเอียดและร่อนด้วย sieve ขนาด 600 และ 2000 ไมโครเมตร เพื่อให้ได้เศษไม้ขนาด 0.6 – 2 มิลลิเมตร นำเศษไม้ยางพาราที่ได้ไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนักของเศษไม้ต่อสารละลาย คลุกให้เข้ากันและทิ้งไว้ในโหลแก้วปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนอิมตัว เทเศษไม้ในโหลแก้วลงบนถาดอะลูมิเนียมที่ปูด้วยกระดาษฟอยโลหะ เกลี่ยเศษไม้เป็นแผ่นบางๆ ทิ้งให้ถาดและนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จนแห้ง

2.2 ผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา

นำเศษไม้ยางพาราที่อบแห้งแล้ว 10 กรัม แยกบรรจุใส่ครุซีเบลและห่อหุ้มด้วยกระดาษฟอยโลหะ จากนั้นนำครุซีเบลที่บรรจุเศษไม้ที่ทำการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกแล้ว มาทำการเผาด้วยเตาเผาโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 550 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 90 หรือ 60 นาที ทำการล้างกรดฟอสฟอริกส่วนเกินออกด้วยน้ำกลั่นเดือด ทดสอบน้ำกลั่นที่ล้างด้วยกระดาษวัด pH ทำการล้างจนน้ำกลั่นมี ค่า pH เป็นกลางประมาณ 6-6.5 จากนั้นนำมาอบให้แห้ง โดยทำการเกลี่ยเป็นชั้นบางๆ ลงบนถาดอะลูมิเนียมที่ปูด้วยกระดาษฟอยโลหะ นำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ก่อนทำการคัดขนาด

โดยการร่อนด้วย sieve ขนาด 450 และ 1400 ไมโครเมตร ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้อยู่ระหว่าง 0.45 - 1.4 มิลลิเมตร

ชุดการทดลองในการศึกษาครั้งนี้คือ ชุดการทดลอง ก ข ค ง จ และ ฉ แสดงดังตารางที่ 4 ทั้งสิ้น 6 ชุดการทดลองตามลำดับ และทำการทดสอบตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้าภายใน active gas tube จาก Hygitest รุ่น ST-CN 870 เป็นชุดการทดลอง ช ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับอ้างอิง (reference adsorbent) ร่วมด้วยในการเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 1 ชุดการทดลองตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
ก	450	60
ข	450	90
ค	450	120
ง	550	60
จ	550	90
ฉ	550	120
ช	ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ภายใน active gas tube จาก Hygitest รุ่น ST-CN 870	

3. ศึกษาคุณภาพและลักษณะของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา

3.1 การหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

ศึกษาคุณภาพของตัวดูดซับโดยทำการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 4607 (ภาคผนวก ข)

3.2 การศึกษา nitrogen physical adsorption-desorption isotherms

การทดสอบ nitrogen physical adsorption-desorption isotherms นั้นสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันต่างๆ จากนั้นนำมาทำการคำนวณหาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราที่ผลิตได้ โดยปริมาณพื้นที่ผิวของสารดูดซับสามารถคำนวณโดยวิธีมาตรฐาน Brunauer-Emmett-Teller (BET) และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนสามารถคำนวณโดยใช้วิธีมาตรฐาน Barrett-Joyner-Halenda (BJH) (ชฎาภา, 2547) ทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 77.35 องศาเคลวิน ด้วยเครื่อง Quanta chrome Autosorb-1 โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

3.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของพื้นที่ผิวดูดซับ

ศึกษาลักษณะโครงสร้างและวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวดูดซับของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ด้วยภาพถ่าย Scanning Electron Microscopy (SEM) โดยเครื่อง JEOL-JSM 5600 LV Scanning Electron Microscope ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

4. ทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

ทำการทดสอบการดูดซับก๊าซของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ของชุดการทดลองที่ดีที่สุดที่ผลิตได้ โดยทำการเก็บตัวอย่างในโหลแก้วที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ที่เทียบเท่ากับปริมาณตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ที่บรรจุอยู่ในหลอด active gas tube เกรดการค้า ลงใน vial ขนาด 2 มิลลิลิตร ชุดการทดลองที่ใช้ในการทดลองการดูดซับก๊าซแสดงดังภาพที่ 5

ทำการหยดสารละลาย toluene, ethylbenzene, p-xylene and o-xylene ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ที่มีสารละลายมาตรฐาน toluene – d8 (internal standard) ที่ความเข้มข้น 935 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในโหลแก้ว ทำการปิดฝา vial ให้แน่นและห่อหุ้มส่วนฝาด้วยพาราฟินเพื่อป้องกันการระเหยของ

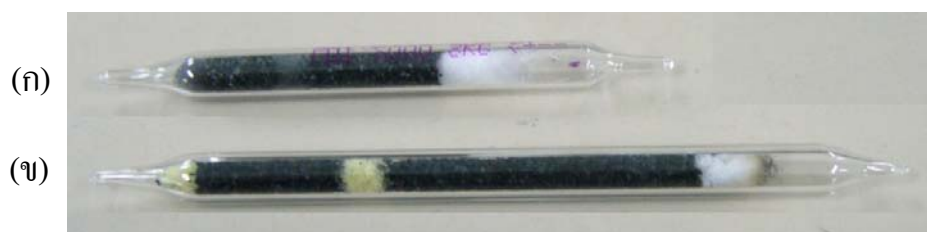
สารอินทรีย์ระเหยที่ต้องการทดสอบสู่ภายนอก ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงในโหลแก้วใหญ่ปิดสนิทโดยมีชุดควบคุมการทดลอง (blank) ในทุกชุดการทดลอง



ภาพที่ 5 ชุดการทดลองที่ใช้ในการทดลองการดูดซับก๊าซ

5. การเตรียมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเศษไม้ยางพารา

ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ให้มีลักษณะใกล้เคียงผลิตภัณฑ์ active gas tube เกรดการค้าจากบริษัท Hygitest รุ่น ST-CN 870 โดยแบ่ง charcoal tube เป็น 2 ชั้นบรรจุลงในหลอดแก้ว ชั้นแรกบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 100 มิลลิกรัม เพื่อใช้ในการศึกษาการดูดซับที่สนใจ และชั้นหลังบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 50 มิลลิกรัมเพื่อไว้ตรวจสอบการรั่วไหลของสาร เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดมีขนาด 5 มิลลิเมตร ทำการปิดหัวและท้ายของหลอดในขั้นตอนสุดท้าย แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 (ก) ผลิตภัณฑ์ active gas tube เกรดการค้า (ข) ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

6. ศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

ทำการศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา แห่งหนึ่งในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างในห้องปนของโรงงานเป็นเวลา 30 นาที เก็บตัวอย่างด้วยชุดเก็บตัวอย่างแบบ active sampler ใช้หลอดแก้วที่บรรจุตัวดูดซับชนิด ถ่านกัมมันต์ที่สนใจ ทั้งชนิดผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ และผลิตภัณฑ์ active gas tube ชนิดถ่านกัมมันต์เกรดจากบริษัท Hygitest รุ่น ST-CN 870 ต่อเข้ากับ personal pump (Gilliam; 3500) ด้วยอัตราการไหลที่ 50 มิลลิลิตร/นาที ทำการวัดอัตราการไหลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ชุดเก็บตัวอย่างแบบ active sampler ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 7

การเก็บรักษาหลอดเก็บตัวอย่างหลังจากการเก็บตัวอย่างแล้ว โดยทำการปิดหัวและท้ายหลอด active gas tube ให้แน่นด้วยฝา polytetrafluoroethylene (PTFE) นำเก็บหลอดตัวอย่างเก็บใส่ถุงซิปล็อคที่ปิดสนิททันทีหลังจากเก็บตัวอย่างครบ 30 นาที เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส



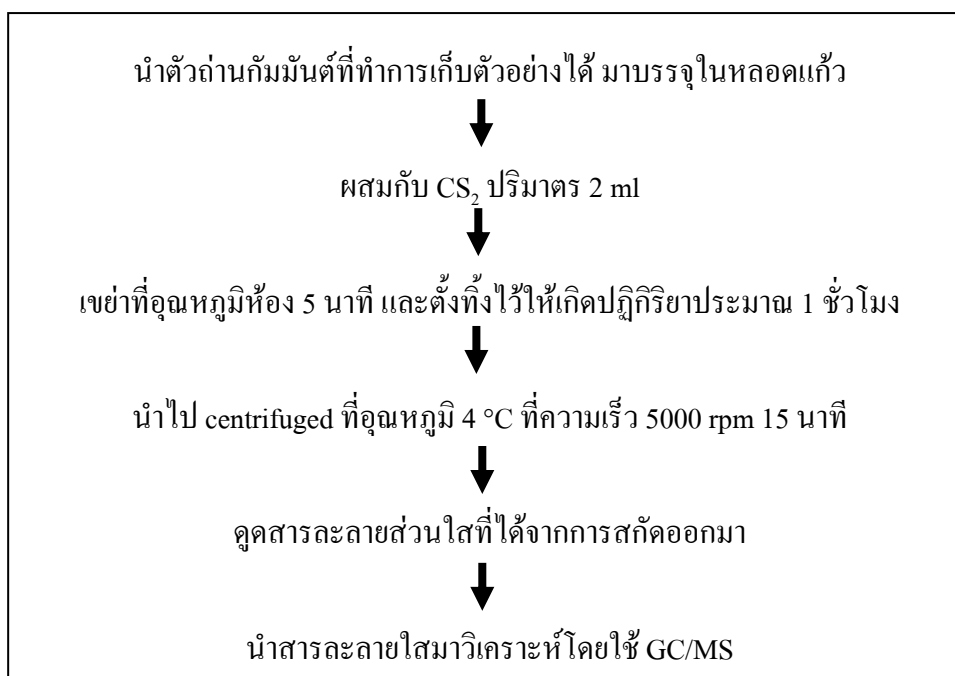
ภาพที่ 7 ชุดเก็บตัวอย่างแบบ active sampler

7. วิธีการวิเคราะห์ผล

7.1 การทดสอบวิธีการสกัดสารอินทรีย์ระเหย

7.1.1 การสกัดสารจากถ่านกัมมันต์ที่ทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในห้องปฏิบัติการ

ทำการสกัดโดยนำถ่านกัมมันต์ที่ทำการเก็บตัวอย่างได้มาบรรจุในหลอดแก้วทดลอง จากนั้นผสมกับตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulfide:CS₂) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทำการปิดฝาให้แน่นและเขย่าที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 1 ชั่วโมง และนำไป centrifuged ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 5000 รอบ/นาที (rpm) เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์โดยใช้ GC/MS ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Olansandan et al. (1999) แผนภาพขั้นตอนการสกัดแสดงดังภาพที่ 8 และเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการสกัดสารอินทรีย์ระเหยจากถ่านกัมมันต์ในการทดลองการดูดซับ



ภาพที่ 9 เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดสาร

7.1.2 การสกัดสารจากถ่านกัมมันต์ใน active gas tube

วิธีการสกัดตัวอย่างทำโดยการฉีด (spiked) สารละลายมาตรฐาน toluene – d8 (internal standard) ที่ความเข้มข้น 935 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วย micro syringe เข้าไปในหลอด active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ที่สนใจ แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การวิเคราะห์ด้วยวิธีฉีดสารละลายมาตรฐานด้วย Micro syringe เข้าไปในหลอด active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ที่สนใจ

จากนั้นทำตามขั้นตอนการสกัดสารจากถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการ โดยนำตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในหลอดเก็บตัวอย่างแบบ active gas tube มาบรรจุในหลอดแก้วทดลอง ผสมกับตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ปริมาตร 2 มิลลิลิตรสำหรับถ่านกัมมันต์ชิ้นแรก และ

ปริมาตร 1 มิลลิลิตร สำหรับถ่านกัมมันต์ชั้นหลัง ทำการปิดฝาให้แน่น เขย่าที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 1 ชั่วโมง และนำไป centrifuged ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 5000 รอบ/นาที (rpm) เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์โดยใช้ GC/MS (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Olansandan et al.,1999 อ้างถึงใน สาวิตรี, 2548)

7.2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย

7.2.1 ศึกษาการวิเคราะห์ตัวอย่างจากเครื่องมือวิเคราะห์ Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในสารละลายที่ผ่านการสกัดแล้วคือ Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) รุ่น 6890 ของ Hewlett – Packard ต่อกับ Mass Spectrometer HP 5973 กับ HP 6890 auto sampler และติดตั้ง capillary column DB-5MS ขนาด 60 m x 0.32 mm 1.0 μ m film thickness ของ J&W และใช้ Helium (>99.995%) เป็น carrier gas ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 GC ต่อกับ Mass Spectrometer และ auto samplers

7.2.2 วิธีดำเนินการศึกษาการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยด้วยเครื่อง GC/MS

ก) หาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC/MS ที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชา วิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหย ชนิด Japanese 52 component indoor air ใช้สภาวะการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 และใช้ปริมาตรในการฉีดเข้าเครื่อง GC/MS 1.0 ไมโครลิตร ซึ่งในเบื้องต้นใช้เทคนิค SCAN mode เพื่อหา retention time ของสารละลายมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหย

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยตัวอย่าง

Oven Ramp	°C/min	Next °C	Hold min	Run Time
Initial		35	10.00	10.00
Ramp 1	5.00	220	5.00	52.00

เมื่อทราบค่า retention time ของสารมาตรฐานแล้ว ปรับเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างเพื่อหาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยเป็นเทคนิค Selected-Ion Monitoring (SIM)

ข) การสร้าง calibration curve

ทำการสร้าง calibration curve โดยใช้สารละลายมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ความเข้มข้นดังนี้ 500, 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งแต่ละความเข้มข้นจะมีสารละลายมาตรฐาน toluene – d8 (internal standard) ที่ความเข้มข้น 935 ng/ml รวมอยู่ด้วย

ค) การคำนวณปริมาณสารตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหย

การตรวจหาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในตัวอย่างสามารถทำได้โดยการเทียบกับสารละลายมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหย ที่มีสารละลายมาตรฐาน toluene – d8 (internal standard) ที่ความเข้มข้น 935 นาโนกรัม/มิลลิลิตร สารตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยที่ได้จากการวิเคราะห์จะได้ค่าเป็นไมโครกรัม แสดงวิธีการคำนวณปริมาณสารตัวอย่างดังสมการที่ (1)

$$\text{Mass of สารอินทรีย์ระเหย } (\mu\text{g}) = \frac{(P_{t/s}/P_{it/s}) - (P_{t/sb}/P_{it/sb})}{(P_s/P_{it})} \times C_{\text{std}} \times V_s \quad \text{-----(1)}$$

โดยค่า C_{std} = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 1000 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ($\mu\text{g/ml}$)

$P_{t/s}/P_{it/s}$ = Peak area ของ สารอินทรีย์ระเหย ในตัวอย่าง
ต่อ Peak area ของ internal standard

$P_{t/sb}/P_{it/sb}$ = Peak area ของ สารอินทรีย์ระเหย ใน blank
ต่อ Peak area ของ internal standard

P_s/P_{it} = Peak area ของ สารอินทรีย์ระเหย ในสารละลายมาตรฐาน
ต่อ Peak area ของ internal standard

V_s = ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

8. การวิเคราะห์ทางสถิติ t-test

ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ T-Test เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ภายในบรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตได้ กับ active gas tube ที่นิยมใช้โดยทั่วไป แสดงวิธีการคำนวณดังสมการที่ (2) โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นระดับแรกที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ เขตปฏิเสธ H_0 ถ้า $t > 2.78$ หรือ $t < -2.78$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \text{-----(2)}$$

- โดยค่า
- t = ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย
 - \bar{X}_1 = ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม active gas tube ที่นิยมใช้โดยทั่วไป
 - \bar{X}_2 = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube
 - S_1^2 = ความแปรปรวนของกลุ่ม active gas tube ที่นิยมใช้โดยทั่วไป
 - S_2^2 = ความแปรปรวนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube
 - n_1 = จำนวนครั้งการทดลองของกลุ่ม active gas tube ที่นิยมใช้โดยทั่วไป
 - n_2 = จำนวนครั้งการทดลองของกลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. การผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพารา

ประกอบด้วย ลักษณะสมบัติของเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ผลของการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ และการทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการ

2. การทดสอบการใช้งานในรูปของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube

เป็นการนำตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเศษไม้ยางพาราจากสภาวะที่เหมาะสมในส่วนแรก มาทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับเก็บตัวอย่างอากาศแบบ active gas tube สำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในที่ผลิตได้ กับตัวดูดซับประเภทถ่านกัมมันต์แบบเดียวกันที่จำหน่ายตามท้องตลาด

1. การผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพารา

1.1 คุณลักษณะของเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวดูดซับถ่านกัมมันต์

องค์ประกอบของเศษไม้ยางพาราเป็นสิ่งสำคัญเพื่อบ่งบอกถึงโอกาสในการพัฒนาเศษไม้ยางพาราไปเป็นตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ในที่นี้เศษไม้ยางพาราจะถูกบดและคัดขนาดให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.5-2 มิลลิเมตรเพื่อหาลักษณะองค์ประกอบโดยประมาณ ประกอบด้วยปริมาณคาร์บอนคงตัว สารระเหย เถ้า และความชื้น ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนคงตัว:สารระเหย:เถ้า ในสัดส่วนโดยน้ำหนักที่ 80:10:9 ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงถึงร้อยละ 80 เมื่อเทียบสัดส่วนกับปริมาณเถ้าและสารระเหยที่มีอยู่ ซึ่งโดยทั่วไปวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะสามารถผลิตเป็นตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูง (สุโรชินี, 2545) ดังนั้นเศษไม้ยางพาราจึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมแก่การนำไปทดสอบผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ต่อไป

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางกายภาพของเศษไม้ยางพาราซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบ

การประมาณองค์ประกอบทางกายภาพ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
ปริมาณคาร์บอนคงตัว	สารระเหย	เถ้า	ความชื้น
81.22	5.70	5.07	8.01

จากนั้นทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ออกซิเจน (CHNSO) ของเศษไม้ยางพาราเพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติขององค์ประกอบธาตุหลัก แสดงผลดังตารางที่ 4 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเศษไม้ยางพารามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราของ Sirinivasakannan and Mohamad (2004) ซึ่งให้ค่าคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักที่ร้อยละ 43.98 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าคาร์บอนองค์ประกอบที่สูงใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ศึกษาในครั้งนี้ที่ให้ค่าคาร์บอนที่ร้อยละ 47.03 แสดงให้เห็นว่าเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เหมาะแก่การนำไปใช้ผลิตเป็นตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของเศษไม้ยางพาราซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบ

งานวิจัย ที่ใช้เศษไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบ	การประมาณองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่รวมความชื้น)				
	C	H	N	S	O
งานวิจัยครั้งนี้	47.03	10.99	-	0.38	41.60
Sirinivasakannan and Mohamad (2004)	43.98	8.04	-	0.45	47.53

1.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

1.2.1 ค่าการดูดซับไอโอดีน

ค่าการดูดซับไอโอดีนเป็นตัวเลขที่ใช้บอกความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์โดยทดสอบการดูดซับไอโอดีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ไอโอดีนจะสามารถจับกับพื้นที่ผิวของรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่า 1 นาโนเมตร ค่าเลขไอโอดีนจึงมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับปริมาณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ แต่ค่าไอโอดีนไม่ใช่ค่าพื้นที่ผิวที่แท้จริง เพราะไม่ได้รวมถึงพื้นที่ผิวภายในรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 นาโนเมตร พื้นที่ผิวจากการดูดซับไอโอดีนต่างไปจากพื้นที่ผิวที่แท้จริงมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ (สุโรชนี, 2545)

ตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 450 และ 550 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 60 90 และ 120 นาที รวมถึงตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้าซึ่งบรรจุอยู่ในหลอด active gas tube จากบริษัท Hygitest รุ่น ST-CN 870 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่ 450 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มการให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของ Baileys และ Blankenhorn (1982) ได้กล่าวไว้ว่า ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 350 ถึง 500 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนในเซชันเป็นหลัก สีของไม้เริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำ ของแข็งที่เหลือจะเปลี่ยนสภาพโดยการจับตัวไหม้ของคาร์บอนกลายเป็นโครงสร้างคล้ายๆ แกรไฟท์เรียกว่า ถ่าน และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ไม้ที่กลายเป็นถ่านแล้วเกิดการสลายตัวไปบางส่วน (เสียสภาพ) ทำให้ผล

ผลิตถ่านลดลง และเมื่อพิจารณาค่าการดูดซับไอโอดีนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดจากค่าการดูดซับไอโอดีนของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ชุดการทดลอง ก เเผาที่อุณหภูมิ 450 ด้วยระยะเวลา 120 นาที ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ 786.71 แตกต่างจากชุดการทดลอง ก และ ข ที่ใช้เวลาในการเผาที่ 60 และ 90 นาที ซึ่งให้ค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยกว่าที่ 762.39 และ 768.45 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการตรวจสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับ ไอโอดีน
ก	450	60	762.39
ข	450	90	768.45
ค	450	120	786.71
ง	550	60	676.13
จ	550	90	709.62
ฉ	550	120	673.62
ช	ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ภายใน active gas tube จาก Hygitest รุ่น ST-CN 870		776.91

1.2.2 การทดสอบ nitrogen physical adsorption-desorption isotherms

เลือกตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ชุดการทดลองที่ดีที่สุด 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลอง ข และ ค รวมถึงชุดการทดลอง ช ตัวดูดซับอ้างอิงชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้าซึ่งบรรจุอยู่ในหลอด active gas tube จากบริษัท Hygitest รุ่น ST-CN 870 มาทำการวิเคราะห์ nitrogen adsorption-desorption isotherms ผลที่ได้จากการทดสอบ nitrogen physical adsorption-desorption isotherms สามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันต่างๆ จากนั้นนำมาทำการคำนวณหาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราได้ โดยปริมาณพื้นที่ผิวของสารดูดซับสามารถคำนวณโดยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนสามารถคำนวณโดยใช้วิธี Barrett-Joyner-Halenda (BJH) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET specific surface area) (ตารางเมตร/กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (นาโนเมตร)
ข	450	90	1,663.20	0.9468	2.276
ค	450	120	1,635.65	1.0390	2.541
ช	ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ใน active gas tube จาก Hygitest รุ่น ST-CN 870		948.94	0.5047	2.127

จากผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลอง ข ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,663.20 ตารางเมตร/กรัม และชุดการทดลอง ค ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,635.65 ตารางเมตร/กรัม โดยทั้งสองชุดการทดลองให้ค่าพื้นที่ผิวมากกว่าชุดการทดลอง ช ซึ่งเป็นตัวดูดซับอ้างอิงชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้าอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาค่าปริมาตรรูพรุนและเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนพบว่าชุดการทดลอง ค ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 ด้วยระยะเวลา 120 นาที ให้ค่าปริมาตรรูพรุนและเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมากที่สุดที่ 1.0390 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และ 2.541 นาโนเมตร ตามลำดับ แสดงถึงปริมาณพื้นที่ผิวช่องว่างภายในที่มีปริมาณมากของตัวดูดซับชุดการทดลอง ค เมื่อพิจารณาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของชุดการทดลอง ข ค และ ช ที่ให้ค่ามากกว่า 1 นาโนเมตรในทุกชุดการทดลอง พบว่าสอดคล้องกับค่าการดูดซับไอโอดีน

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เลือกชุดการทดลอง ค เป็นชุดการทดลองที่สนใจในการวิจัยต่อไป เนื่องจากให้ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าปริมาตรรูพรุนและเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนที่สูงสุด รวมถึงให้ค่าพื้นที่ผิวที่สูง และผลจากค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด มีค่ามากกว่าชุดการทดลอง ช ซึ่งเป็นตัวดูดซับอ้างอิงชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้า อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากบริษัท Hygitest รุ่น ST-CN 870 ผลิตจากการใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบ (ภาคผนวก ง) แตกต่างจากไม้ยางพาราที่มีโครงสร้างของท่อลำเลียงภายในเนื้อไม้ โดยโครงสร้างของท่อลำเลียงขางนี้จะอยู่ในชั้นไม้จากท่ออาหารที่เกิดจากการแบ่งตัวออกมาทางด้านนอกของเยื่อเจริญ (cambium) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นบางๆ อยู่ระหว่างเนื้อไม้และเปลือกไม้ ท่อน้ำยางจะเรียงตัวรอบลำต้นตามแนวตั้งเป็นชั้นๆ โดยทั่วไป ประสานตัวคล้ายร่างแหเป็นวงรอบลำต้น (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2548) ทำให้ไม้ยางพาราที่เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ มากกว่าพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาของ

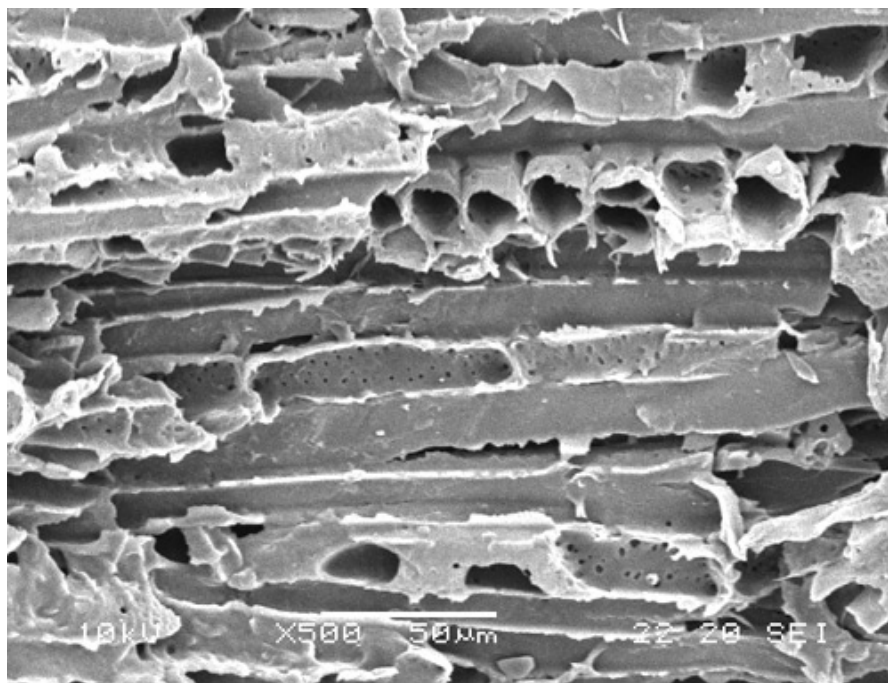
กะลามะพร้าววัตถุดิบที่ไม่มีโครงสร้างของท่อลำเลียงภายในเนื้อไม้ นอกจากนั้นความมีโครงสร้างที่เป็นท่อลำเลียงนี้ ยังส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากไม้ยางพารามีปริมาตรรูพรุนตามโครงสร้างเดิมมากกว่าถ่านกัมมันต์จากที่ผลิตจากกะลามะพร้าวอีกด้วย

1.2.3 การศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 500 เท่า แสดงดังภาพที่ 12 ถึง 17 เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราชุดการทดลอง ก ข และ ค ที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พบว่า ชุดการทดลอง ค (แสดงดังภาพที่ 14) ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลา 120 นาที มีความไม่เป็นรูปร่างมากกว่าชุดการทดลอง ก และ ข (แสดงดังภาพที่ 12 และ 13) ที่เป็นตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลา 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ความไม่เป็นรูปร่างของชุดการทดลอง ค ที่มากกว่าชุดการทดลอง ก และ ข นี้ จึงทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์มีปริมาณสูงมากขึ้นด้วย (พีระ, 2548) ส่วนลักษณะพื้นผิวภายนอก ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราชุดการทดลอง ก และ ข ที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลา 60 และ 90 นาทีนั้นพบว่า ยังคงมีลักษณะเป็นแผ่น มีความพรุนน้อยและมีความเป็นรูปร่างมากกว่าชุดการทดลอง ค ซึ่งมีลักษณะของรูพรุนที่มากกว่ารวมถึงมีรูพรุนที่เปิดกว้างกว่าชุดการทดลอง ก และ ข

เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส กับ 550 องศาเซลเซียส พบว่าสภาพของพื้นผิวภายนอกบางแห่งของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราชุดการทดลองที่ทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (แสดงดังภาพที่ 15 16 และ 17) รวมถึงโครงสร้างรูพรุนส่วนใหญ่มีลักษณะเสียดสภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุดการทดลอง ข (แสดงดังภาพที่ 17) ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราที่ทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 550 ด้วยระยะเวลา 120 นาที มีลักษณะเสียดสภาพอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Baileys and Blankenhorn (1982) ที่ได้กล่าวไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ไม้ที่กลายเป็นถ่านแล้วเกิดการสลายตัวไปบางส่วน (เสียดสภาพ) ทำให้ผลผลิตถ่านลดลง

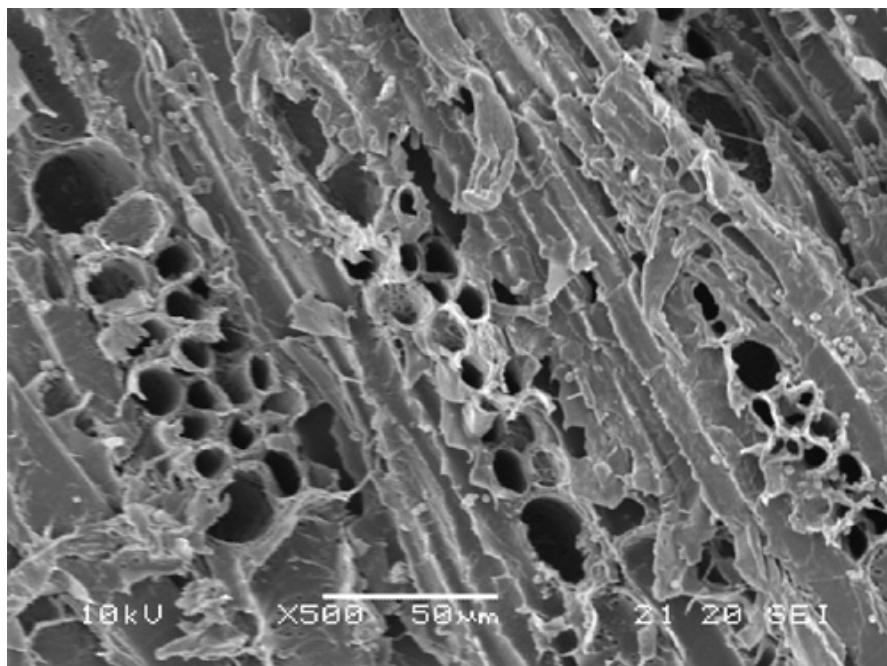
จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้เลือกถ่านกัมมันต์ชุดการทดลอง ค ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราที่ทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 450 เซลเซียส ด้วยระยะเวลา 120 นาที เป็นชุดการทดลองที่ใช้ในการวิจัยเพื่อศึกษาการดูดซับของสารอินทรีย์ระเหยต่อไป



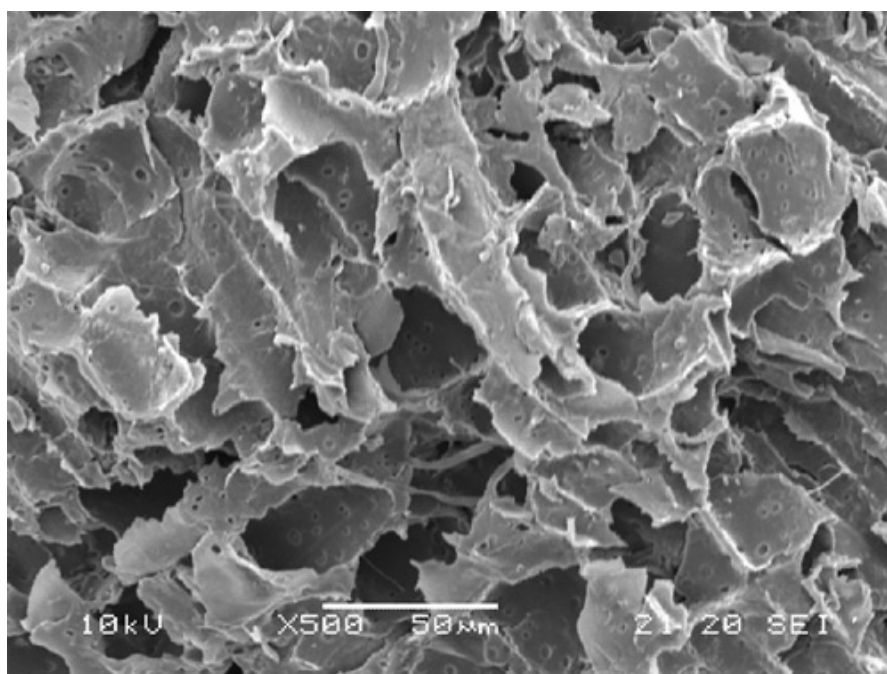
ภาพที่ 12 ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ก ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 60 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย X500 เท่า



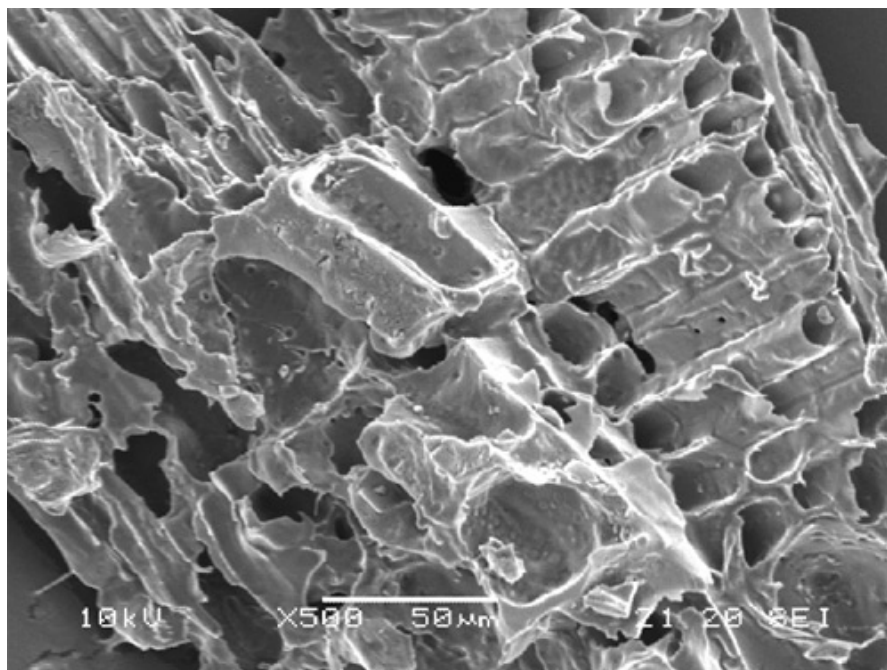
ภาพที่ 13 ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ข ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 90 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย X500 เท่า



ภาพที่ 14 ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ค ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์
จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 120 นาที
ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า



ภาพที่ 15 ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ง ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์
จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 60 นาที
ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย $\times 500$ เท่า



ภาพที่ 16 ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง จ ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 90 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย X500 เท่า

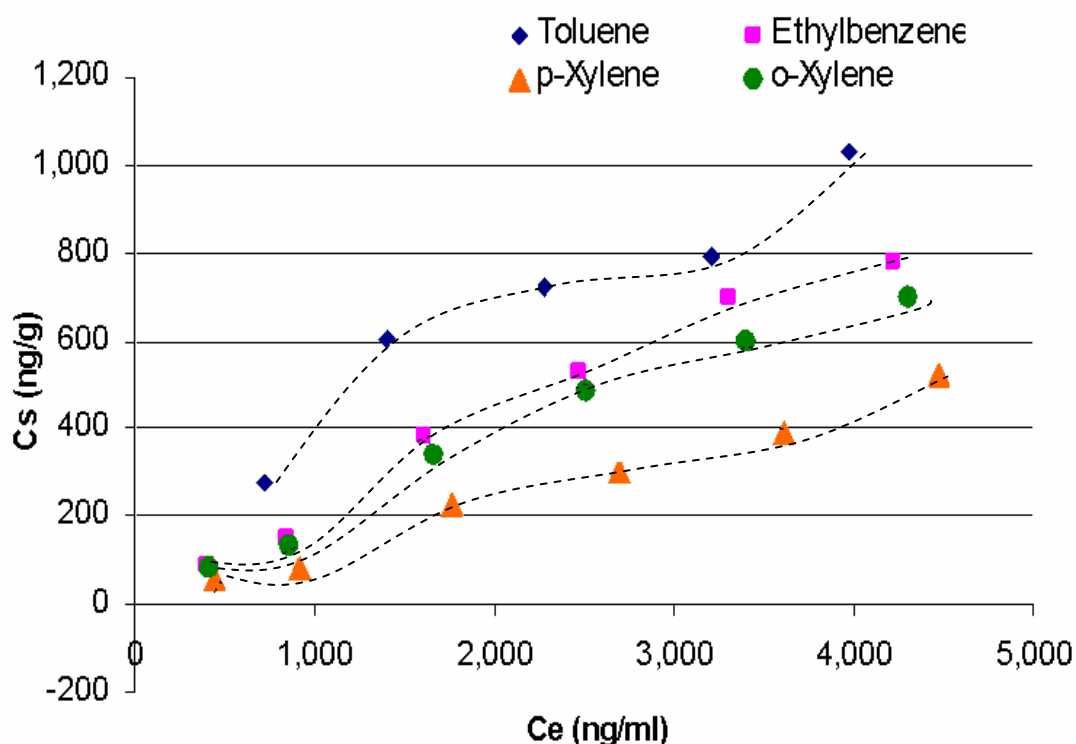


ภาพที่ 17 ลักษณะพื้นผิวภายนอกชุดการทดลอง ข ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ จากเศษไม้ยางพารา ทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 120 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย X500 เท่า

1.3 การทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในห้องปฏิบัติการ

1.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยที่ความเข้มข้นต่างๆ บนตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา

ทำการทดลองเพื่อหาสถานะสมดุลของสารอินทรีย์ระเหยในสถานะก๊าซที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อปริมาณการดูดซับลงบนตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา ซึ่งในที่นี้คือตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราชุดการทดลอง ค ทำการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลา 120 นาที ในงานวิจัยนี้ทดลองโดยใช้สารอินทรีย์ระเหยชนิดหลักที่พบมากในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ทั่วไป 4 ชนิด คือ toluene, ethylbenzene, p-xylene และ o-xylene มาทดสอบการดูดซับความเข้มข้น 500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ไอโซเทอมของการดูดซับที่ภาวะสมดุลของสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 4 ชนิดแสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสถานะอุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง) ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา

จากภาพที่ 18 ไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสภาวะอุณหภูมิคงที่ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราชุดการทดลอง ค ลักษณะของเส้นกราฟไอโซเทอมการดูดซับที่ได้ สามารถใช้ทำนายปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับ ได้โดยการจัดกลุ่มตามลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟ (McBride, 1994) จากไอโซเทอมการดูดซับของสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 4 ชนิดที่ได้มีลักษณะอยู่ในประเภท S-Shape แสดงให้เห็นถึงการมีปฏิกิริยาดึงดูดกันระหว่างสารที่ถูกดูดซับด้วยตัวเอง มีมากกว่าแรงดึงดูดกันระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ เรียกสภาวะนี้ว่า การเกาะกลุ่มรวมตัว (clustering) ของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิว เนื่องจากพันธะในการเกาะกลุ่มด้วยตัวเองของสารที่ถูกดูดซับเหล่านั้น แข็งแรงกว่าพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับที่ใช้ในการเกาะที่พื้นผิวของตัวดูดซับ (McBride, 1994)

1.3.2 สมมติฐานตามแบบจำลองการดูดซับแลงเมียร์และฟรุนดลิช

ในการหาคุณสมบัติของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราด้วย adsorption isotherm ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำผลการทดลองจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับที่สภาวะสมดุลมาทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการดูดซับด้วยสมมติฐานของแบบจำลอง adsorption model ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือแบบจำลองการดูดซับตามสมการของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) (ตั้งสมการที่ 1) และแบบจำลองการดูดซับตามสมการของฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm) (ตั้งสมการที่ 2 และ 3) ซึ่งความน่าเชื่อถือของแต่ละสมการของสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดจะมีมากหรือน้อยกว่ากันจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination : R^2) ซึ่งมีค่าต่ำสุดที่ 0 แสดงว่ามีความน่าเชื่อถือต่ำที่สุด และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 แสดงว่ามีความน่าเชื่อถือมากที่สุด (กัลยา, 2540) สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการเส้นตรงได้ ดังนี้

$$\text{Langmuir Adsorption Isotherm :} \quad \frac{C_e}{C_s} = \frac{1}{ab} + \frac{C_e}{a} \quad \text{-----(1)}$$

$$\text{Freundlich adsorption isotherm :} \quad \ln C_s = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{-----(2)}$$

$$C_s = K_F C_e^{1/n} \quad \text{-----(3)}$$

แบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์สามารถใช้อธิบายการดูดซับแบบกายภาพบนพื้นผิวผสม โดยมีสมมติฐานว่า การดูดซับของโมเลกุลหรืออะตอมเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวในขอบเขตที่จำกัด แต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวสามารถดูดซับได้เพียง 1 อะตอมหรือ 1 โมเลกุลเท่านั้น พลังงานในการดูดซับจะเท่ากันทุกจุดและแต่ละโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะไม่มีแรงหรือปฏิกิริยาต่อกัน (พีระ, 2548) ทำให้เกิดพื้นผิวดูดซับแบบเนื้อเดียว (homogeneous surface) ด้วยการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer sorption) โดย ค่า C_s คือปริมาณตัวดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/กรัม) C_e คือปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/มิลลิลิตร) a และ b คือค่าคงที่ตามสมการแลงเมียร์ที่แสดงถึงปริมาณการดูดซับที่สูงสุด (ความสามารถในการดูดซับแบบชั้นเดียว) และพลังงานในการดูดซับตามลำดับ (Hameed et al., 2007)

สมมติฐานแบบจำลองการดูดซับตามสมการฟรุนดิช เกิดจากสมมติฐานจากพื้นผิวหลายชั้น (heterogeneous surface) ด้วยการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอของความร้อนของการดูดซับบนพื้นผิวที่เกิดจากการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer sorption) การประยุกต์ใช้สมการฟรุนดิชอธิบายถึงการลดลงแบบเอ็กโปเนนเชียลของพลังงานการดูดซับบนจุดสมดุลของจุดศูนย์กลางการดูดซับของตัวดูดซับ (Hameed and Daud, 2007) โดยค่า C_s แสดงถึงปริมาณตัวดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/กรัม) C_e คือปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เวลาสมดุล (นาโนกรัม/มิลลิลิตร) K_F และ n คือค่าคงที่ตามสมการฟรุนดิช โดยที่ K_F แสดงถึงปริมาณความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (adsorption capacity) (Hameed et al., 2007) และ $1/n$ บ่งบอกถึงความแรงของการดูดซับ (adsorption intensity) (Kalavathy et al., 2005) ของความเป็นพื้นผิวหลายชั้น โดยทั่วไป $1/n$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากแสดงค่าเข้าใกล้ 0 มากเท่าไรแสดงถึงความเป็นพื้นผิวหลายชั้นมากเท่านั้น (Haghsresht and Lu, 1998)

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับที่จุดสมดุลและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ถูกดูดซับตามสมมติฐานของสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช ที่ให้ค่าตัวแปรต่างๆ ตามสมการสมมติฐาน (ดังตารางที่ 7) จากผลการศึกษาตามสมมติฐานแบบจำลองของทั้งสองแสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้น (R^2) ของแบบจำลองการดูดซับตามสมการฟรุนดิชของสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 4 ชนิด มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์ แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมดูดซับสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 4 ชนิด ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา สามารถอธิบายได้ดี ด้วยแบบจำลองของฟรุนดิช ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้น

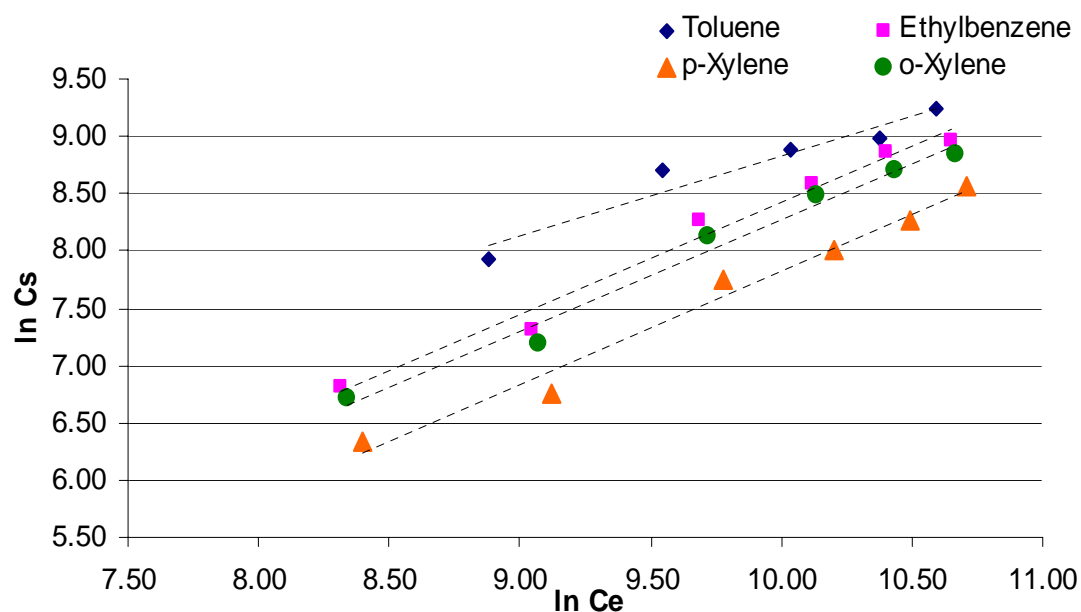
ตารางที่ 7 ค่าคงที่ต่างๆ ตามสมการของฟรอนดิชและแลงเมียร์ของการศึกษาครั้งนี้

VOCs	Freundlich $C_s = K_F C_e^{1/n}$			Langmuir $C_e/C_s = 1/ab + C_e/a$		
	R^2	K_F	$1/n$	R^2	a	b
Toluene	0.94	70.42	0.70	0.82	5000	0.00002
Ethyl benzene	0.98	0.04	0.98	0.90	5000	0.00001
p-Xylene	0.98	0.01	0.99	0.74	10000	0.000003
o-Xylene	0.98	0.03	0.97	0.98	5000	0.00001

หมายเหตุ ค่า K_F มีหน่วยเป็น นาโนกรัม/กรัม (ng/g)

ของฟรอนดิช ซึ่งเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer sorption) ซึ่งทำให้เกิดพื้นผิวแบบหลายชั้น (heterogeneous surface) ภาพที่ 19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการดูดซับตามสมมติฐานแบบฟรอนดิชของสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา แสดงให้เห็นเส้นตรงและความชันของ $1/n$ (adsorption intensity) พร้อมทั้งส่วนตัดของ $\ln K_F$ จากการกำหนดจุดโดย $\ln C_s$ และ $\ln C_e$ ค่าความชันที่ได้จากกราฟแสดงให้เห็นถึงความแรงในการดูดซับแบบพื้นผิวหลายชั้น (Kalavathy et al., 2005) โดย toluene ให้ค่าปริมาณความสามารถในการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราที่ผลิตได้สูงสุด รองลงมาคือ ethyl benzene, o-xylene และ p-xylene ตามลำดับ

เมื่อนำผลการศึกษาค่าตัวแปรต่างๆ จากสมการฟรอนดิชที่คำนวณได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ระเหยด้วยวัสดุอื่นๆ (แสดงดังตารางที่ 8) พบว่าค่าจากการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราให้ค่า K_F ที่แสดงถึงปริมาณความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับน้อยกว่าค่าการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 4 ชนิด ด้วยตัวดูดซับชนิดอื่นๆ อาจเนื่องมาจากตัวดูดซับชนิดอื่นๆ ได้ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มค่าพื้นที่ผิวในการดูดซับที่การพัฒนาระดับสูง เช่นการใช้การกระตุ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์ด้วยกรดที่สถานะอิมมัว (Kim et al., 2006) สารดูดซับเกรดการค้าคุณภาพสูง CoAlPO4-5 molecular sieves (Liu et al., 2004) และเรซิน Ambersorb 563 (Sheng and Cheng, 1999) รวมถึง



ภาพที่ 19 กราฟความสัมพันธ์การดูดซับแบบฟรอนติชของสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสถานะอุณหภูมิคงที่ (อุณหภูมิห้อง) ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าคงที่ต่างๆ ตามสมการของฟรอนติชของการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยอื่นๆ

VOCs	ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราจากการศึกษาครั้งนี้ (gas phase) ความเข้มข้น $0.5-5 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัม/มิลลิลิตร			ถ่านกัมมันต์ impregnated AC (gas phase) ความเข้มข้น 10-15 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (Kim et al., 2006)			สารดูดซับชนิด CoAlPO4-5 molecular sieves (gas phase) ความเข้มข้น 0.7-11 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (Liu et al., 2004)			ดิน bentonite (gas phase) ความเข้มข้นของ o-xylene บริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 โดยไม่มีการปรับเปลี่ยน (Zaitan et al., 2008)		
	R^2	K_F	1/n	R^2	K_F	1/n	R^2	K_F	1/n	R^2	K_F	1/n
Toluene	0.94	7.60×10^{-7}	0.70	-	4.82	0.26	-	-	-	-	-	-
Ethylbenzene	0.98	3.77×10^{-10}	0.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p-Xylene	0.98	9.42×10^{-15}	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
o-Xylene	0.98	2.82×10^{-10}	0.97	-	-	-	0.99	0.74	1.26	-	2.28×10^{-3}	0.63

หมายเหตุ ค่า K_F มีหน่วยเป็น มิลลิโมล/กรัม (mmol/g)

การทดลองศึกษาการดูดซับในสภาวะและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่แตกต่างกันในการศึกษาครั้งนี้ กับการศึกษาการดูดซับสารดูดซับอินทรีย์ระเหยที่สภาวะของเหลวของฝักมะรุม (*Moringa oleifera* pods) (Akhtar et al., 2006) และเรซิน Ambersorb 563 (Sheng and Cheng, 1999) รวมถึงการใช้สารอินทรีย์ระเหยความเข้มข้นสูงกว่าการทดลองครั้งนี้มาก ในการศึกษาการดูดซับ toluene ของ Kim และคณะ (2006) ด้วยถ่านกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยกรดที่สภาวะอิ่มตัวที่ความเข้มข้น 10-15 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร การศึกษาการดูดซับ o-xylene ด้วยดิน bentonite ของ Zaitan และคณะ (2008) ที่ความเข้มข้น 0.7-11 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และการศึกษาการดูดซับ o-xylene ของ Liu และคณะ (2004) ด้วยสารดูดซับชนิด CoAlPO₄-5 molecular sieves ด้วย o-xylene บริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนความเข้มข้น (การทดลองครั้งนี้ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยที่ความเข้มข้น 0.5- 5 × 10⁻⁶ มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) จากสาเหตุของปัจจัยต่างๆ ทั้งหมดที่กล่าวมา จึงทำให้ค่า K_F ที่ได้จากการศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยด้วยวัสดุชนิดอื่นๆ ให้ค่าสูงกว่าการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราในการศึกษาครั้งนี้

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบ ค่า 1/n ที่บ่งบอกถึงความแรงของการดูดซับของความเป็นพื้นผิวหลายชั้น พบว่าค่าจากการทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 4 ชนิดด้วยถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราให้แนวโน้มค่าความเป็นพื้นผิวแบบหลายชั้นน้อยกว่าตัวดูดซับชนิดอื่นๆ ในสารทุกชนิด ยกเว้นการทดลองการดูดซับ o-xylene ด้วยสารดูดซับชนิด CoAlPO₄-5 molecular sieves (Liu et al., 2004) อันเนื่องมาจากสาเหตุของปัจจัยของความเข้มข้นและสภาวะของสารที่ใช้ในการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ค่าความแรงของการดูดซับของความเป็นพื้นผิวหลายชั้นที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ น้อยกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาการดูดซับด้วยวัสดุอื่นๆ ส่วนทางด้านผลจากการทดลองด้วยสารดูดซับชนิด CoAlPO₄-5 molecular sieves อาจเนื่องมาจากสารดูดซับชนิด CoAlPO₄-5 molecular sieves มีคุณสมบัติเป็นสารดูดซับที่มีขั้วอย่างอ่อน ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างโมเลกุลมีขั้วอย่างอ่อนของ o-xylene (Liu et al., 2004) จึงส่งผลให้ค่า 1/n ที่ได้จากการทดลองดังกล่าว มากกว่าการศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราในการศึกษาครั้งนี้

2. ส่วนการทดสอบการใช้งานของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube

2.1 การศึกษาชนิดและปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในห้องฟันท้องโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์

การศึกษากการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราแห่งหนึ่งในอำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างในห้องฟันท้องโรงงานเป็นเวลา 30 นาที ด้วยชุดเก็บตัวอย่างแบบ active sampler ใช้หลอดแก้วที่บรรจุตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่สนใจ และนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS ได้ผลดังนี้

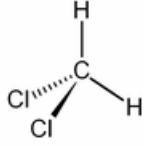
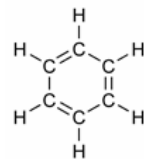
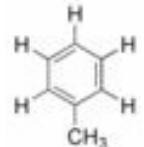
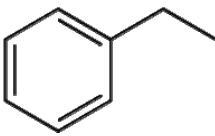
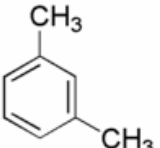
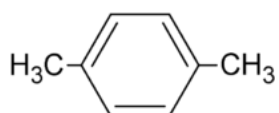
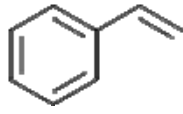
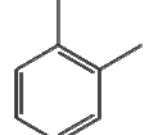
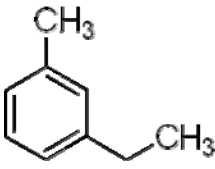
2.1.1 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย

การระบุชนิดสารที่ตรวจพบทำโดยเปรียบเทียบค่า retention time และค่า m/z ของสารแต่ละชนิดจากสารละลายมาตรฐาน VOCs Japanese 52 component indoor air (ภาคผนวก จ) พบว่าสามารถระบุชนิดสารอินทรีย์ระเหย 21 ได้ชนิด ได้แก่ methylene chloride, benzene, toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene, styrene, o-xylene, 3-ethyltoluene, 4-ethyltoluene, 1,3,5-trimethylbenzene, 2-ethyltoluene, decane, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,2,3-trimethylbenzene, n-undecane, 1,2,4,5-tetramethylbenzene, dodecane, decanal, tetradecane และ pentadecane โดยสามารถจำแนกประเภทสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบทั้ง 21 ชนิด ได้ตามโครงสร้างโมเลกุล (แสดงดังตารางที่ 9) ดังนี้

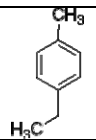
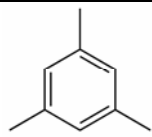
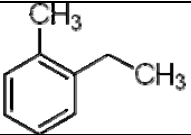

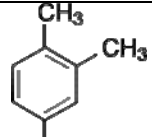
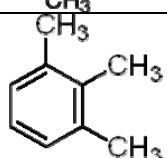

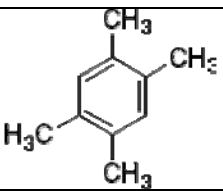




ก) อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)

กลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนเป็นโครงสร้างหลัก 14 ชนิด ได้แก่ benzene, toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene, styrene, o-xylene, 3-ethyltoluene, 4-ethyltoluene, 1,3,5-trimethylbenzene, 2-ethyltoluene, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,2,3-trimethylbenzene และ 1,2,4,5-tetramethylbenzene

ตารางที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 21 ชนิดที่ตรวจพบ

สารอินทรีย์ระเหย	C_xH_x	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	โครงสร้างโมเลกุล
Methylene Chloride (Dichloromethane)	CH_2Cl_2	84.93	
Benzene	C_6H_6	78.11	
Toluene	C_7H_8	92.14	
Ethylbenzene	C_8H_{10}	106.17	
m-Xylene	C_8H_{10}	106.16	
p-Xylene	C_8H_{10}	106.16	
Styrene	C_8H_8	104.15	
o-Xylene	C_8H_{10}	106.16	
3-Ethyltoluene	C_9H_{12}	120.19	

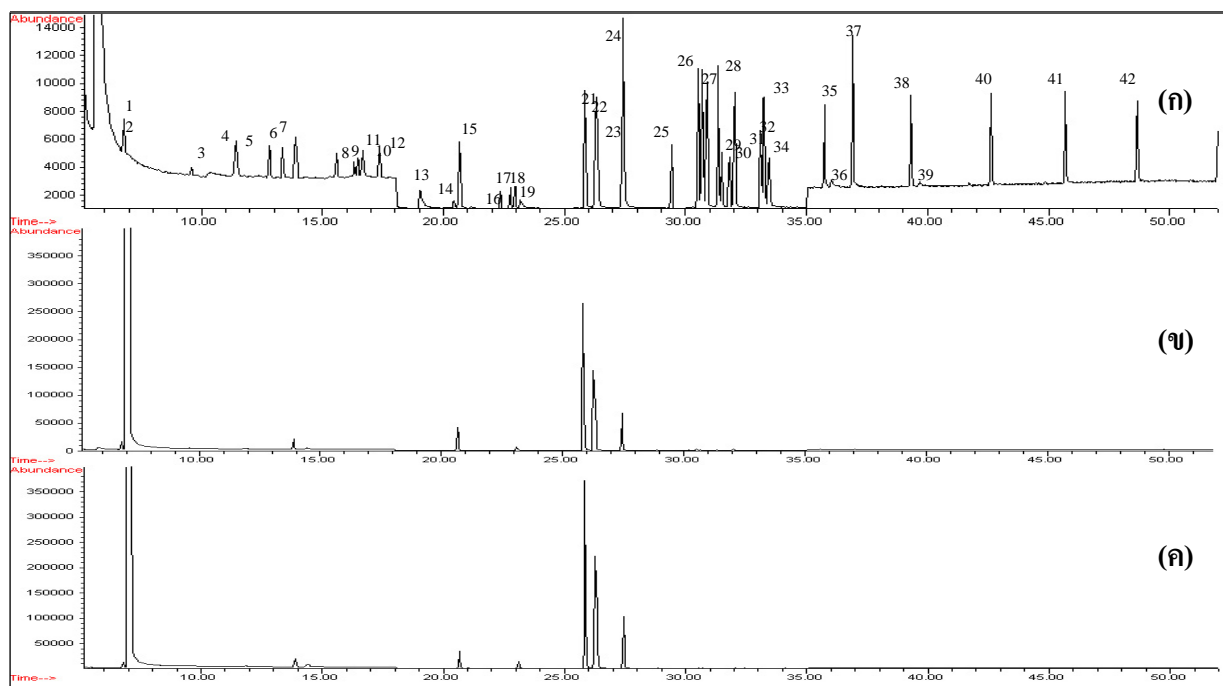
ตารางที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 21 ชนิดที่ตรวจพบ (ต่อ)

สารอินทรีย์ระเหย	C_xH_x	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	โครงสร้างโมเลกุล
4-Ethyltoluene	C_9H_{12}	120.19	
1,3,5-Trimethylbenzene	C_9H_{12}	120.19	
2-Ethyltoluene	C_9H_{12}	120.19	
Decane	$C_{10}H_{22}$	142.29	
1,2,4-Trimethylbenzene	C_9H_{12}	120.19	
1,2,3-Trimethylbenzene	C_9H_{12}	120.19	
n-Undecane	$C_{11}H_{24}$	156.31	
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	$C_{10}H_{14}$	134.22	
Dodecane	$C_{12}H_{26}$	170.34	
Decanal	$C_{10}H_{20}O$	156.2	
Tetradecane	$C_{14}H_{30}$	198.39	
Pentadecane	$C_{15}H_{32}$	212.42	

ข) อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon)

กลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายโซ่เปิด 7 ชนิด ได้แก่ methylene chloride, decane, n-undecane, dodecane, decanal, tetradecane และ pentadecane จากข้อมูลของ Colorado Department of Public Health and Environment (2006) กล่าวว่าโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ปลดปล่อยมลพิษประเภทสารอินทรีย์ระเหยออกมาจากกระบวนการผลิตขั้นต่างๆ โดยชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่สำคัญได้แก่ xylene และ toluene จากกระบวนการเคลือบเลคเกอร์ นอกจากนี้ยังอาจพบสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่นที่สามารถปลดปล่อยจากกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น กระบวนการอบแห้งไม้ยางพารา การพ่นสเปรย์เคลือบทับเฟอร์นิเจอร์ การอบเฟอร์นิเจอร์ให้แห้ง และจากถังบรรจุสารที่ถูกเปิดทิ้งไว้ (Industrial technology development institute, 2005) จากภาพที่ 20 GC/MS โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐาน VOCs Japanese 52 component indoor air เปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ระเหยที่ทำการเก็บตัวอย่างในห้องพ่นด้วยผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube และผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube ที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อ้างอิง พบชนิดของสารอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด คือ toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene และ o-xylene ในความเข้มข้นที่สูง ทั้งในการทดสอบด้วยผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube และผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube จากการศึกษาผลกระทบของสารเคลือบเงาในการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยของ Lee et al. (2003) ทำให้ระบุได้ว่าสาร toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene และ o-xylene ทั้ง 5 ชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ระเหยหลักที่เกิดการปลดปล่อยจากสารเคลือบเงาเฟอร์นิเจอร์ โดย Papisavva et al. (2001) ได้ระบุว่า toluene, ethylbenzene และ xylene เป็นสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยจากตัวทำละลายของสารทาร์รองพื้น นอกจากนี้ ethylbenzene และ xylene ยังเป็นสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยจากตัวทำละลายของสารเคลือบเฟอร์นิเจอร์อีกด้วย

สำหรับสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่นที่พบบนนั้น ฐานข้อมูลโรคที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและสารเคมีของ Brown (2008), American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH] (2008), National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH] (1998), 4Occupational Safety and Health Administration [OSHA] (2008) และ 5World Health Organization [WHO] (2006) ได้กล่าวไว้ว่า methylene chloride เป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้โดยทั่วไป เนื่องจากเป็นหนึ่งในสารประกอบคลอรีนที่มีความเป็นอันตรายน้อยและมีความสามารถในการละลายสารอินทรีย์ได้หลายชนิดเป็นอย่างดี จึงนิยมใช้ในกระบวนการทางเคมีของอุตสาหกรรมโดยทั่วไปรวมทั้งในอุตสาหกรรมสี benzene เป็นสารละลายที่สำคัญในอุตสาหกรรม



1. methylene chloride	propane	22. p-xylene	benzene
2. 2-butanone	13. bromodichloro	23. styrene	34. 1,2,3 trimethyl
3. chloroform	methane	24. o-xylene	benzene
4. 2,4dimethyl pentane	14. 4-methyl- 2-pentanone	25. Alpha-pinene	35. limonene
5. 1,1,1 trichloro ethane	15. toluened-8 (internal standard)	27. 4-ethyltoluene	37. 1,2,4,5 tetramethyl benzene
6. 1,2-dichloroethane	16. toluene	benzene	38. dodecane
7. benzene	17. n-octane	29. 2-ethyltoluene	39. decanal
8. carbontetrachloride	18. dibromochloro	30. Beta -pinene	40. tridecane
9. iso-octane	methane	31. decane	41. tetradecane
10. n-heptane	19. tetrachloroethen	32. 1,2,4trimethyl	42. pentadeca
11. trichloroethene	20. ethylbenzene	benzene	
12. 1,2 dichloro	21. m-xylene	33. 1,4dichloro	

ภาพที่ 20 GC/MS โครมาโทแกรมของ (ก) สารละลายมาตรฐาน VOCs Japanese 52 component indoor air ที่ความเข้มข้น 5,000 นาโนกรัม/มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับ (ข) สารอินทรีย์ระเหยที่ทำการเก็บตัวอย่างในห้องพ่นด้วยผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube และ (ค) สารอินทรีย์ระเหยที่ทำการเก็บตัวอย่างในห้องพ่นด้วยผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube

ชนิดหนึ่ง แม้ปัจจุบันจะนิยมใช้ toluene แทน เนื่องจากมีความเป็นพิษน้อยกว่าแต่มีคุณสมบัติในการละลายเทียบเท่า benzene แต่ปัจจุบันยังมีการใช้ benzene ปริมาณน้อยในการผลิตยาง สารปราบศัตรูพืช สารหล่อลื่น สารทำความสะอาด ระเบิด ยา และสี 1,2,4-trimethylbenzene เป็นสารมาเชื้อในอุตสาหกรรมสี น้ำหอมและเรซิน รวมทั้งเป็นสารปรุงแต่งหลักในการผลิตก๊าซโซลีน dodecane ใช้เป็นตัวทำละลายในสารอินทรีย์ต่างๆ รวมถึงเป็นส่วนประกอบของน้ำมันดีเซล decanal เป็นสารประกอบ aldehyde ใช้ปรุงแต่งให้เกิดกลิ่นและรสชาติ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการกลิ่น decane เป็นหนึ่งในส่วนประกอบของก๊าซโซลีนและเป็นตัวทำละลายที่ไม่ละลายน้ำ tetradecane ใช้เป็นสารตัวกลางในปฏิกิริยาเคมีและสารทำละลายในหมึกพิมพ์และสารกำจัดไขมัน pentadecane เป็นสารทำละลายสำหรับหมึกและสารกำจัดไขมันและเป็นสารตัวกลางสำหรับการสังเคราะห์ทางเคมี 1,2,4,5-tetramethylbenzene (durene) ใช้เป็นสารละลายในอุตสาหกรรมพลาสติก กาวและสารเคลือบผิว styrene ใช้เป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์ยาง พลาสติกและกาวลาเท็กซ์ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง พลาสติก ฉนวนกันความร้อน ไฟเบอร์กลาส ท่อ รถยนต์ เรือ และบรรจุภัณฑ์อาหาร

นอกจากนี้ยังมีการรายงานจากสาวิตรี (2548) ว่ามีการตรวจพบ 1,2,3-trimethylbenzene ในบริเวณที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งมาจากการใช้สีและสารทำละลายในการประกอบอาชีพในบ้านเป็นหลัก 1,3,5 trimethylbenzene พบในเขตถนนสุขุมวิทแห่งเดียวเนื่องจากมาจากการใช้สีในการประกอบอาชีพ รวมทั้งยังพบ 4-ethyltoluene, 3-ethyltoluene และ 2-ethyltoluene ในปริมาณน้อยในพื้นที่ภายในอาคารที่พักอาศัยในทุกเขตพื้นที่ในกรุงเทพฯ เนื่องจากไม่มีกิจกรรมเกี่ยวกับสีและสารทำละลาย

จากการสำรวจของ The U.S. Environmental Protection Agency [US EPA] (2007) ในการสำรวจหาสารอินทรีย์ระเหยหลักในอาคาร 100 แห่ง เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์และประเมินสารอินทรีย์ระเหยภายในอาคาร พบว่า n-undecane, benzene, toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene, n-undecane, o-xylene, 1,2,4-trimethylbenzene และ 1,3,5-trimethylbenzene เป็นสารอินทรีย์ระเหยที่สามารถตรวจพบได้ร้อยละ 100 ในทุกความถี่ของการตรวจวัดในอาคารทั้ง 100 แห่งที่ทำการศึกษา รวมถึงตรวจพบ 14styrene, 4-ethyltoluene, 1,3,5-trimethylbenzene และ 17methylene chloride ได้ร้อยละ 75-99 ในทุกความถี่ของการตรวจวัดในอาคารทั้ง 100 แห่งที่ทำการศึกษา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสารอินทรีย์ระเหยที่กล่าวมา สามารถตรวจ

พบได้ทั่วไปในสถานที่ภายในอาคารต่างๆ ซึ่งเป็นสารที่ผสมอยู่ในสารละลายของตัวทำละลาย สี สารเคลือบ และสารเคมีต่างๆ ซึ่งเป็นสารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์

2.1.2 ปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย

จากผลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบ สามารถแบ่งกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นในอากาศสูงตั้งแต่ 29.000 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรขึ้นไป และกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นในอากาศต่ำตั้งแต่ 0.005 – 29.000 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตารางที่ 10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยภายในห้องฟ้นโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราที่ตรวจวัดด้วย active gas tube ที่สนใจ กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นในอากาศสูง ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด ได้แก่ toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene และ o-xylene ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหยที่เป็นส่วนประกอบหลักของตัวทำละลายในสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสีและสารเคลือบ (Lee et al., 2003) โดย ethylbenzene เป็นสารอินทรีย์ระเหยที่พบในปริมาณสูงสุดจากการตรวจวัดด้วยผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิด ทั้งผลิตภัณฑ์ต้นแบบชนิด active gas tube ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นในอากาศได้ที่ 102.028 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube ที่ 167.213 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เนื่องจาก ethylbenzene เป็นสารหลักที่ถูกใช้ในการผลิตตัวทำละลายเพื่อใช้ในการผสมสารต่างๆ ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ (Papasavva et al., 2001) จึงถูกตรวจพบในปริมาณที่สูงที่สุด ทางด้านกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นในอากาศต่ำ ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหย 16 ชนิด ได้แก่ methylene chloride, benzene, styrene, 3-ethyltoluene, 4-ethyltoluene, 1,3,5 trimethylbenzene, 2-ethyltoluene, decane, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,2,3-trimethylbenzene, n-undecane, 1,2,4,5-tetramethylbenzene, dodecane, decanal, tetradecanec และ pentadecane ซึ่งอาจเกิดจากการปลดปล่อยจากส่วนผสมเฉพาะทางการค้าของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยภายในห้องปน โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้
 ยางพาราโดยใช้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube และ ผลิตภัณฑ์เกรดการค้า active
 gas tube เป็นตัวดูดซับ

ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย	ผลิตภัณฑ์การค้า ST-CN 870 (ตัวดูดซับผลิตจากกะลามะพร้าว) (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
Methylene chloride	7.055 ±2.076
Benzene	1.637 ±1.554
Toluene	47.124 ±5.674
Ethylbenzene	167.213 ±95.584
m-Xylene	54.064 ±22.752
p-Xylene	72.971 ±53.932
Styrene	0.597 ±0.202
o-Xylene	55.663 ±32.749
3-Ethyltoluene	1.327 ±0.574
4-Ethyltoluene	0.672 ±0.301
1,3,5-Trimethylbenzene	0.355 ±0.146
2-Ethyltoluene	0.313 ±0.175
Decane	0.313 ±0.168
1,2,4-Trimethylbenzene	0.720 ±0.157
1,2,3-Trimethylbenzene	0.141 ±0.095
n-Undecane	0.376 ±0.146
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.164 ±0.059
Dodecane	0.088 ±0.046
Decanal	0.012 ±0.009
Tetradecane	0.049 ±0.036
Pentadecane	0.055 ±0.029

(ก) มาตรฐานปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน กระทั่ง
อุตสาหกรรม

จากการกำหนดค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยตามประกาศกระทรวง
อุตสาหกรรมเรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานพ.ศ. 2549
ข้อ 3 ว่าด้วยอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารเจือปนแต่ละชนิดไม่เกินที่
กำหนดไว้ (ภาคผนวก ข) ไม่ได้ครอบคลุมสารอินทรีย์ระเหยทุกชนิด จากชนิดของสาร
ทั้งหมดที่ตรวจพบมีเพียง xylene เท่านั้น ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 200 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งจากผลการ
ทดลองที่ทำการเก็บตัวอย่างภายในห้องพ่นในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์พบว่าค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่า
มาตรฐานที่กำหนดในสารประกอบ xylene ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ m-xylene, p-xylene และ o-xylene ทั้ง
ในผลิตภัณฑ์ต้นแบบและผลิตภัณฑ์ทางการค้า active gas tube

(ข) มาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ของ
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยใน
บรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ภาคผนวก ข) โดยไม่ได้
ครอบคลุมสารอินทรีย์ระเหยทุกชนิด จากชนิดของสารทั้งหมด 21 สารที่ตรวจพบมีเพียง benzene
และ methylene chloride (dichloromethane) เท่านั้นที่มีการกำหนดค่ามาตรฐานในบรรยากาศทั่วไป
ไว้ที่ต้องไม่เกิน 1.7 และ 22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ จากการเปรียบเทียบค่าความ
เข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยทั้งสองชนิดกับค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในบรรยากาศพบว่า
benzene และ methylene chloride ที่ตรวจพบในห้องพ่นของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์มีค่าเกิน
มาตรฐานของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดไว้ แต่เนื่องจากการตรวจวัดสารอินทรีย์
ระเหยง่ายในครั้งนี้นำการตรวจวัดที่กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีการแตกต่างจาก
ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน (ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ด้วย canister วิธีมาตรฐาน US EPA
TO-14A และ TO-15) ค่ามาตรฐานดังกล่าวจึงไม่สามารถใช้เปรียบเทียบได้

ตารางที่ 11 ค่ามาตรฐานสากลขององค์กรต่างๆของสารอินทรีย์ระเหยที่อนุญาตให้มีในบรรยากาศ
เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเก็บตัวอย่าง

ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย	หน่วยงาน	ปริมาณความเข้มข้น มาตรฐาน	ผลิตภัณฑ์การค้า ST-CN 870
Benzene	ACGIH	2.5 ppm (STEL)	0.818 ppm
	NIOSH	1 ppm (STEL)	0.818 ppm
	OSHA	5 ppm (STEL)	0.818 ppm
Toluene	NIOSH	150 ppm (STEL)	23.562 ppm
Ethylbenzene	ACGIH	125 ppm (STEL)	83.607 ppm
	NIOSH	125 ppm (STEL)	83.607 ppm
m-Xylene	ACGIH	150 ppm (STEL)	27.032 ppm
	NIOSH	150 ppm (STEL)	27.032 ppm
p-Xylene	ACGIH	150 ppm (STEL)	36.486 ppm
	NIOSH	150 ppm (STEL)	36.486 ppm
o-Xylene	ACGIH	150 ppm (STEL)	27.831 ppm
	NIOSH	150 ppm (STEL)	27.831 ppm

หมายเหตุ 1. STEL = Short Term Exposure Limit (15 นาที)

2. ค่าปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ระยะเวลา 15 นาที เปรียบเทียบจากปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 30 นาที

(ค) มาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศที่อนุญาตให้มีได้ในสถานที่ทำงานขององค์กรสากลต่างๆ

จากการรวบรวมค่ามาตรฐานที่อนุญาตให้มีสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศในสถานที่ทำงานของหน่วยงานสากลต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้ 18 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), National Institute for Occupational Safety and

Health (NIOSH) และ The US Occupational Safety and Health Administration (OSHA) พบว่ามี การกำหนดค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยไว้มากชนิดจึงได้รวบรวมและทำการเปรียบเทียบกับชนิด และปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจวัดได้จาก การเก็บตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 11

เมื่อนำผลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในห้องปนจากการเก็บตัวอย่าง ด้วยระยะเวลา 30 นาทีที่ได้ มาทำการคำนวณเปรียบเทียบค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยใน บรรยากาศที่อนุญาตให้มีได้ในสถานที่ทำงาน ตามระยะเวลาที่กำหนดการรับสัมผัสสารที่ชั่วโมง ทำงานระยะสั้น (Short Term Exposure Limit; STEL) ที่ 15 นาที พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ ตรวจพบมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานการรับสัมผัสสารที่ชั่วโมงทำงานระยะสั้นในสารทุกชนิด จากการ สืบหาข้อมูลชั่วโมงการทำงานจริงของพนักงานที่ทำงานภายในห้องปนของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ ดังกล่าว พบว่าพนักงานจะทำงานที่ระยะเวลา 30 นาทีต่อหนึ่งสายงานการผลิต แล้วหยุดพักเพื่อรอ สายงานการผลิตใหม่ที่จะส่งเข้ามาในห้องปนประมาณ 10-15 นาที ซึ่งจากการรวบรวมค่ามาตรฐาน ต่างๆ ยังไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานที่ระยะเวลา 30 นาทีไว้ จึงแนะนำให้มีการผลิตเปลี่ยนหรือ หยุดพักการทำงานในช่วงระยะเวลา 15 นาที ดังกล่าว

2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube กับ ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราใน ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube กับ ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube โดยการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องปนของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเพื่อศึกษา ปริมาณการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยแล้วนำมาทำการคำนวณด้วยวิธีทางสถิติ t-test (แสดงดังตาราง ที่ 12) พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราใน ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ให้ค่าการดูดซับ ไม่แตกต่างกันกับประสิทธิภาพการดูดซับของ ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube ที่ใช้เป็นตัวดูดซับอ้างอิงที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในสารอินทรีย์ระเหย 20 ชนิด ได้แก่ benzene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene, styrene, o-xylene, decane, dodecane, decanal methylene chloride, toluene, 3-ethyltoluene, 4-ethyltoluene, 1,3,5-trimethylbenzene, 2-ethyltoluene, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,2,3-trimethylbenzene, n-undecane, tetradecane และ pentadecane และให้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับ

ตารางที่ 12 การทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยภายในห้องพ่น
โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราระหว่างใช้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube และ
ใช้ผลิตภัณฑ์เกรดการค้า active gas tube เป็นตัวดูดซับ

ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย	ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ผลิตภัณฑ์การค้า (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	T-test
Methylene chloride	8.131 ±2.352	7.055 ±2.076	0.594 *
Benzene	1.439 ±0.948	1.637 ±1.554	-0.243 *
Toluene	47.988 ±9.598	47.124 ±5.674	0.134 *
Ethylbenzene	102.028 ±56.142	167.213 ±95.584	-1.019 *
m-Xylene	29.529 ±10.524	54.064 ±22.752	-1.695 *
p-Xylene	44.857 ±23.001	72.971 ±53.932	-0.831 *
Styrene	0.285 ±0.208	0.597 ±0.202	-1.864 *
o-Xylene	33.999 ±13.002	55.663 ±32.749	-1.065 *
3-Ethyltoluene	1.719 ±0.752	1.327 ±0.574	0.718 *
4-Ethyltoluene	0.860 ±0.333	0.672 ±0.301	0.726 *
1,3,5-Trimethylbenzene	0.405 ±0.254	0.355 ±0.146	0.299 *
2-Ethyltoluene	0.524 ±0.193	0.313 ±0.175	1.401 *
Decane	0.264 ±0.173	0.313 ±0.168	-0.354 *
1,2,4-Trimethylbenzene	1.475 ±0.168	0.720 ±0.157	5.685 **
1,2,3-Trimethylbenzene	0.367 ±0.205	0.141 ±0.095	1.727 *
n-Undecane	0.459 ±0.211	0.376 ±0.146	0.558 *
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.255 ±0.099	0.164 ±0.059	1.363 *
Dodecane	0.059 ±0.032	0.088 ±0.046	-0.907 *
Decanal	0.005 ±0.005	0.012 ±0.009	-1.121 *
Tetradecane	0.057 ±0.017	0.049 ±0.036	0.348 *
Pentadecane	0.205 ±0.102	0.055 ±0.029	2.461 *

หมายเหตุ * ค่าความแตกต่างอยู่ในเขตการยอมรับที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** ค่าความแตกต่างอยู่ในเขตการยอมรับที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 75

ของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ดีกว่าการดูดซับของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube ที่ใช้เป็นตัวดูดซับอ้างอิงที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 75 ในสารอินทรีย์ระเหย 1,2,4,5-tetramethylbenzene สอดคล้องกับผลการทดลองการวิเคราะห์ค่าการดูดซับ ไอ โอดีน ค่าปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าปริมาณรูพรุนและเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของตัวดูดซับทั้งสองชนิดที่ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราให้ค่าปัจจัยต่างๆ สูงกว่า ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์การค้า

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยเทียบเท่าในระดับที่ยอมรับได้กับตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube ชนิดถ่านกัมมันต์ Hygitest รุ่น ST-CN 870 ที่ใช้เป็นตัวดูดซับอ้างอิง ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในอากาศได้

2.3 การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายของตัวดูดซับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับชนิด active gas tube ทั้งสองประเภท พบว่า ผลิตรัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ราคาถูกกว่า ผลิตรัณฑ์เกรดการค้า active gas tube (Hygitest:ST-CN 870) 46.7 บาท รายละเอียดค่าใช้จ่ายแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับชนิด active gas tube

รายละเอียดค่าใช้จ่าย	ราคา
ค่าใช้จ่ายในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพารา ชุดการทดลอง ๑ เเผาที่อุณหภูมิ 450 °C ,120 นาที ประกอบด้วย สารเคมี น้ำกลั่น และค่าไฟฟ้า	2,020 บาท/กิโลกรัม หรือเท่ากับ 3.03 บาท/150 มิลลิกรัม ต่อหลอด active gas tube จำนวน 1 หลอด
ค่าจ้างประกอบอุปกรณ์หลอดแก้ว active gas tube จำนวน 1 หลอด ประกอบด้วย หลอดแก้ว polyurethane foam และ สำลึที่บรรจุอยู่ภายใน	100 บาท
ผลิตรัณฑ์ต้นแบบ active gas tube จำนวน 1 หลอด	103.3 บาท
ผลิตรัณฑ์เกรดการค้า active gas tube จาก Hygitest:ST-CN 870 จำนวน 1 หลอด	150 บาท

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

พัฒนาตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเพื่อใช้ในการศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

1. การผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพารา

โดยนำเศษไม้ยางพาราเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตมาทำการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 1:2 และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ 450 และ 550 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาในการเผาที่ 60 90 และ 120 นาที เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพารา

2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราที่ผลิตได้

ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 786.71 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 1,635.65 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ เมื่อศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็ก แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เสถียรภาพ เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาทดสอบเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าพื้นที่ผิวสัมผัสกับตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ST-CN 870 ที่ใช้สำหรับการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในการศึกษามลพิษทางอากาศพบว่าค่าจากการวิเคราะห์ของตัวดูดซับชนิด ถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพารามีค่าสูงกว่า

3. ทดสอบดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในห้องทดลอง

ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยทำการทดลองทั้งในห้องทดลองตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราด้วยชุดการทดลองที่ดีที่สุดที่ผลิตได้ด้วยสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิดหลักในอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์คือ toluene, ethylbenzene, p-xylene และ o-xylene โดยใช้เป็นสารอินทรีย์ระเหยหลักในการศึกษาครั้งนี้ ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับพบว่าสามารถอธิบายพฤติกรรมดูดซับของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราได้ดีด้วยสมมติฐานตามสมการการดูดซับฟรุนดลิชซึ่งเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น

4. การศึกษาชนิดและปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในห้องฟันทโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์

ทำการศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราที่ผลิตได้ในโรงงาน สามารถตรวจพบสารอินทรีย์ระเหย 21 ชนิดจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ได้แก่ methylene chloride, benzene, toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene, styrene, o-xylene, 3-ethyltoluene, 4-ethyltoluene, 1,3,5-trimethylbenzene, 2-ethyltoluene, decane, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,2,3-trimethylbenzene, n-undecane, 1,2,4,5-tetramethylbenzene, dodecane, decanal, tetradecane และ pentadecane

จากผลการศึกษาสามารถแบ่งกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นในอากาศสูงตั้งแต่ 29.000 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรขึ้นไป ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด ได้แก่ toluene, ethylbenzene, m-xylene, p-xylene และ o-xylene กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นในอากาศต่ำตั้งแต่ 0.005 – 29.000 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหย 16 ชนิด ได้แก่ methylene chloride, benzene, styrene, 3-ethyltoluene, 4-ethyltoluene, 1,3,5-trimethylbenzene, 2-ethyltoluene, decane, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,2,3-trimethylbenzene, n-undecane, 1,2,4,5-tetramethylbenzene, dodecane, decanal, tetradecane และ pentadecane

5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube กับ ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ในผลิตภัณฑ์การค้า active gas tube

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพารา เปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ t-test กับตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ ST-CN 870 พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในสารอินทรีย์ระเหยง่ายเกือบทุกชนิด จึงสรุปได้ว่าตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราสามารถใช้ดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในการศึกษามลพิษทางอากาศได้ในสถานที่จริง

ข้อเสนอแนะ

1. ลดราคาการประกอบหลอดแก้ว เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ active gas tube ที่ผลิตได้มีราคาถูกลง โดยอาจใช้หลอดแก้วที่เกรดปานกลางเพื่อลดต้นทุนการผลิต
2. ทำการเปลี่ยนตัวแปรทางการทดลองต่างๆ เพื่อผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราให้ได้ตัวดูดซับที่มีต้นทุนถูกที่สุดแต่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าตัวดูดซับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า
 - 2.1 ทดลองผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกให้อยู่ในช่วงร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนัก เพื่อลดปริมาณกรดฟอสฟอริกที่ใช้และลดขั้นตอนหรือเวลาในการล้างสารตกค้าง
 - 2.2 ทดลองผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราจากเศษไม้ยางพาราที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 0.5-2 มิลลิเมตร เพื่อลดขั้นตอนในการแปรสภาพไม้จากเศษไม้เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา
3. ทำการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราด้วยเศษไม้ที่ทำกรแยกประเภทที่เล็ดยหรือชิ้น ไม้ เพื่อศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2544. ปัญหาสารพิษในสิ่งแวดล้อม. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ
- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2547. รายงานการศึกษาเบื้องต้น ความเป็นไปได้ในการจัดตั้งเขตการค้าเสรีไทย – สหรัฐอเมริกา. กระทรวงพาณิชย์, กรุงเทพฯ
- กรมส่งเสริมการส่งออก. 2546. ภาวะอุตสาหกรรมปี 2546 และแนวโน้มปี 2547 อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง. กระทรวงพาณิชย์, กรุงเทพฯ
- กรรชิต คุณาวุฒิ. 2544. โรคพิษเบ็นซีนในคู่มือการวินิจฉัยและการเฝ้าระวังโรคจากการประกอบอาชีพ. กองอาชีวอนามัย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ
- ชฎาภา ชยามานนท์. 2547. การผลิตและศึกษาสารดูดซับจากโซลเจลสำหรับการดูดซับสารอินทรีย์ระเหย (VOCs). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชนากานต์ ป็องกัน. 2540. การวิเคราะห์ความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบในการผลิตและการส่งออกเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราและชิ้นส่วนของไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีระชัย จันทรเสนา. 2528. การผลิตถ่านและคุณภาพของถ่านจากป่าไม้ป่าชายเลนโดยใช้เตาอิฐขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นที ชูทองรัตน์. 2548. การปรับตัวของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเพื่อการส่งออกของไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปาริฉัตร สาน้อย. 2545. การวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราไทยในญี่ปุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พีระ ชนะชัย. 2548. การศึกษาการดูดซับของแก๊สที่อุณหภูมิคงที่และอัตราการคายตัวของแก๊สบนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พืชวิทยาสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ

สมเกียรติ ศิริรัตนพฤษย์. 2544. ความเสี่ยงทางสุขภาพในอาชีพพนักงานบริการที่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (ปั้มน้ำมัน) เทคโนโลยีควบคุมและป้องกันมลพิษจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง. สำนักอนามัยกระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ

สาวิตรี พูลมา. 2548. การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยจากสิ่งแวดล้อมของผู้พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. 2540. รายงานการประชุมคณะที่ปรึกษาโครงการช่วยเหลือเร่งรัดการปลูกแทนยาง ครั้งที่ 7 วันที่ 8-18 เมษายน 2530. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. 2548. โครงสร้างของเปลือกยางและท่อน้ำยาง. ที่มา http://www.rubber.co.th/knowledge_1b.html, 1 เมษายน 2551.

สุโรชนี สกุลดวงดี. 2545. การเตรียมถ่านกัมมันต์และการทดสอบความชอบในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ในการกระตุ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อังคณา โพธิ์เจริญโยธิน. 2548. การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำป่อดื่มในพื้นที่ชนบทของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abe, I., T. Fukuhara, S. Iwasaki, K. Yasuda, K. Nakagawa, Y. Iwata, H. Kominami and Y. Kera. 2001. Development of a high density carbonaceous adsorbent from compressed wood *Carbon*. 39:1485-1490.

- Akhtar, M., S. M. Hasany, M.I. Bhangar and S. Iqbal. 2006. Sorption potential of Moringa oleifera pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**. 141: 546-556.
- Amagai, T., T. Ohuru, and T. Sugiyama. 2002. Gas chromatographic/mass spectrometric determination of benzene and its alkyl derivatives in indoor and outdoor air in Fuji, Japan. **Journal of AOAC International**. 85:203-211.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2008. **Haz-Map Occupational Exposure to Hazardous Agents**. Available Source: <http://hazmap.nlm.nih.gov/>, April 1, 2008.
- Arriagada, R., G. Bello, R. García, F. Rodríguez-Reinoso and A. Sepúlveda-Escribano. 2005. Carbon molecular sieves from hardwood carbon pellets. The influence of carbonization temperature in gas separation properties. **Microporous and Mesoporous Materials**. 81:161-167.
- Baileys, R. T., and P. R. Blankenhorn. 1982. Calorific and porosity development in carbonized wood. **Wood Sci**. 15:19-27.
- Brown, J. A. 2008. **Haz-Map: Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases**. Available Source: <http://hazmap.nlm.nih.gov/>, April 1, 2008.
- Budinova, T., E. Ekinici, F. Yardim, A. Grimm, E. Björnbom, V. Minkova and M. Goranova. 2006. Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation. **Fuel Processing Technology**. 87:899-905.
- Colorado Department of Public Health and Environment. 2006. **Wood furniture manufactures national emission standards for hazardous air pollutants area sources**. Available Source: <http://www.cdphe.state.co.us/ap/down/Woodfurn.PDF>, July 1, 2007.

Dolidovich, AF., GS. Akhremkove and VS. Efremtsev. 1999. Novel technologies of VOC decontamination in fixed, moving and fluidized catalyst-adsorbent bed. **Canadian Journal of Chemical Engineering**. 2:42-55.

Environmental Protection Agency. 2007. **Building Assessment Survey and evaluation (BASE) Study: Volatile Organic Compounds Master List**. Available Source: http://www.epa.gov/iaq/base/voc_master_list.html, July 1, 2007.

Environmental Protection Agency. 2007. **Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants**. Available Source: <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>, July 1, 2007.

Faust, S.D. and O.M. Aly. 1987. **Adsorption process for water treatment**. Butterworth Publ., Boston. 509p.

Ghiaci, M., A. Abbaspur, R. Kia, and F. Seyedeyn-Azad. 2004. Equilibrium isotherm studies for the sorption of benzene, toluene, and phenol onto organo-zeolites and as-synthesized MCM-41. **Separation and Purification Technology**. 40:217-229.

Guo, Y. and A. Rockstraw. 2006. Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation. **Microporous and Mesoporous Materials**. 100:12-19.

Haghseresht, F. and G.Q. Lu. 1998. Adsorption characteristics of phenolic compounds onto coal-reject-derived adsorbents. **Energy Fuels**. 12:1100-1177.

Hameed, B.H., A.L. Ahmad and K.N.A. Latiff. 2007. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. **Dyes and Pigments**. 75:143-149.

- Hameed, B.H. and F.B.M. Daud. 2008. Adsorption studies of basic dye on activated carbon derived from agricultural waste: Hevea brasiliensis seed coat. **Chemical Engineering**. 139:48-55.
- Hameed, B.H., L.H. Chin and S. Rengaraj. 2008. Adsorption of 4-chlorophenol onto activated carbon prepared from rattan sawdust. **Desalination**. 225:185-198.
- Harper, M. 2000. Sorbent trapping of volatile organic compounds from air. **Journal of chromatography**. 885:129-151.
- Hester, R.E. and R.M. Harrison. 1995. Volatile Organic Compounds in Atmosphere. **Chemosphere**. 1:211-221.
- Industrial Technology Development Institute. 2005. **Best Available Technologies / Best Environmental Practices BAT/BEP Industry Guidebooks Wood Furniture Industry Profile**. Available Source: <http://cptech.dost.gov.ph/index.php>, July 1, 2006.
- Jorgensen, R.B. 2007. Sorption of VOCs on material surfaces as the deciding factor when choosing a ventilation strategy. **Building and Environment**. 42:1913-1920.
- Kalavathy, M. H., T. Karthikeyan, S. Rajgopal and L. R. Miranda. 2005. Kinetic and isotherm studies of Cu(II) adsorption onto H₃PO₄-activated rubber wood sawdust. **Journal of Colloid and Interface Science**. 292:354-362.
- Kim, K.J., C.S. Kang, Y.J. You, M.C. Chung, M.W. Woo, W.J. Jeong, N.C. Park and H.G. Ahh. 2006. Adsorption-desorption characteristics of VOCs Over impregnated activated carbons. **Catalysis Today**. 111:223-228.

- Lee, S. C., N. H. Kwok, H. Guo and W. T. Hung. 2003. The effect of wet film thickness on VOC emissions from a finishing varnish. **The Science of The Total Environment**. 302:75-84.
- Lillo-Rodenas, M.A., D. Cazorla-Amoros and A. Linares-Solano. 2005. Behavior of activated carbons with different pore size distributions and surface oxygen groups for benzene and toluene adsorption at low concentrations. **Carbon**. 43:1758-1767.
- Liu, J., M. Dong, Z. Sun, Z. Qin and J. Wang. 2004. Sorption of xylenes in CoAlPO₄-5 molecular sieves. **Colloids and Surfaces**. 247 41-45.
- Mathews, A.P. and I. Zayas. 1989. Particle size and shape effects on adsorption rate parameters. **Journal of Environmental Engineering Division**. 115:41-55.
- McBride, M. B. 1994. **Environmental Chemistry of Soils**. Oxford University. USA.
- National Institute for Occupational Safety and Health (1998), **Master Index of Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards**. Available Source: <http://www.cdc.gov/niosh/chem-inx.html>, July 1, 2006.
- National Institute for Occupational Safety and Health. 1998. **Recommendations for Chemical Protective Clothing**. AvailableSource: <http://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/protclothing/>, July 1, 2006.
- Olansandan, T. Amagai and H. Matsushita. 1999. A passive sampler-GC/ECD method for analyzing 18 volatile organohalogen compounds in indoor and outdoor air and its application to a survey on indoor pollution in Shizuoka, Japan. **Talanta**. 50: 851-863.
- Papasavva, S., S. Kia, J. Claya and R. Gunther. 2001. Characterization of automotive paints: an environmental impact analysis. **Progress in Organic Coatings**. 43:193-206.

- Pastor-Villegas, J., J.F. Pastor-Valle, J.M. Meneses Rodríguez and M. García García. 2006. Study of commercial wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 76:103-108.
- Qian, Q., M. Machida, H. Tatsumoto. 2007. Preparation of activated carbons from cattle-manure compost by zinc chloride activation. **Bioresource Technology**. 98:353-360.
- Ruhl, M. J. 1993. Recover VOCs via adsorption onto activated carbon. **Chem Eng Prog**. 7:37-41.
- Sheng, H. L. and Y. H. Cheng. 1999. Adsorption of BTEX from aqueous solution by macroreticular resins. **Journal of Hazardous Materials**. 70:21-37.
- Srinivasakannan, C. and M.Z.A. Bakar, 2004. Production of activated carbon from rubber wood sawdust. **Biomass and Bioenergy**. 27:89-96.
- Tsai, J. H., H. M. Chiang, G. Y. Huang and H. L. Chiang. 2007. Adsorption characteristics of acetone, chloroform and acetonitrile on sludge-derived adsorbent, commercial granular activated carbon and activated carbon fibers. **Journal of Hazardous Materials**. in press.
- Occupational Safety and Health Administration. 2008. **Safety and Health Topics**. AvailableSource: <http://www.osha.gov/SLTC/index.html> , April 1, 2008.
- Vaajasaari, K., M. Kulovaara, A. Joutti, E. Schultz and K. Soljamo. 2004. Hazardous properties of paint residues from the furniture industry. **Journal of hazardous Materials**. 106A:71-79.
- Weber, W.J. 1972. **Physicochemical processes for water quality control**. John Wiley & Sons. Inc., United States of America. 640p.

World Health Organization. 2006. **Development of WHO Guidelines for Indoor Air**

Quality. Available Source: http://www.euro.who.int/Document/AIQ/IAQ_mtgrep_Bonn_Oct06.pdf, April 1, 2007.

Zaitan, H., D. Bianchi, O. Achak and T. Chafik. 2008. A comparative study of the adsorption and desorption of o-xylene onto bentonite clay and alumina. **Journal of Hazardous Materials**. 153:852-859.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์โดยประมาณของเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบ

การวิเคราะห์โดยประมาณของเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบ

การวิเคราะห์คุณสมบัติโดยประมาณของเศษไม้ยางพาราวัตถุดิบตามวิธี JIS M 8812-1984 โดยวิเคราะห์สารที่แห้งในอากาศแต่รายงานค่าที่ได้เทียบกับน้ำหนักสารที่ไม่มี ความชื้น (dry basis) ยกเว้นค่าความชื้นที่รายงานเทียบน้ำหนักของสารที่แห้งในอากาศ (air dry basis) รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังนี้

1. การหาปริมาณความชื้น (moisture analysis)

ทำการความชื้นโดยใช้เครื่อง Mettler LJ16 Infrared Dryer ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนการชั่งน้ำหนักและส่วนให้ความร้อนแยกจากกัน โดยส่วนชั่งน้ำหนักสามารถชั่งตัวอย่างน้ำหนักได้ตั้งแต่ 0.1-300 กรัม สามารถตั้งช่วงอุณหภูมิได้ในช่วง 50-160 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศาเซลเซียส และสามารถตั้งเวลาในการอบสารตัวอย่างให้แห้งได้ตั้งแต่ 0-240 นาที

วิเคราะห์โดยการบดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 0.246 มิลลิเมตร แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสอากาศอย่างน้อย 10 ชั่วโมง แล้วทำการใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาค่าความชื้นลงในถาดออลูมิเนียม แล้วทำการปิดฝาเครื่อง จากนั้นกดเป็นสักรทำงานให้เครื่องวิเคราะห์หาค่าความชื้นตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ รอจนเครื่องหยุดทำงาน หน้าจอจะแสดงผลค่าความชื้นเป็น %M บันทึกผลที่ได้ก่อนเปิดฝาเครื่อง

2. การหาค่าเถ้า (ash)

บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 0.246 มิลลิเมตร แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสอากาศอย่างน้อย 10 ชั่วโมง จากนั้นเผาจานพอร์ซเลน (porcelain basin) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาที แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งจานพอร์ซเลนและบันทึกน้ำหนักที่คงที่ไว้ (X_0) จากนั้นชั่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้มีน้ำหนักประมาณ 1.0 กรัม ในจานพอร์ซเลน บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่าง รวมทั้งจานพอร์ซเลน (X_1) จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 815 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักคงที่ ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาที แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ หลังจากนั้นค่อยๆ เปิดฝา

เดซิเคเตอร์เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สที่ได้ออกมากระจาย ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังเผา รวมทั้งงานพอร์ซเลน (X_2) ทำการคำนวณค่าแฉา (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ดังนี้

$$\% \text{ Ash} = \frac{X_2 - X_0}{(X_1 - X_0) (1-0.01 M)} \times 100$$

3. การหาค่าสารระเหยที่เผาไหม้ได้ (volatile combustible matter, VCM)

บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 0.246 มิลลิลิตร แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสอากาศอย่างน้อย 10 ชั่วโมง เผาครุชชีเบลพอร์ซเลน (crucible porcelain) ความจุ 15 มิลลิลิตร พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาที แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ตั้งอุณหภูมิของเตาเผาให้เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งครุชชีเบลพร้อมฝาและบันทึกน้ำหนักที่คงที่ไว้ (X_0) ซึ่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้มีน้ำหนักประมาณ 1.0 กรัม ในครุชชีเบล บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างรวมทั้งครุชชีเบลและฝา (X_1) จากนั้นปิดฝาแล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 900±20 องศาเซลเซียส เริ่มจับเวลาจนครบ 7 นาที นำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาที แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังเผา รวมทั้งครุชชีเบลและฝา (X_2) ทำการคำนวณค่าสารระเหยที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ดังนี้

$$\% \text{ VCM} = \frac{(X_1 - X_0) (0.01 M (X_1 - X_0))}{(X_1 - X_0) (1-0.01 M)} \times 100$$

4. การหาค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed, Carbon)

สามารถคำนวณค่าคาร์บอนคงตัว (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ได้ดังนี้

$$\% \text{ FC} = 100 - \% \text{ ASH} - \% \text{ VCM}$$

ภาคผนวก ข
การหาค่าไอโอดีนนมเบอร์

การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์

วิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 4607 เริ่มจากนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการคัดขนาดตามที่สนใจแล้วมาทำการอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นชั่งถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เพื่อนำไปใส่ในขวดแก้วคอกว้าง (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลือร้อยละ 5 จำนวน 10 มิลลิลิตร และทำการเขย่าขวดจนถ่านกัมมันต์เปียกชุ่มทั้งหมด จากนั้นทำการต้มจนเดือดด้วยเวลา 30 วินาที ที่ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลายไอโอดีน 0.1 นอร์มอล จำนวน 100 มิลลิลิตร ทำการปิดจุกและเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 30 วินาที กรองที่ผ่านกระดาษกรอง ที่น้ำที่กรองได้ในครั้งแรกประมาณ 20-30 มิลลิลิตร และเก็บน้ำกรองที่เหลือทั้งหมด ใช้ปิเปตดูดน้ำกรอง 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วคอกว้างไทเทรตกับสารละลายโซอิลเฟตจนกระทั่งสีเหลืองจางจนเกือบขาว เติมน้ำแข็ง 1 มิลลิลิตร (จะได้สีน้ำเงินเข้มเกิดขึ้น) และไทเทรตต่อไปจนกระทั่งไม่มีสี บันทึกปริมาตร (มิลลิลิตร) ของโซอิลเฟตที่ใช้ไป ค่าไอโอดีนนมเบอร์ (I.N.) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$I.N. = (X/m) D$$

$$\text{เมื่อ } X/m = \frac{A - [2.2B \times \text{ปริมาตร(มิลลิลิตร)ของสารละลายโซอิลเฟตที่ใช้}]}{\text{น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)}}$$

$$A = 12,693 N_1$$

$$B = 126.93 N_2$$

$$N_1 = \text{นอร์มอลของสารละลายไอโอดีน}$$

$$N_2 = \text{นอร์มอลของสารละลายโซอิลเฟต}$$

$$D = \text{ตัวแก้ ซึ่งหาได้จากตาราง ทั้งนี้ต้องรู้ค่า C ก่อน}$$

$$C = (N_2/50) \times (\text{ปริมาตร(มิลลิลิตร)ของสารละลายโซอิลเฟตที่ใช้})$$

ตาราง ผ1 IODIEN CORRECTION FACTOR (D)

Residual Filtrate Normality (C)	.0000	.0001	.0002	.0003	.0004	.0005	.0006	.0007	.0008	.0009
.0080	1.1625	1.1613	1.1600	1.1575	1.1550	1.1538	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270
.0330	0.9263	0.9263	0.9257	0.9250	0.9250					

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ BET surface area



**Department of Chemical Engineering,
Faculty of Engineering, Kasetsart University**

50 Phaholyothin Road, Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900 THAILAND
Tel. +66 2942-8555 ext. 1203 Fax. +66 2561-4621 <http://www.che.eng.ku.ac.th>

April 11, 2007

Subject: Analysis report

Dear Sir,

The Department of Chemical Engineering, Kasetsart University has analyzed the BET surface area of 4 samples using Autosorb-1 (Quantachrome) and the results are as follows:

Items	Type of Specimens	BET surface area, (m ² /g)
1	Activated carbon 450°C/2	1,635.65
2	Activated carbon 450°C/1.3	1,663.20
3	Activated carbon 550°C/2	1,430.04
4	Activated carbon	948.94

Metta C.

(Assoc.Prof. Dr.Metta Chareonpanich)
Analysis Lab Coordinator

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.24

Sample ID	sample1				
Description	Activated carbon 450c/2				
Sample Weight	0.0306 g	Outgas Temp	200.0 °C	Operator	onglovely
Sorbate	NITROGEN	Outgas Time	15.0 hrs	Analysis Time	568.7 min
SS-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0	End of Run	04/07/2007
Ideality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	C1 1.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.35	PC SW Version	1.24
Station #	1				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.636E+03	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	2.324E+03	m ² /g
BJH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	2.485E+03	m ² /g
BJH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	1.370E+03	m ² /g
DH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	2.559E+03	m ² /g
DH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	1.483E+03	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.555E+03	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	8.078E+01	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.787E+03	m ² /g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores with Diameter less than 3498.6 Å at P/Po = 0.99450.....	1.039E+00	cc/g
BJH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	1.130E+00	cc/g
BJH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	8.313E-01	cc/g
DH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	1.122E+00	cc/g
DH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	8.563E-01	cc/g
t-Method Micro Pore Volume.....	5.478E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	6.350E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	6.991E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	7.127E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter.....	2.541E+01	Å
BJH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.965E+00	Å
BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.425E+01	Å
DH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.965E+00	Å
DH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.425E+01	Å
DR Method Micro Pore Width.....	6.337E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.800E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	9.225E+00	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	1.670E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 778.59 mm Hg
MaxiDose : ON
Initial Fill : OFF
DoseWizard : OFF

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.24

Sample ID	sample2				
Description	Activated carbon 450oC/1.3				
Sample Weight	0.0460 g				
Sorbate	NITROGEN	Outgas Temp	200.0 °C	Operator	onglovely
Adsorbent		Outgas Time	15.0 hrs	Analysis Time	624.6 min
Surface Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0	End of Run	04/08/2007
Ideality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	C2_1.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.35	PC SW Version	1.24
Station #	1				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.663E+03	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	2.359E+03	m ² /g
BJH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	2.578E+03	m ² /g
BJH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	1.365E+03	m ² /g
DH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	2.659E+03	m ² /g
DH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	1.480E+03	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.555E+03	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	1.085E+02	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.853E+03	m ² /g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores with Diameter less than 4290.8 Å at P/Po = 0.99552.....	9.463E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	1.041E+00	cc/g
BJH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	7.217E-01	cc/g
DH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	1.037E+00	cc/g
DH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	7.505E-01	cc/g
t-Method Micro Pore Volume.....	7.191E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	6.587E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	7.175E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	7.309E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter.....	2.276E+01	Å
BJH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.905E+00	Å
BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.427E+01	Å
DH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.905E+00	Å
DH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.427E+01	Å
DR Method Micro Pore Width	6.383E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.800E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	9.125E+00	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	1.661E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 778.68 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.24

Sample ID	sample3				
Description	Activated carbon 550cC/2				
Sample Weight	0.0490 g	Outgas Temp	200.0 °C	Operator	onglovely
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	15.0 hrs	Analysis Time	659.8 min
SS-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0	End of Run	04/07/2007
Ideality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	C3.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.35	PC SW Version	1.24
Interaction #	1				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.430E+03	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	1.974E+03	m ² /g
BJH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	2.010E+03	m ² /g
BJH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	1.217E+03	m ² /g
DH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	2.049E+03	m ² /g
DH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	1.315E+03	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.367E+03	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	6.270E+01	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.482E+03	m ² /g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores with Diameter less than 3973.8 Å at P/Po = 0.99516.....	8.209E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	8.616E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	6.527E-01	cc/g
DH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	8.533E-01	cc/g
DH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	6.774E-01	cc/g
t-Method Micro Pore Volume.....	4.235E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	5.268E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	6.055E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	6.182E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter.....	2.296E+01	Å
BJH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.997E+00	Å
BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.427E+01	Å
DH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.997E+00	Å
DH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.427E+01	Å
DR Method Micro Pore Width.....	5.728E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.840E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	8.875E+00	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	1.596E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 777.70 mm Hg
MaxiDose : ON
Initial Fill : OFF
DoseWizard : OFF

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.24

Sample ID	sample4				
Description	Activated carbon				
Sample Weight	0.1008 g				
Sorbate	NITROGEN	Outgas Temp	200.0 °C	Operator	onglovely
Mass-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time	15.0 hrs	Analysis Time	652.6 min
Non-Ideality	6.580E-05	P/Po Toler	0	End of Run	04/08/2007
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	3	File Name	C4.RAW
Location #	1	Bath Temp.	77.35	PC SW Version	1.24

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	9.489E+02	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	1.330E+03	m ² /g
BJH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	9.989E+02	m ² /g
BJH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	2.439E+02	m ² /g
DH Method Cumulative Adsorption Surface Area.....	1.049E+03	m ² /g
DH Method Cumulative Desorption Surface Area.....	2.666E+02	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	3.649E+02	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	5.840E+02	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.303E+03	m ² /g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores with Diameter less than 3803.8 Å at P/Po = 0.99494.....	5.047E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	3.298E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	1.342E-01	cc/g
DH Method Cumulative Adsorption Pore Volume.....	3.321E-01	cc/g
DH Method Cumulative Desorption Pore Volume.....	1.393E-01	cc/g
t-Method Micro Pore Volume.....	3.050E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	4.631E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	4.578E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	4.594E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter.....	2.127E+01	Å
BJH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.923E+00	Å
BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.420E+01	Å
DH Method Adsorption Pore Diameter (Mode).....	8.923E+00	Å
DH Method Desorption Pore Diameter (Mode).....	1.420E+01	Å
DR Method Micro Pore Width	4.613E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.520E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	9.175E+00	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	1.670E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 779.66 mm Hg
MaxiDose : ON
Initial Fill : OFF
DoseWizard : OFF

ภาคผนวก ง

คุณลักษณะของ active gas tube ตัวดูดซับอ้างอิง

1/04/2006 13:29 8510799
 /04 06 TUE 14:31 FAX 8510799

fax



HYGITEST Ltd. – Sofia, Bulgaria
 15, Acad. Iv. Evst. Geshov, Blvd.
 Fax/Phone: (0359 2) 954-11 19
 www.hvgitest.com : e-mail : info@hvgitest.com



Certificated QM-System
 ISO 9001:2000

DQ 07_00-12

CERTIFICATE OF QUALITY
 No. C6 – 1 / 2006

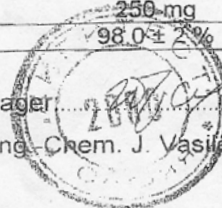
CHARCOAL SAMPLING TUBES

Characteristics	Value
Type of the sorbent tubes	Adsorbent tubes Charcoal 6 x 70
Catalogue No.	ST-CN
Lot #	870
Best before	03.2009
Design parameters	
Overall length of the glass tube, mm	70 ± 2
Outside diameter, mm	6.0 ± 0.2
Internal diameter, mm	4.0 ± 0.2
Thickness of the glass wall, mm	1.0 ± 0.05
Diameter of the tips, mm	2.0 ± 0.3
Length of the backup sorbent layer, mm	7.5 ± 1.0
Weight of the backup sorbent layer, mg	50 ± 8
Polyurethane foam separator, mm	4.0 ± 0.2
Length of the sorbent layer, mm	14 ± 2
Weight of the sorbent layer, (mg)	100 ± 15
Glass wool packing, mg	5 ± 2
Characteristics of materials	
Glass tubes	Neutral glass for use in the medicine
Polyurethane foam	60 kg.m ⁻³
Type of glass wool	Silanized
Diameter of the glass wool fibres, µm	16 ± 2
Filling material	Coconut Charcoal
Particle size distribution:	
Up to 100 µm	2.5 %
From 100 to 250 µm	6.5 %
From 250 to 1100 µm	86.0 %
Above 1100 µm	4.5 %
Metal clamp	Stainless Steel
Sampling parameters	
Pressure drop at flow rate 150 cc/min, mm H ₂ O	48 ± 6
Adsorption capacity toward toluene, not less than	250 mg
Desorption efficiency by carbon disulphide	98.0 ± 2%

Sofia, 2006

Produce Manager

/Eng. Chem. J. Vasileva/



ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS

1. การหาสภาวะที่เหมาะสม

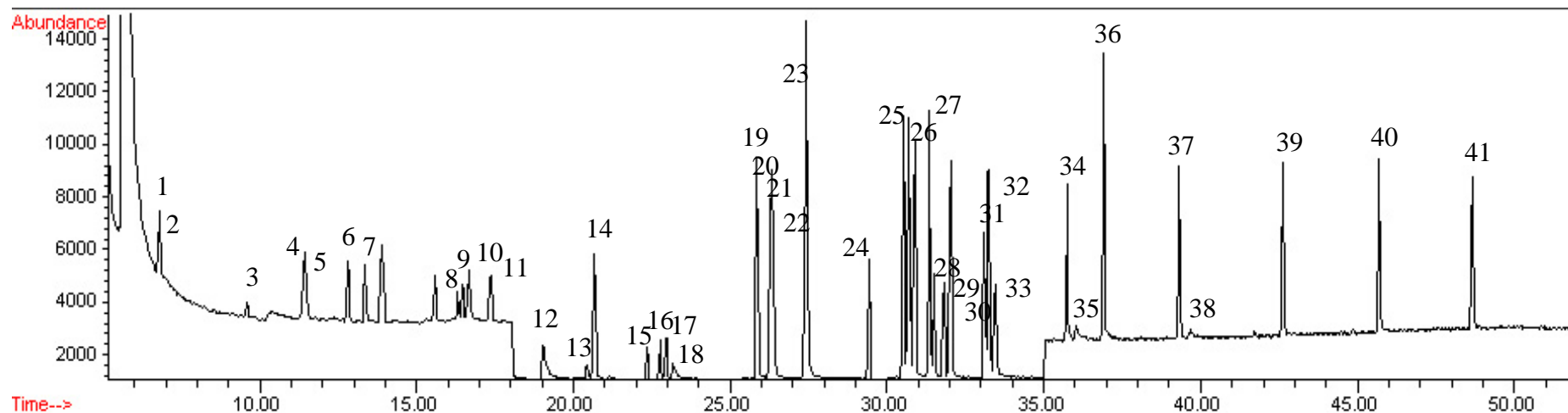
หาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component indoor air และ Toluene d-8 (internal standard) วิเคราะห์โดย GC/MS คอลัมน์ชนิด DB-5MS, 60 m. x 0.32 mm., 1.0 μ m film thickness ของ J&W ในเบื้องต้นใช้เทคนิค SCAN mode เพื่อหา Retention time ของสารละลายมาตรฐาน VOCs ซึ่งได้สภาวะที่เหมาะสม คืออุณหภูมิเริ่มต้นที่ 35°C และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ 10 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 220 °C ที่อัตราการเพิ่ม 5 °C/นาที 5 นาที และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ เวลารวมทั้งสิ้น 52 นาที Retention time และ m/z ที่ได้จากการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ จ-1 เมื่อทราบค่า Retention time ของสารมาตรฐานแล้ว ในการวิเคราะห์สาร ตัวอย่างเพื่อหาชนิดและปริมาณของ VOCs นั้นใช้เทคนิค Selected-ion monitoring (SIM) ซึ่งได้ peak retention time ของสารแต่ละชนิด แสดงเป็นกราฟ chromatograms ดังภาพที่ จ-1

2. การสร้าง Calibration curve

ทำการสร้าง Calibration curve โดยใช้สารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component indoor air ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 6 ความเข้มข้น คือ 500, 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 ng/ml ซึ่งแต่ละความเข้มข้นจะมีสารละลายมาตรฐาน toluene-d8 (internal standard) ที่ความเข้มข้น 935 ng/ml รวมอยู่ด้วย จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS พบชนิดของ VOCs เพียง 40 ชนิด ดังนั้นจึงนำ peak ที่ได้มาแสดงเป็น peak ratio และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง peak ratio ของสารละลายมาตรฐานต่อ internal standard ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก ความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน แสดงด้วยค่า R^2 ซึ่งค่า R^2 ของแต่ละสารสามารถสรุปได้ ดังตารางผนวกที่ จ2 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.8140 - 0.9995 chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component indoor air และ Toluene d-8 (internal standard) แสดงดังภาพ ผนวกที่ จ1

ตารางผนวกที่ ๑1 ค่า Retention time และ m/z ของสารละลายมาตรฐาน VOCs

	ชื่อสารประกอบ	Retention time	m/z	
		(min)	first ion	secondary ion
1	Methylene chloride	6.79	84	49
2	2-Butanone	9.56	43	32
3	Chloroform	11.44	83	85
4	2,4-Dimethylpentane	11.56	57	43
5	1,1,1-Trichloroethane	12.87	97	99
6	1,2-Dichloroethane	13.4	62	64
7	Benzene	13.94	78	77
8	Carbontetrachloride	13.98	119	118
9	Isooctane	15.66	57	56
10	n-Heptane	16.4	43	71
11	Trichloroethene	16.51	130	131
12	1,2-Dichloropropane	16.72	63	32
13	Bromodichloromethane	17.39	83	85
14	4-Methyl-2-pentanone	18.97	43	58
15	Toluene-d8	20.5	98	100
16	Toluene	20.77	91	92
17	n-Octane	22.48	43	85
18	Dibromochloromethane	22.83	129	128
19	Tetrachloroethen	23.03	166	165
20	Ethylbenzene	25.94	91	106
21	m-Xylene	26.37	91	106
22	p-Xylene	26.45	91	106
23	Styrene	27.47	104	103
24	o-Xylene	27.54	91	106
25	Alpha-pinene	29.53	93	91
26	3-Ethyltoluene	30.61	105	120
27	4-Ethyltoluene	30.78	105	120
28	1,3,5-Trimethylbenzene	30.96	105	120
29	2-Ethyltoluene	31.43	105	120
30	Beta-pinene	31.61	93	69
31	Decane	31.92	57	43
32	1,2,4-Trimethylbenzene	32.1	105	120
33	1,4-Dichlorobenzene	33.15	146	148
34	1,2,3-Trimethylbenzene	33.32	105	120
35	Limonene	33.55	68	93
36	n-Undecane	35.83	57	43
37	1,2,4,5-Tetramethylbenzene	36.97	119	134
38	Dodecane	39.39	57	43
39	Decanal	39.71	57	41
40	Tridecane	42.69	57	71
41	Tetradecane	45.78	57	71
42	Pentadecane	48.76	57	71



1. methylene chloride	9. iso-octane	17. dibromochloromethane	25. 3-ethyltoluene	33. 1,2,3-trimethylbenzene
2. 2-butanone	10. trichloroethene	18. tetrachloroethene	26. 4-ethyltoluene	34. limonene
3. chloroform	11. 1,2 dichloropropane	19. ethylbenzene	27. 1,3,5-trimethylbenzene	35. n-undecane
4. 2,4dimethylpentane	12. bromodichloromethane	20. m-xylene	28. 2-ethyltoluene	36. 1,2,4,5 tetramethylbenzene
5. 1,1,1 trichloroethane	13. 4-methyl-2-pentanone	21. p-xylene	29. Beta -pinene	37. dodecane
6. 1,2-dichloroethane	14. toluened-8 (internal standard)	22. styrene	30. decane	38. decanal
7. benzene	15. toluene	23. o-xylene	31. 1,2,4-trimethylbenzene	39. tridecane
8. carbontetrachloride	16. n-octane	24. Alpha-pinene	32. 1,4dichlorobenzene	40. tetradecane
				41. pentadeca

ภาพผนวกที่ ๑1 GC/MS โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐาน VOCs Japanese 52 component indoor air ที่ความเข้มข้น 5,000 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ Toluene d-8 (internal standard)

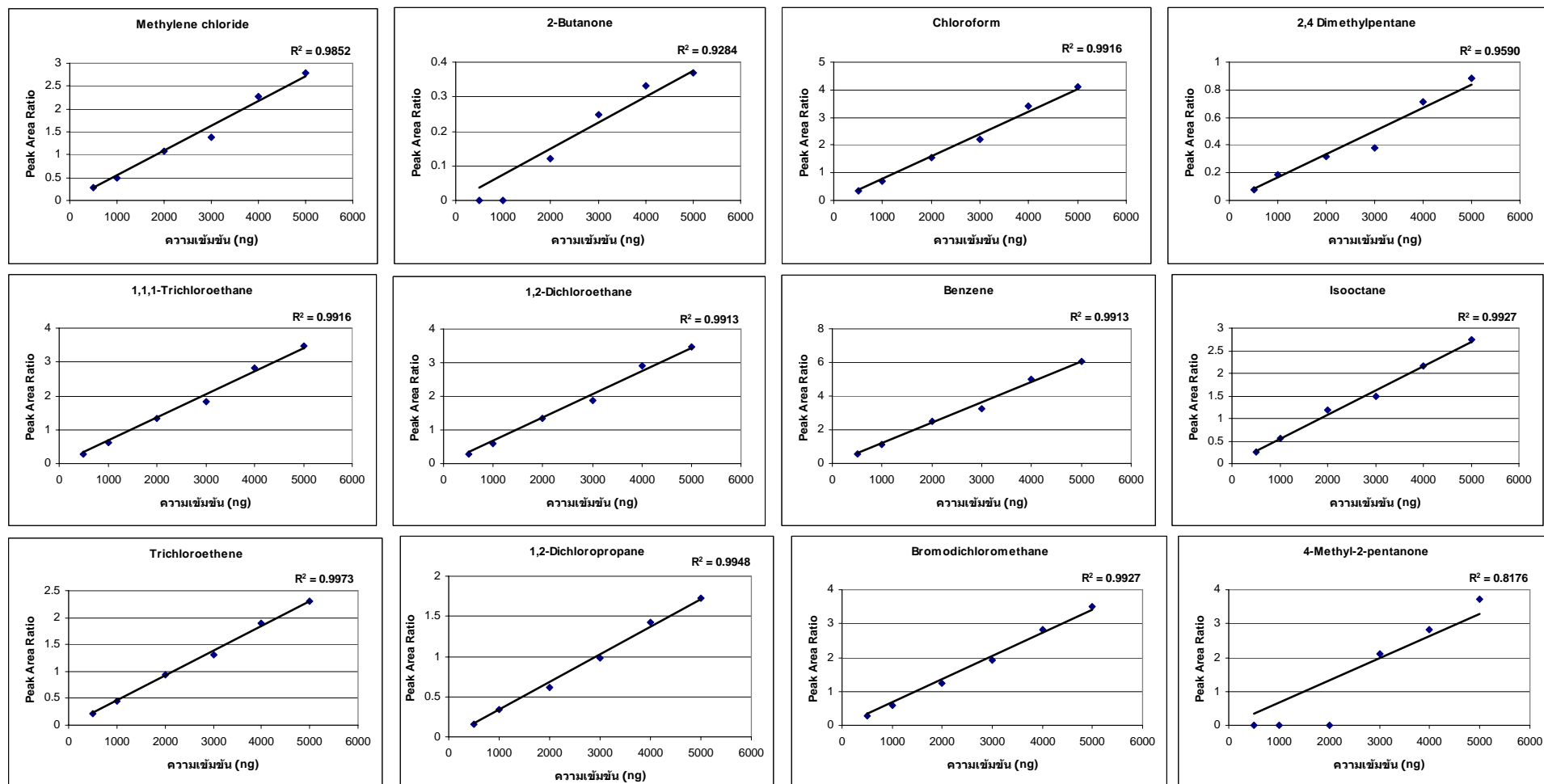
ตารางผนวกที่ ๑๒ ค่า R² ของ VOCs 40 ชนิด จากการสร้าง Calibration curve

ชื่อสาร	R ²	ชื่อสาร	R ²
Methylene chloride	R ² = 0.9852	Beta-pinene	R ² = 0.9972
2-Butanone	R ² = 0.9284	Decane	R ² = 0.9228
Chloroform	R ² = 0.9916	1,2,4-Trimethylbenzene	R ² = 0.9847
2,4 Dimethylpentane	R ² = 0.9590	1,4-Dichlorobenzene	R ² = 0.9682
1,1,1-Trichloroethane	R ² = 0.9916	1,2,3-Trimethylbenzene	R ² = 0.9809
1,2-Dichloroethane	R ² = 0.9913	Limonene	R ² = 0.9890
Benzene	R ² = 0.9913	n-Undecane	R ² = 0.9827
Isooctane	R ² = 0.9927	1,2,4,5-Tetramethylbenzene	R ² = 0.9668
Trichloroethene	R ² = 0.9973	Dodecane	R ² = 0.9761
1,2-Dichloropropane	R ² = 0.9948	Decanal	R ² = 0.9590
Bromodichloromethane	R ² = 0.9927	Tridecane	R ² = 0.9410
4-Methyl-2-pentanone	R ² = 0.8176	Tetradecane	R ² = 0.9292
Toluene	R ² = 0.9974	Pentadecane	R ² = 0.9253
n-Octane	R ² = 0.8140	Carbontetrachloride	R ² = 0.9881
Dibromochloromethane	R ² = 0.9934	Stryrene	R ² = 0.9770
Tetrachloroethene	R ² = 0.9967		
Ethylbenzene	R ² = 0.9935		
m-Xylene	R ² = 0.9664		
p-Xylene	R ² = 0.9894		
o-Xylene	R ² = 0.9979		
Alpha-pinene	R ² = 0.9995		
3-Ethyltoluene	R ² = 0.9877		
4-Ethyltoluene	R ² = 0.9771		
1,3,5-Trimethylbenzene	R ² = 0.9659		
2-Ethyltoluene	R ² = 0.9757		

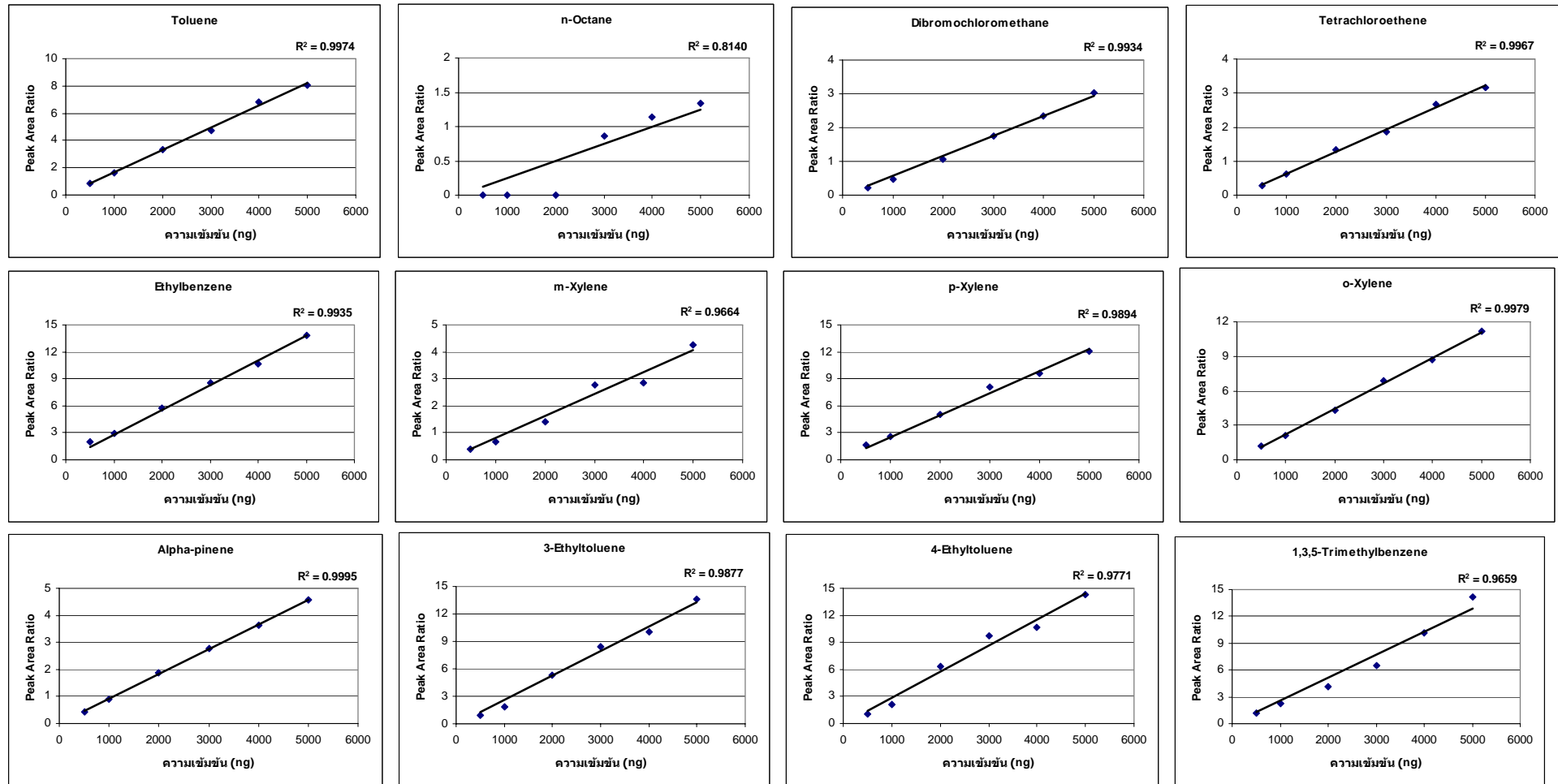
ภาคผนวก ฉ

Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน VOCs

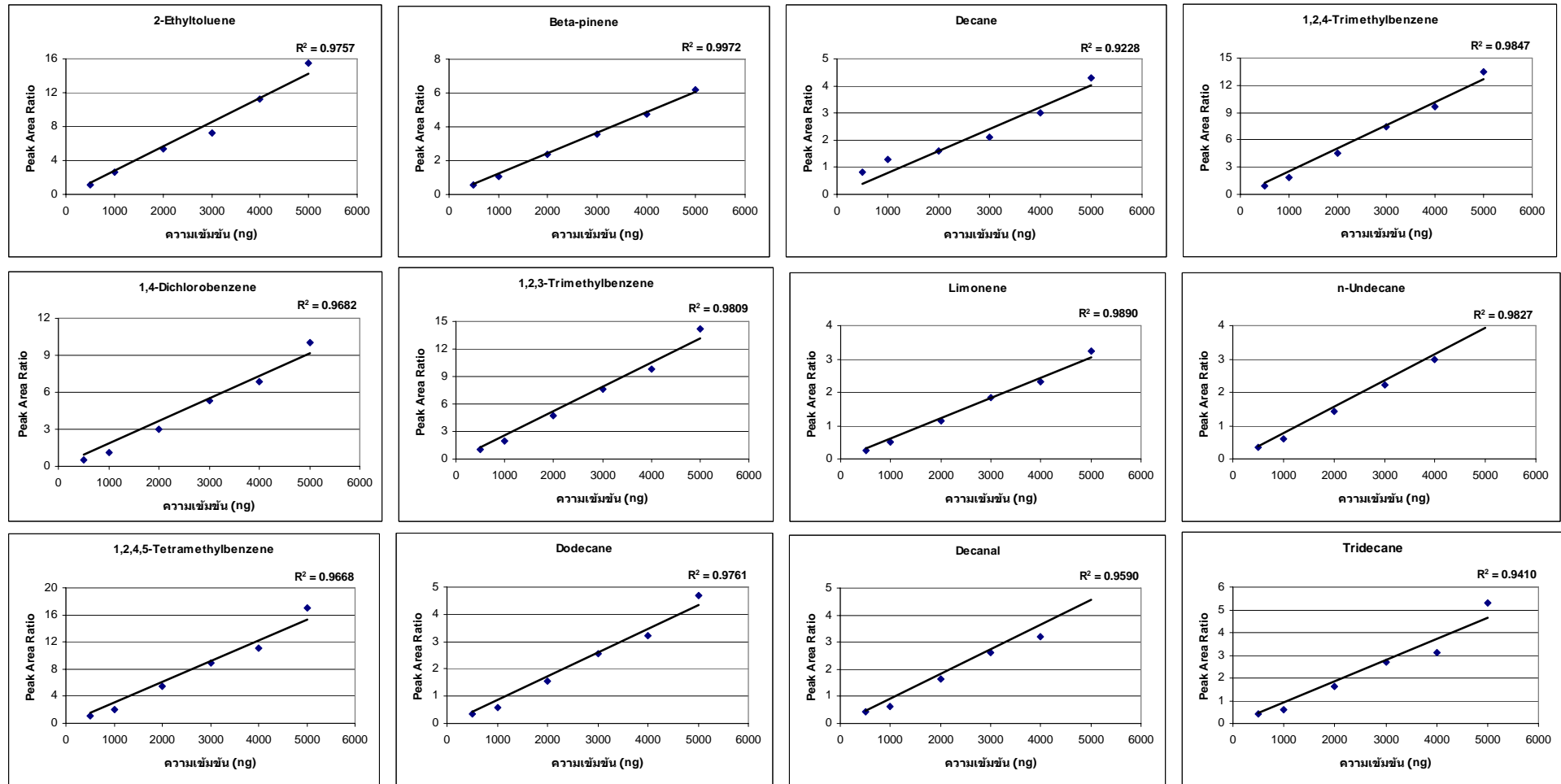
Japanese 52 component indoor air



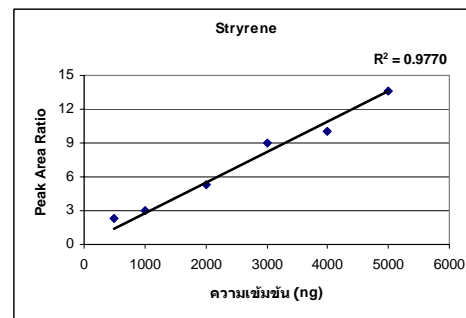
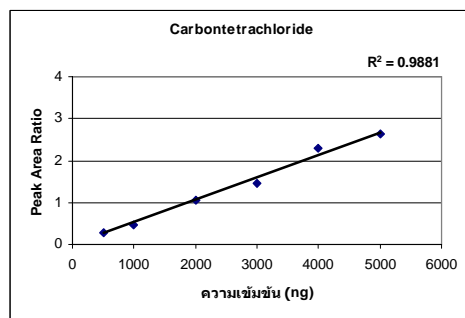
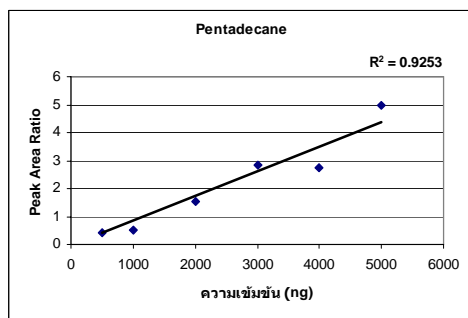
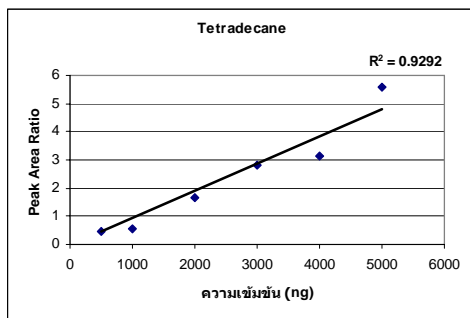
ภาพผนวกที่ ๑๑ Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component indoor air



ภาพผนวกที่ ๑๑ (ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component indoor air



ภาพผนวกที่ ๑ (ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component indoor air



ภาพผนวกที่ ๑1 (ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน VOCs ชนิด Japanese 52 component indoor air

ภาคผนวก ข

คำมาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
และคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน

พ.ศ. ๒๕๕๕

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๖ แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๘ ลงวันที่ ๔ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๔๘

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

“อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน” หมายความว่า อากาศที่ระบายออกจากปล่องหรือช่องหรือท่อระบายอากาศของโรงงานไม่ว่าจะผ่านระบบบำบัดหรือไม่ก็ตาม

“น้ำมันหรือน้ำมันเตา” ให้ความหมายรวมถึง ผลพลอยได้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ด้วย

“ถ่านหิน” ให้ความหมายรวมถึง ผลพลอยได้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ด้วย

“เชื้อเพลิงชีวมวล” หมายความว่า เชื้อเพลิงที่ได้มาจากอินทรีย์สารหรือสิ่งมีชีวิต รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตร การปศุสัตว์และการทำป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน เศษไม้ แกลบ ฟาง ชานอ้อย ต้นและใบอ้อย ใบปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว ไยมะพร้าว เศษพืช มูลสัตว์ ก๊าซชีวภาพ กากตะกอน หรือของเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น

“เชื้อเพลิงอื่น ๆ” หมายความว่า เชื้อเพลิงอื่นใดนอกเหนือจากที่ระบุไว้ในประกาศนี้ แต่ไม่รวมถึงเชื้อเพลิงที่ได้กำหนดค่าการระบายปริมาณสารเจือปนในอากาศไว้เป็นการเฉพาะ

“ระบบปิด” หมายความว่า ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและหรือวัตถุดิบที่มีการออกแบบให้มีการควบคุมปริมาตรอากาศและสถานะแวดล้อมในการเผาไหม้ เช่น หม้อเผาปูนซีเมนต์ หม้อน้ำ เป็นต้น

หน้า ๘

เล่ม ๑๒๓ ตอนพิเศษ ๑๒๕ ง

ราชกิจจานุเบกษา

๔ ธันวาคม ๒๕๔๕

“ระบบเปิด” หมายความว่า ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและหรือวัสดุที่บดที่ไม่มีการออกแบบเพื่อควบคุมปริมาณอากาศและสภาวะแวดล้อมในการเผาไหม้ เช่น เตาเผาปูนขาว เตาหลอมโลหะแบบคิวโปล่า (Cupola) เป็นต้น

ข้อ ๓ อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารเจือปนแต่ละชนิดไม่เกินที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด)	แหล่งที่มาของสารเจือปน	ค่าปริมาณของสารเจือปน ในอากาศที่	
		ไม่มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง	มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง
๑. ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้		
	- น้ำมันหรือน้ำมันเตา	-	๒๔๐
	- ถ่านหิน	-	๓๒๐
	- เชื้อเพลิงชีวมวล	-	๓๒๐
	- เชื้อเพลิงอื่น ๆ	-	๓๒๐
	ข. การถลุง หลอม รีด ตึง และ/ หรือผลิต อลูมิเนียม	๓๐๐	๒๔๐
	ค. การผลิตทั่วไป	๔๐๐	๓๒๐
๒. พลวง (Antimony) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	๒๐	๑๖
๓. สารหนู (Arsenic) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	๒๐	๑๖
๔. ทองแดง (Copper) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	๓๐	๒๔
๕. ตะกั่ว (Lead) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	๓๐	๒๔
๖. พรอท (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	๓	๒.๔
๗. คลอรีน (Chlorine) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	๓๐	๒๔
๘. ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	๒๐๐	๑๖๐

หน้า ๕

เล่ม ๑๒๓ ตอนพิเศษ ๑๒๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๔ ธันวาคม ๒๕๔๕

ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด)	แหล่งที่มาของสารเจือปน	ค่าปริมาณของสารเจือปน ในอากาศที่	
		ไม่มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง	มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง
๘. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	๒๕	-
๑๐. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	๑๐๐	๘๐
๑๑. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	๘๗๐	๖๕๐
๑๒. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) (ส่วนในล้านส่วน)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ - น้ำมันหรือน้ำมันเตา - ถ่านหิน - เชื้อเพลิงชีวมวล - เชื้อเพลิงอื่น ๆ	- - - -	๕๕๐ ๗๐๐ ๖๐ ๖๐
	ข. การผลิตทั่วไป	๕๐๐	-
๑๓. ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen) (ส่วนในล้านส่วน)	แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ - น้ำมันหรือน้ำมันเตา - ถ่านหิน - เชื้อเพลิงชีวมวล - เชื้อเพลิงอื่น ๆ	- - - -	๒๐๐ ๔๐๐ ๒๐๐ ๒๐๐
	๑๔. ไซลีน (Xylene) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	๒๐๐
๑๕. ครีซอล (Cresol) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	๕	-

ข้อ ๔ กรณีโรงงานใช้เชื้อเพลิงร่วมกันตั้งแต่ ๒ ประเภทขึ้นไป อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศไม่เกินค่าที่กำหนด สำหรับเชื้อเพลิงประเภทที่มีสัดส่วนการใช้มากที่สุด

ข้อ ๕ การตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน แต่ละชนิด ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง ให้ใช้วิธี Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๒) การตรวจวัดค่าปริมาณพลวง สารหนู ทองแดง ตะกั่ว และสารปรอท ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๓) การตรวจวัดค่าปริมาณคลอรีน และไฮโดรเจนคลอไรด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Non-Isokinetic หรือวิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Isokinetic ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๔) การตรวจวัดค่าปริมาณกรดกำมะถัน ให้ใช้วิธี Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๕) การตรวจวัดค่าปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Sulfuric, Carbonyl Sulfide and Carbon Disulfide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๖) การตรวจวัดค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๗) การตรวจวัดค่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources หรือวิธี Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๘) การตรวจวัดค่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๙) การตรวจวัดค่าปริมาณไฮลีน และครีซอล ให้ใช้วิธี Measurement of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ข้อ ๖ การรายงานผลการตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ ให้รายงานผลดังต่อไปนี้

(๑) ในกรณีที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสียสภาวะจริงในขณะตรวจวัด

(๒) ในกรณีที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง

(ก) ระบบปิดให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ (Excess Air) ร้อยละ ๕๐ หรือ มีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสีย ร้อยละ ๗

(ข) ระบบเปิดให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสีย ณ สภาวะจริงขณะตรวจวัด

ข้อ ๗ ประกาศฉบับนี้ใช้บังคับสำหรับประเภทโรงงานใด ๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดสารเจือปนในอากาศที่ไม่ได้กำหนดค่าการระบายปริมาณสารเจือปนในอากาศไว้เป็นการเฉพาะ

ทั้งนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๕

โฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ฉบับที่ ๓๐ (พ.ศ. ๒๕๕๐)

เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๒ (๔) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ออกประกาศกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) ในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี ไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ มาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี แต่ละชนิดให้เป็นไปดังต่อไปนี้

- (๑) เบนซีน (Benzene) ต้องไม่เกิน ๑.๖ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๒) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) ต้องไม่เกิน ๑๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๓) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) ต้องไม่เกิน ๐.๔ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๔) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๒๓ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๕) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ต้องไม่เกิน ๒๒ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๖) 1,2-ไดคลอโรโพรเพน (1,2-Dichloropropane) ต้องไม่เกิน ๔ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๗) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) ต้องไม่เกิน ๒๐๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๘) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) ต้องไม่เกิน ๐.๔๓ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๙) 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-Butadiene) ต้องไม่เกิน ๐.๓๓ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การหาค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี แต่ละชนิดให้นำผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศแบบต่อเนื่องตลอด ๒๔ ชั่วโมงของทุกๆ เดือน (อย่างน้อยเดือนละหนึ่งครั้ง) มาหาค่ามัธยิมเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ในกรณีตัวอย่างอากาศที่เก็บมาตรวจวิเคราะห์ตามวรรคสองไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ให้เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ใหม่ภายใน ๓๐ วัน นับแต่วันที่เก็บตัวอย่างที่ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ข้อ ๒ การคำนวณค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี แต่ละชนิดตามข้อ ๑ ให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท และที่อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส

หน้า ๕

เล่ม ๑๒๔ ตอนพิเศษ ๑๔๓ ง

ราชกิจจานุเบกษา

๒๘ กันยายน ๒๕๕๐

ข้อ ๓ วิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจวัดและเครื่องมือตรวจวิเคราะห์หาค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี ตามข้อ ๑ ให้นำหลักการและเครื่องมืออย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้มาใช้ เว้นแต่ประกาศนี้จะกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น

(๑) US EPA Compendium Method TO-14A “Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in ambient air using specially prepared canisters with subsequent analysis by Gas Chromatography (GC)” ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด หรือ

(๒) US EPA Compendium Method TO-15 “Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in air collected in specially prepared canisters and analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)” ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด หรือ

(๓) วิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจวัดและเครื่องมือตรวจวิเคราะห์อื่นที่กรมควบคุมมลพิษ ประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ประกาศ ณ วันที่ ๑๔ กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๐

โฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์

รองนายกรัฐมนตรี

ประธานกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาว ปรีชญา ชัยสาร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	31 ธันวาคม พ.ศ.2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	พ. ศ. 2548 จบการศึกษา วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน พ.ศ.2549-2551
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาตัวดูดซับ เพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยใน โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา” ซึ่งได้รับการ สนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการ วิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม) ภายใต้โครงการ “โครงการทุน วิจัยมหาบัณฑิต สกว. (TRF-MRG, Master Research Grants)” รุ่นที่ 3 ปีการศึกษา 2549 พ.ศ. 2547 ดำเนินงานวิจัยโครงการวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การใช้วัสดุ เหลือใช้ในการบำบัดมลพิษทางอากาศด้วยกระบวนการ ดูดซับ” ซึ่งได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม) ภายใต้ โครงการ “โครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IRPUS, Industrial and Research Projects for Undergraduate Students)” รุ่นที่ 3 ปีการศึกษา 2547