



ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสาร BTEX
ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

นายกิตติภาส นั่งสูงเนิน

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2555

ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสาร BTEX
ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

นายกิตติภาส นั่งสูงเนิน คบ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป)

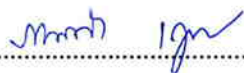
การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



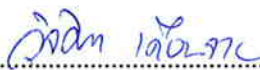
(รศ. ดร.วินัย สมบูรณ์)

ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(ผศ. ดร.รัชนีทิรา เกตุแก้ว)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ



(ดร. วิจิตรา เคื่อนาย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสาร BTEX ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายกิตติภาส นิ่งสูงเนิน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.ภณทิรา เกตุแก้ว
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีศึกษา
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
พ.ศ.	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการดูดซับ BTEX ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง จากการศึกษาถ่านกัมมันต์ทางการค้า 4 ชนิด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดอนุภาค 20-100 mesh มีค่าเลขไอโอดีนเท่ากับ 447 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่า BET Surface Area เท่ากับ 1,319.10 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.6457 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุน 19.58 อังสตรอม และ พื้นที่รูพรุนไมโครพอร์ 1,556.00 ตารางเมตรต่อกรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับ BTEX และความเที่ยงสูง นำอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ ซึ่งทำจากถุงพลาสติก LDPE บรรจุถ่านกัมมันต์ ไปติดตั้งที่จุดเก็บอากาศ 7 จุดที่เป็นจุดตรวจวัดอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นเวลา 7-28 วัน หลังจากเก็บอากาศตามช่วงเวลาแล้ว ทำการสกัด BTEX ด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID ผลการศึกษา พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดของ เบนซีน เท่ากับ 2.86 และ 3.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (1.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับ โทลูอีน ที่ตรวจวัดได้มีความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุด ที่ 39.02 และ 171.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และตรวจวัดไม่พบเอทิลเบนซีน และ ไซลีน

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์ทางการค้า/ อุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ / BTEX / GC-FID

Independent Study Title	Efficiency of Activated Carbon on BTEX Adsorption by Passive Air Sampling Technique
Credits	6
Candidate	Mr. Kittipas Nungsoongnern
Advisor	Asst. Prof. Dr. Panthira Ketkaew
Program	Master of Science
Field of Study	Chemistry for Teachers
Department	Chemistry
Faculty	Science
B.E.	2555

Abstract

This research aimed to study the efficiency of commercial activated carbon from coconut shells in order to be used for adsorption of BTEX by passive air sampling around Map Ta Put Industrial Estate, Rayong Province. Four different commercial activated carbons were studied. It was found that the activated carbon with 20-100 mesh size that possessed 447 mg/g of iodine number, 1319.10 m²/g of BET surface area, 0.6457 cm³/g pore volume, 19.58Å pore size and macro-pore area of 1556.00 m²/g, showed a high efficiency and reproducibility in BTEX adsorption. Passive samplers made of LDPE plastic bags containing activated carbon were placed at 7 sampling points where the air quality was regularly monitored by the Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. The sampling period was 7-28 days. After each sampling period, BTEX was eluted by carbon disulfide and analyzed by GC-FID. The results showed that the average and maximum concentration of benzene were 2.86 and 3.15 µg/m³ respectively, which were higher than the recommended standard value for VOCs (1.7 µg/m³). The average and maximum distributed concentration of toluene were 39.02 and 171.12 µg/m³ respectively, while ethylbenzene and xylene were not detected.

Keywords : Activated Carbon / Passive Sampling / BTEX / GC-FID

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.ภัณฑิรา เกตุแก้ว และ ผศ. วิญญู จิตสัมพันธเวช เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ข้อมูล คำปรึกษา ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการดำเนินการให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.วินัย สมบูรณ์ ได้กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ และ ดร.วิจิตรา เตือนฉาย ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขงานวิจัยฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณณัฐชัย กาญจนบัตร บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ถ่านกัมมันต์ในการวิจัย และกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่กรุณาได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการทำวิจัยทุกๆ ด้าน

ประโยชน์ของงานวิจัยนี้เป็นผลจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฑ

บทที่

1. บทนำ

1.1	ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	7
1.4	ขอบเขตของงานวิจัย	7
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7

2. ทฤษฎี

2.1	ถ่านกัมมันต์	8
2.2	วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	8
2.3	กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	9
2.4	โครงสร้างถ่านกัมมันต์	13
2.5	ประโยชน์ถ่านกัมมันต์	17
2.6	การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	18
2.7	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์	19
2.8	หลักการของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี	20
2.9	ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	22

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1	เครื่องมือและสารเคมี	28
3.2	การศึกษาประสิทธิภาพและความแม่นยำในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	29
3.3	การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์	30
3.4	การเก็บอากาศแบบพาสซีฟ บริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง	31
3.5	การหาค่าคงที่ k สำหรับใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศ	34

4. ผลการทดลอง

4.1	การศึกษาประสิทธิภาพและความเที่ยงในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	38
4.2	การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	43
4.3	การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณ BTEX สำหรับการเก็บอากาศบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	44
4.4	การเก็บอากาศแบบพาสซีฟบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	45
4.5	การหาค่าคงที่ k เพื่อใช้คำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศจากการเก็บอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ	50
4.6	การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	56
4.7	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซีน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี จากกรมควบคุมมลพิษ	72

5. สรุปผลการทดลอง

5.1	การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	76
5.2	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์	76
5.3	การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ได้ในการเก็บอากาศแบบพาสซีฟบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	76
5.4	ข้อเสนอแนะ	78

ภาคผนวก

ก การคำนวณหาปริมาณสาร BTEX	83
ข การวิเคราะห์ผลการทดลอง	90

ประวัติผู้วิจัย

116

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน	26
3.1 สภาพของเครื่องเสปซและเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 ความเข้มข้นของ BTEX ในแต่ละขวด เพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับเก็บอากาศแบบแอคทีฟ	36
3.3 ความเข้มข้นของ BTEX ในแต่ละขวด เพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับเก็บอากาศแบบพาสซีฟ	37
4.1 พื้นที่ฟีกของสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ	39
4.2 การเปรียบเทียบความเที่ยงในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ Sample I และ Sample II	41
4.3 สมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ขนาด 20-100 mesh ของบริษัทคาร์โบกาญจน์	44
4.4 พื้นที่ฟีกของสารละลายมาตรฐาน BTEX สำหรับการเก็บอากาศบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	44
4.5 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ ที่จุดเก็บอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 7 วัน	46
4.6 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ ที่จุดเก็บอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 14 วัน	47
4.7 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ ที่จุดเก็บอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 21 วัน	48
4.8 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ ที่จุดเก็บอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 28 วัน	49
4.9 พื้นที่ฟีกของสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่ปริมาณต่างๆ สำหรับใช้กับการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ	50
4.10 พื้นที่ฟีกของสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่ปริมาณต่างๆ สำหรับใช้กับการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ	53
4.11 ค่าคงที่เฉลี่ย k สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศ	56
4.12 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 7 วัน	57

ตาราง	หน้า
4.13 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 14 วัน	57
4.14 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน	58
4.15 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน	58
4.16 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 7 วัน	64
4.17 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 14 วัน	64
4.18 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน	65
4.19 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน	65
4.20 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซีน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟกับค่าเฉลี่ย รายปีจากกรมควบคุมมลพิษของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม ตามจุดตรวจอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง	72
ข.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	90
ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ บริเวณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	94
ข.3 แผนผังการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟเทียบกับวิธีแอคทีฟในตู้ดูดควัน ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี	98
ข.4 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีแอคทีฟ ในห้องปฏิบัติการ (ตู้ดูดควัน) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	99
ข.5 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ ในห้องปฏิบัติการ (ตู้ดูดควัน) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	100

ตาราง	หน้า
ข.6 การหาค่าคงที่ k สำหรับอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ	101
ข.7 การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร BTEX ในอากาศเก็บตัวอย่างอากาศ ด้วยวิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ	105
ข.8 การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร BTEX ในอากาศเก็บตัวอย่างอากาศ ด้วยวิธีการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ	107
ข.9 การคำนวณหาความเข้มข้นของสาร BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีพาสซีฟ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	108
ข.10 ค่าเฉลี่ยรายปีของเบนซีน พื้นที่รอบอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ปี 2550-2555	114

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์	13
2.2 การเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และผลึกของถ่านกัมมันต์ (a) โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ และ (b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์	14
2.3 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ (a) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์ง่าย และ (b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์เล็กน้อย	14
2.4 กลุ่มฟังก์ชันแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (a) Carboxyl (b) Phenolic hydroxyl (c) Quinonoid (d) Normal lactones (e) Fluorescein-type lactone (f) Carboxylic acid Anhydrides	16
2.5 กลุ่มฟังก์ชันแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (a) Chromene และ (b) Pyrone-like	16
2.6 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์	17
2.7 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู	19
2.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	21
2.9 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	22
2.10 ลักษณะโครมาโทแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	24
2.11 กราฟมาตรฐานของวิธี External standardization	25
2.12 กราฟมาตรฐานที่มีความคลาดเคลื่อนในปริมาตรของการฉีดสาร(เส้นบน) และไม่มี ความคลาดเคลื่อน (เส้นล่าง)	26
3.1 อุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ LDPE ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร จำนวนชุดละ 3 ชุด	32
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	32
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ สูงจากระดับพื้น 180 เซนติเมตร ตามสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม	33
3.4 จุดเก็บอากาศตามสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	33
3.5 การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟในห้องปฏิบัติการ (ทำในตู้ดูดควัน)	34
4.1 โครมาโทแกรมที่ได้จากการดูดซับสาร BTEX โดยถ่านกัมมันต์และคายซับด้วย ตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์	38

รูป	หน้า
4.2 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่ฟีกของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน ที่ได้จากการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ทั้ง 4 ชนิด	40
4.3 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่ฟีกของสาร BTEX ที่ได้จากการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ขนาด 50-200 mesh (Sample I) และ 20-100 mesh (Sample II) ของบริษัทคาร์โบกาญจน์	42
4.4 กราฟเปรียบเทียบ %RSD ของสาร BTEX ที่ได้จากการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ขนาด 50-200 mesh (Sample I) และ 20-100 mesh (Sample II) ของบริษัทคาร์โบกาญจน์	43
4.5 กราฟมาตรฐานของ BTEX ในช่วง 1.74-34.80 ไมโครกรัม	45
4.6 กราฟมาตรฐานของเบนซีนในช่วง 0.00-1631.25 ไมโครกรัม	51
4.7 กราฟมาตรฐานของโทลูอินในช่วง 0.00-652.5 ไมโครกรัม	51
4.8 กราฟมาตรฐานของเอทิลเบนซีนในช่วง 0.00-217.5 ไมโครกรัม	52
4.9 กราฟมาตรฐานของไซลีนในช่วง 0.00-345.00 ไมโครกรัม	52
4.10 กราฟมาตรฐานของเบนซีนในช่วง 0.00-1087.5 ไมโครกรัม	54
4.11 กราฟมาตรฐานของโทลูอินในช่วง 0.00-870 ไมโครกรัม	54
4.12 กราฟมาตรฐานของเอทิลเบนซีนในช่วง 0.00-450 ไมโครกรัม	55
4.13 กราฟมาตรฐานของไซลีนในช่วง 0.00-110.0 ไมโครกรัม	55
4.14 กราฟแสดงความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 7 วัน	59
4.15 กราฟแสดงความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 14 วัน	60
4.16 กราฟแสดงความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน	61
4.17 กราฟแสดงความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน	62
4.18 กราฟแสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 7 วัน	66
4.19 กราฟแสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 14 วัน	67
4.20 กราฟแสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน	68
4.21 กราฟแสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน	69

รูป	หน้า
4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเบนซิน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ที่ระยะเวลาเก็บอากาศต่างๆกับมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535	72
4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซิน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ที่ระยะเวลาเก็บอากาศต่างๆ กับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีจากกรมควบคุมมลพิษ	73
ข.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยรายปีของเบนซิน ระหว่าง ปี 2550-2555 พื้นที่รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง	115

รายการประมวลศัพท์และคำย่อ

Å	=	อังสตรอม
Area	=	พื้นที่ฟีก
C _{air}	=	ความเข้มข้นสาร BTEX ในอากาศ
cm ³ /g	=	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
GC-FID	=	Gas Chromatograph/Flame Ionization Detector
k	=	ค่าคงที่เฉลี่ย
LDPE	=	Low Density Polyethylene
mesh	=	จำนวนช่องต่อนิ้วของเครื่องคัดขนาดอนุภาค
mg/g	=	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/m ³	=	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
m ² /g	=	ตารางเมตรต่อกรัม
ND	=	ไม่สามารถตรวจวัดพบ
ng/hr _{passive}	=	นาโนกรัมต่อชั่วโมงในอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ
%RSD	=	เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
µg	=	ไมโครกรัม
µg/hr	=	ไมโครกรัมต่อชั่วโมง
µg /m ³	=	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ในปัจจุบันที่โลกมีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วทั้งทางด้านเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสังคม เป็นยุคของโลกไร้พรมแดนและในการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้าไปได้นั้นต้องอาศัยการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมเพื่อให้สามารถผลิตสินค้าและการบริการตอบสนองต่อความต้องการในการบริโภคของมนุษย์ ซึ่งระบบการผลิตมุ่งเน้นถึงผลผลิตที่ต้องการและทิ้งของเหลือใช้จำนวนมากออกสู่สิ่งแวดล้อม เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นแหล่งนิคมอุตสาหกรรมประกอบด้วย อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เคมีภัณฑ์ เหล็ก โรงกลั่นน้ำมัน และโรงไฟฟ้า [1] โดยอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยของเสียออกมาในรูปของไอระเหยซึ่งเป็นกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound) [2] สารกลุ่ม BTEX ซึ่งประกอบด้วย เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene) เป็นสารกลุ่มหนึ่งของกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานเหล่านี้ โดยสารกลุ่ม BTEX เป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำ ทำให้มีคุณสมบัติในการฟุ้งกระจายเป็นไอได้ง่ายในสถานะที่อุณหภูมิและความดันปกติ จึงเป็นสาเหตุให้มีสาร BTEX ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ น้ำ และดิน ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นสารที่มีพิษและกลั่นเหม็น จากการศึกษาพบว่า เบนซีน เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) และเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิด Photochemical Smog จากผลการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ ในพื้นที่มาบตาพุด โดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [3] จำนวน 7 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด วัดมาบชะลูุด โรงเรียนวัดหนองแฟบ สถานีเมืองใหม่มาบตาพุด ชุมชนบ้านพลง ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน และหมู่บ้านนพเกตุ ตั้งแต่เดือนกันยายน 2549 ถึง พฤษภาคม 2554 ได้นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยใน 1 ปีและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่าสถานการณ์ เดือน พฤษภาคม 2554 มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีค่าความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปี ได้แก่ สาร 1,3-Butadiene ตรวจพบเกินมาตรฐานบริเวณโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด สาร 1,2-Dichloroethane ตรวจพบเกินมาตรฐานบริเวณ วัดมาบชะลูุด สถานีเมืองใหม่มาบตาพุด ชุมชนบ้านพลง และหมู่บ้านนพเกตุ และสาร Benzene ตรวจพบเกินมาตรฐาน บริเวณโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด โรงเรียนวัดหนองแฟบ สถานีเมืองใหม่มาบตาพุด ชุมชนบ้านพลง ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน และหมู่บ้านนพเกตุ สำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีค่าความเข้มข้นไม่เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปี มี 6 สาร ได้แก่ VinylChloride, Chloroform, Dichloromethane, Trichloroethylene, 1,2-Dichloropropane และ Tetrachloroethylene

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาปริมาณ สารมลพิษในอากาศบริเวณต่างๆ โดยการเก็บตัวอย่างอากาศมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแอกทิฟและวิธีพาสซีฟ ซึ่งวิธีแอกทิฟเป็นการใช้ปั๊มดูดอากาศเข้าไปในอุปกรณ์เก็บอากาศ [4] แต่วิธีพาสซีฟเป็นการอาศัยหลักการแพร่ของอากาศ ซึ่งถ้ามีสารดูดซับติดตั้งอยู่ สารมลพิษในรูปแก๊สที่ต้องการศึกษาสามารถแพร่เข้าไปยังสารดูดซับได้เอง ดังนั้นอุปกรณ์การเก็บอากาศแบบพาสซีฟจึงง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่มีกระแสไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นี้จึงมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้ติดตามตัวได้ มีราคาถูก และสามารถนำไปใช้ตรวจวัดคุณภาพอากาศได้ในทุกสถานที่ เช่น ในชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม เมือง ชนบท ซึ่งอุปกรณ์ชนิดแอกทิฟไม่สามารถติดตั้งได้เนื่องจากเครื่องมีน้ำหนักมากต้องใช้กระแสไฟฟ้า และเครื่องมีราคาสูงมาก [5] การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับมลสารที่ปนเปื้อนสาร BTEX กับการเก็บตัวอย่างวิธีแอกทิฟและวิธีพาสซีฟ จึงเป็นที่นิยมแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับดีและ มีราคาถูก

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นถ่านที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวภายในอนุภาคสูงซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดผงละเอียด และชนิดเม็ดหรือเกล็ด [6] โดยชนิดผงละเอียดสามารถกระจายในน้ำได้ดี จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว เช่น ใช้ฟอกสีและดูดกลิ่นในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหาร และผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช ใช้ในการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และการทำให้น้ำบริสุทธิ์ ส่วนชนิดเม็ดหรือเกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมทำให้เกิดไนโตรเจน เช่น ใช้ในเครื่องกรองอากาศ เครื่องกันแก๊สพิษ กันกรองบุหรี่ เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในครัวเรือน โดยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น เช่น กลิ่นอับในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า ตู้รองเท้า เป็นต้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ จะพิจารณาอินทรีย์วัตถุซึ่งหมายถึงสารที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ ที่สำคัญ คือ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม น้ำมัน แกลบ จี่เลื้อย เป็นต้น มาผ่านกระบวนการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง (Carbonization process) ถ่านกัมมันต์ที่ได้จึงสามารถดูดซับสารได้ปริมาณมากขึ้น เพราะความสามารถในการดูดซับวัตถุนั้นสัมพันธ์กับโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยพื้นที่ผิวและปริมาณของรูพรุนแปรผันโดยตรงกับจำนวนรูพรุนที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ดูดซับสารได้ปริมาณมากขึ้น [7]

ปัจจุบันวัสดุที่เป็นของเหลือใช้จากการเกษตรได้รับความสนใจเป็นพิเศษในการมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ไม้ไผ่ ช้างข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง และแกลบดิบหรือแม้แต่เปลือกทุเรียน ถ้าปล่อยให้เปลือกทุเรียนย่อยสลายเองตามธรรมชาติจะใช้ระยะเวลาอันยาวนานและส่งกลิ่นเหม็น [8] เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณคาร์บอนที่คงตัวสูงและปริมาณเถ้าต่ำ มีคุณสมบัติสามารถนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ [9] พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีสามารถดูดซับสาร BTEX ที่ปนเปื้อนในอากาศสำหรับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟได้

อย่างมีประสิทธิภาพ ในภาคอุตสาหกรรมได้มีการศึกษาและพัฒนากลั่นน้ำมันอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งปัจจุบันสามารถกลั่นน้ำมันได้จากกะลามะพร้าว ปาล์ม และวัสดุอื่น ที่มีคุณภาพสูง เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเครื่องกรองน้ำ อุตสาหกรรมการผลิต ตู้เย็น อุตสาหกรรมเครื่องฟอกอากาศ อุตสาหกรรมการผลิตหน้ากากกันแก๊สพิษ หรือแม้แต่ด้านการแพทย์ ใช้เป็นยาดูดแก๊สในทางเดินอาหาร [10]

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการนำถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าวมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับ BTEX ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ [11] เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสาร BTEX ด้วยวิธีมาตรฐาน(แบบแอคทีฟ) และตรวจวัดสาร BTEX ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง จำนวน 7 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด วัดมาบชะลูต โรงเรียนวัดหนองแฟบ สถานีเมืองใหม่มาบตาพุด ชุมชนบ้านพลง ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน และหมู่บ้านนพเกตุ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลลิตา นัทสนจารกุล [12] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้เกลือแกง (NaCl) เป็นสารกระตุ้นโดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในแบบกะและแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังดูดซับ พบว่าอุณหภูมิในการเผากระตุ้นที่มีความเหมาะสมคือ 800 องศาเซลเซียส โดยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกทุเรียนและสังเคราะห์ได้จากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุดคือ 567 และ 532 มิลลิกรัมต่อกรัม ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 387 และ 489 ตารางเมตรต่อกรัมและมีปริมาตรรูพรุน 0.205 และ 0.248 มิลลิลิตรต่อกรัม ทำการศึกษาการดูดซับสารตะกั่วพบว่า การดูดซับสารตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นสมดุลในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm) จึงสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกทุเรียนมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารตะกั่วสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

Chandra และคณะ [13] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาคือ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนสารเคมีต่อวัตถุดิบคือ 1:2 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มีพื้นที่ผิว 991.82 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก 849.34 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก 0.368 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ปริมาตรของรูพรุนรวม 0.471 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ เมทิลีนบลู ซึ่งมีตัวแปรคืออุณหภูมิในการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สมการจลนพลศาสตร์ 3 แบบ คือ

สมการการดูดซับที่ผิวหน้าของแสงเมียร์และสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่งและอันดับสอง ผลการทดลองพบว่า จลนพลศาสตร์การดูดซับมีความสอดคล้องกับสมการการดูดซับที่ผิวหน้าของแสงเมียร์ และแบบปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่ง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเริ่มต้นเพิ่มขึ้นอัตราเร็วในการดูดซับ และประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มขึ้นอัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นแต่ประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง ไอโซเทอมการดูดซับของเมทิลีนบลูมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของการดูดซับแบบแสงเมียร์

Badie และคณะ [14] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วลิสง ซึ่งทำการเปรียบเทียบถึงผลที่ได้จากการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นโดยสารเคมีชนิดต่างๆคือ กรดฟอสฟอริกซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ และการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยกรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ 200-400 มิลลิกรัมต่อกรัม ขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์โพแทสเซียมคลอไรด์ การกระตุ้นด้วยไอน้ำสามารถดูดซับได้ 30-100 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงสุดสามารถเตรียมได้จากการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกแช่ในอัตราส่วน 1:1 และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

Prakash และคณะ [15] ได้ผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราเพื่อเปรียบเทียบการดูดซับสีจากการกระตุ้นทั้ง 3 วิธี วิธีแรกเป็นการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกอัตราส่วนถ่านต่อกรดเป็น 0.45 อุณหภูมิ ที่ใช้ในการเผากระตุ้น คือ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิธีที่สองเป็นการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้น คือ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิธีที่สามเป็นการแช่ด้วยกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วนถ่านต่อกรดเป็น 0.45 หลังจากนั้นทำการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราการไหลของไอน้ำเป็น 5 มิลลิลิตรต่อนาที ได้พื้นที่ผิวเท่ากับ 822, 1092 และ 954 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู เท่ากับ 255, 355 และ 375 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 835,765 และ 1,052 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

Prakash และคณะ [16] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 750 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น คือ 1 - 4 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการทดลองคือ การกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ขนาด 0.46 มิลลิเมตร ค่าการดูดซับไอโอดีน 765 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 1,092 ตารางเมตรต่อกรัม และค่า EGME Surface Area เท่ากับ 867 ตารางเมตรต่อกรัม

Srinivasakannan, C. [17] ได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ซึ่งอัตราส่วนที่ศึกษา คือ 1.0, 1.5 และ 2.0 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น คือ 400 องศาเซลเซียส และ 500 องศาเซลเซียส และศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นเป็นระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที จากการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดเตรียมได้จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที และอัตราส่วนระหว่างขี้เลื่อยและกรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1.5 ผลผลิตขั้นที่ได้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 1,096 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 1,496 ตารางเมตรต่อกรัม และร้อยละของผลผลิตขั้นที่ได้เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์

Feng, C.W. [18] ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของรูพรุน และการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกถั่วโดยการกระตุ้นด้วย KOH และกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำในการกระตุ้นด้วย KOH ซึ่งใช้อัตราส่วนสารเคมีต่อวัตถุดิบเท่ากับ 0.5, 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก เตาที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าได้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจาก 731 ตารางเมตรต่อกรัมเป็น 1,687 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก 80–92 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรรูพรุนทั้งหมด ส่วนวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำสามารถทำได้โดยการคาร์บอนไนซ์เปลือกถั่วจากอุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิถึง 450 องศาเซลเซียส ขณะเดียวกันให้ไอน้ำไหลผ่านด้วยอัตรา 3 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้นกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อที่อุณหภูมิ 830 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิว 821 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กเป็น 42 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรรูพรุนทั้งหมด

เดชา พิมพ์สุทธิและคณะ [19] ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร BTEX ในบริเวณพื้นที่แถบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่อื่นๆ ในบริเวณใกล้เคียง โดยการใช้ปั๊มดูดอากาศแบบพกพาและหลอดแก้วบรรจุผงถ่านกัมมันต์ หลังจากนั้นทำการสกัด BTEX ด้วยสารคาร์บอนไดซัลไฟด์และวิเคราะห์หาปริมาณสาร BTEX ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (GC/FID) พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจวัดได้สำหรับเบนซีน (3.7 และ $17.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และโทลูอิน (2.1 และ $8.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในพื้นที่เหนือลม พบว่ามีค่า ต่ำกว่าความเข้มข้นของเบนซีน ที่ (4.6 และ $26.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และของโทลูอิน (7.0 และ $370.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในบริเวณพื้นที่พักอาศัยได้ลมจากนิคมอุตสาหกรรม แสดงว่าบริเวณได้ลมจากนิคมอุตสาหกรรมได้รับผลกระทบจากการปล่อยสารดังกล่าวในพื้นที่ และเมื่อใช้เทคนิคการเปรียบเทียบค่า B/T ratio ของผลการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการศึกษาลักษณะการปล่อยสารเหล่านี้จากแหล่งกำเนิด (source profile) และจากการประมาณทิศทางลมในช่วงที่ทำการตรวจวัด พบว่ากระบวนการประกอบกิจการของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่นน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดหลักของสาร BTEX ในบริเวณดังกล่าว ทั้งนี้จากผลการตรวจวัดไม่พบค่าความเข้มข้นของเบนซีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งเกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศที่กำหนดไว้โดยองค์การอนามัยโลกที่ความเข้มข้น 5 ppbv หรือ $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สภาพอากาศและประเภทของแหล่งกำเนิดมีความสำคัญต่อระดับมลพิษ

ในบรรยากาศ การปล่อยสารจากแหล่งกำเนิดที่เป็นบริเวณกว้าง ทำให้บริเวณใต้ลมจากนิคมอุตสาหกรรมได้รับสาร BTEX ในปริมาณสูง โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อาทิเช่น โรงกลั่นน้ำมัน และโรงเก็บน้ำมัน (Tank Farms) เป็นแหล่งกำเนิดหลักของสาร BTEX ในบรรยากาศ

ประภา เทพสินทรพสกุล และ อภิษฎา มุ่งพัฒนกิจ [20] ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณสาร BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ (Air Passive Sampler) และเทคนิค HS-GC-FID โดยใช้ไครโอเลอินหยดลงบนกระดาษกรอง จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่ทำให้อุปกรณ์เก็บอากาศเข้าสู่ภาวะสมดุลมีค่าเท่ากับ 1 ชั่วโมง 20 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ไม่มีความเหมาะสมที่จะสามารถนำไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถทำการตรวจวัดได้ยังมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานมาก

สุจินันท์ แซ่มประเสริฐ และศรัณย์ ลาภนิธิพร [21] ได้การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในอุปกรณ์เก็บอากาศเพื่อตรวจวัดสาร BTEX โดยสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ 2 แบบ คือ ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีและถ่านกัมมันต์ผ่านการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการแยกขนาดอนุภาคได้ขนาด 60-80 mesh มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี มีพื้นที่ผิว 279.40 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.2204 มิลลิลิตรต่อกรัม ขนาดรูพรุน 236.20 อังสตรอม และถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี มีพื้นที่ผิว 4.85 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.0159 มิลลิลิตรต่อกรัม ขนาดรูพรุน 182.20 อังสตรอม จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ไปบรรจุลงในอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับสาร BTEX ทำการสกัดสาร BTEX ออกจากถ่านกัมมันต์ด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฮคสเปซ/แก๊สโครมาโตกราฟี (GC - FID) พบว่า มีค่าดูดซับสารเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน เท่ากับ 1,671.6, 6,408.9, 1,431.3, 25.0, 119.0 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

ภัสพร เณลิมรมย์ [22] ได้พัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอด เพื่อสร้างชุดทดสอบไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยอาศัยหลักการแพร่ในการเก็บตัวอย่าง โดยนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเก็บปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารมลพิษที่สำคัญตัวหนึ่งในอากาศ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยหลอดพอลิพรอพิลีนซึ่งบรรจุกระดาษกรองแบบใยแก้ว (GF/A) ซุปด้วยตัวดูดซับไนโตรเจนไดออกไซด์ คือ 20% TEA และบรรจุลงในกล่องป้องกันตลอดการเก็บตัวอย่างเพื่อลดผลกระทบจากสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา ไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศถูกจับโดยตัวดูดซับในหลอดเก็บตัวอย่างในรูปของไนไตรต์ หลังจากการเก็บตัวอย่างทำการสกัดตัวอย่างด้วยการเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และตามด้วยสารละลายซอลท์ 2 มิลลิลิตร ก่อนนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตรวจวัดไนไตรท์ได้เท่ากับ 0.01 และ 0.03 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ กับเครื่องวิเคราะห์แบบแอคทีฟซึ่งต่อกับเครื่องเคมีลูมิเนสเซนส์ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาเดียวกันสัมพันธ์กันสูง ($r^2 = 0.924$) พบว่า สีของตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐาน ความเข้มของสีชมพูแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในสารละลาย โดยแถบสีดังกล่าวแทนค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศในช่วง 0.03-1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากชุดทดสอบเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบแอคทีฟ พบว่าได้ผลเป็นทางเดียวกัน

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าว ในการดูดซับสาร BTEX

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่เหมาะสมในการดูดซับสาร BTEX ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟกับแบบแอคทีฟ (วิธีมาตรฐาน)

1.3.3 เพื่อตรวจวัดปริมาณสาร BTEX ในอากาศบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าว ในการดูดซับสาร BTEX

1.4.2 ศึกษาการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่เหมาะสมในภาคสนาม ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยกำหนดจุดเก็บอากาศ 7 จุด ตามจุดตรวจวัดอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนี้คือ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด วัดมาบชะลูุด โรงเรียนวัดหนองแพบ สถานีเมืองใหม่มาบตาพุด ชุมชนบ้านพลอง ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน และหมู่บ้านนพเกตุ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบชนิดของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตในประเทศที่เหมาะสมในการดูดซับสาร BTEX ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟหรือแบบแอคทีฟ

1.5.2 ทราบความเป็นไปได้ในการนำถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตในประเทศมาใช้ติดตามปริมาณสาร BTEX

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ถ่านกัมมันต์ [23]

ถ่านกัมมันต์นั้นมิใช่ให้ความหมายไว้หลายแบบเช่น Derbyshire (1995) ให้ความหมายของถ่านกัมมันต์ไว้ว่าถ่านกัมมันต์คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูง ซึ่งถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนั้นถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย จากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์จึงทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก Jankowska และคณะ (1991) ให้ความหมายของถ่านกัมมันต์ไว้ว่าถ่านกัมมันต์ คือ การนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ซึ่งถ้าพิจารณาที่พื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87-90 เปอร์เซ็นต์ และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบ คือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต

มอก. 900-2532 กำหนดว่าถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีการก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

2.2 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือ ถ่านฟิท ถ่านหิน ถ่านลิกไนต์ และไม้ เนื่องจากมีความสามารถและเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กสูงโดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ [24] มีปริมาณสารระเหยต่ำมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีราคาถูกและหาได้ง่ายมีคุณสมบัติคงที่

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่านส่วนใหญ่จะเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันอินทรีย์วัตถุหรือเรียกว่า ถ่านสังเคราะห์ หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ถ่านหินก็ได้ ถ่านสังเคราะห์แบ่งตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็น 2 ประเภท คือ ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ถ่านไม้ และถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน เช่น ถ่านไม้ ถ่านขานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านกากน้ำตาล โดย

ทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้ ปัจจุบันจึงได้มีการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามปัญหาในการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ คือวัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันทำให้ยากในการควบคุมขั้นตอนการผลิต

2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการเผาให้เป็นถ่านคาร์บอนหรือการคาร์บอนไนเซชัน และขั้นตอนการกระตุ้นหรือแอคติเวชัน

2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนไนเซชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอนไนเซชันหลังจากนั้นทำการอบหรือตากวัตถุดิบให้แห้ง แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียวทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก อาจจะนำวัตถุดิบนั้นไปผ่านการคาร์บอนไนเซชันก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง อาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสานเช่น แป้ง น้ำมันเตาหรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันแล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นขั้นตอนต่อไป

2.3.2 กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน

กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เป็นการไพโรไลซิสซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วย โดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลืกลายไปเป็นโครงสร้างของถ่านคาร์บอน ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และแก๊สต่างๆ ขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอนไนเซชันนั้นจะเริ่มมีการสร้างของโครงสร้างรูพรุน โดยระหว่างการคาร์บอนไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนซึ่งรวมถึงสารระเหยต่างๆด้วย เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของแก๊สและน้ำมันทาร์ จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอนที่มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบโดยจะมีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่างผลึกซึ่งจะมีสารอินทรีย์ที่เป็นทาร์อุดช่องว่างเหล่านั้นอยู่ โดยในส่วนประกอบของถ่านคาร์บอนที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อ

ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอไนเซชัน [25] แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบในช่วงอุณหภูมิ 27-197 องศาเซลเซียส
2. การไพโรไลซิส โดยเกิดแก๊สและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ 197-497 องศาเซลเซียส
3. การเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านคาร์บอน โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากในช่วงอุณหภูมิ 497 - 847 องศาเซลเซียส

ตัวแปรสำคัญในขั้นตอนกระบวนการคาร์บอไนเซชันได้แก่

1. อุณหภูมิ จะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการเกิดถ่านคาร์บอนจะมีค่าลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้จะเพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบ
2. อัตราการให้ความร้อน จะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านคาร์บอนที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเพราะถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันด้วยอัตราเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย
3. ตัวกลางของปฏิกิริยา [26] จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาด้านแก๊สและไอที่เกิดระหว่างกระบวนการคาร์บอไนเซชันถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน (เฉื่อย) ต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอนและแก๊สจากการเผาไหม้ เป็นต้น ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า
4. ธรรมชาติของวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสภาวะในการคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมแตกต่างกัน โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

ถ่านคาร์บอนที่ได้จากการคาร์บอไนเซชัน ควรจะมีสีดำตลอดเมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา ปลายที่หักจะแหลมคมและปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า ถ่านคาร์บอนที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันนี้มีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ในช่องว่างหรือเกาะอยู่ตามผิวจึงจำเป็นต้องนำถ่านคาร์บอนไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

2.3.3 การกระตุ้น (Activation) [27, 28]

การกระตุ้น คือ การทำให้ถ่านคาร์บอนมีค่าความสามารถในการดูดซับสารที่สูงขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น วัตถุประสงค์ของการกระตุ้นเพื่อ

1. เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
2. เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว หมายถึง ทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
3. เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี อย่างไรก็ตามอาจใช้ทั้งสองวิธีรวมกันได้ เช่น การใช้สารเคมีกระตุ้นแล้วนำไปเผากระตุ้นต่อด้วยไอน้ำหรือแก๊สชนิดอื่น

การกระตุ้นทางกายภาพเป็นการเพิ่มปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิว ซึ่งจะเป็นการทำปฏิกิริยาของแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ด้วยแก๊สที่ช่วงอุณหภูมิ 700-1,000 องศาเซลเซียส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไป คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไอน้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือแก๊สผสมก็ได้ ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น คือ

1. โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านคาร์บอนที่นำมากระตุ้น
2. สารอนินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน
3. ชนิดของแก๊สที่ใช้ในการกระตุ้น
4. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
5. ความดันของแก๊ส
6. เวลาในการเกิดปฏิกิริยา
7. ขนาดอนุภาคของถ่านคาร์บอน

ในขั้นตอนของกระบวนการกระตุ้น คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สที่ใช้ในการกระตุ้นเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์แพร่ออกจากผิวของถ่านคาร์บอน ซึ่งการเกิดแก๊สทำให้บางส่วนของเม็ดถ่านคาร์บอนจะเกิดเป็นรูพรุนในโครงสร้างของถ่าน ในขั้นตอนการทำคาร์บอนในเซชันจะได้ถ่านที่ประกอบไปด้วยรูพรุนเล็กๆจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกรบกวนไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางด้วยคาร์บอนสถานการณ์การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูพรุนที่ถูกปิดไว้ อีกทั้งยังเป็นการสร้างรูพรุนขึ้นมาใหม่ด้วย กระบวนการกระตุ้นในทางกายภาพนั้น อาจมีกระบวนการผลิตที่ต่างกันไปขึ้นกับลักษณะของวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่นการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอัดก้อน

หรือกระบวนการปล่อยให้สารระเหยออกจากวัตถุดิบนั้นในบางกระบวนการอาจมีขั้นตอนการนำวัตถุดิบล้างด้วยกรดก่อนเพื่อที่จะให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณเถ้าต่ำ

การกระตุ้นทางเคมีเป็นกระบวนการกระตุ้นโดยการใส่สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายประเภทกรดหรือเกลือของโลหะ เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เป็นต้น โดยการแช่วัตถุดิบหรือถ่านในสารเคมีก่อนนำมาเผากระตุ้น วัตถุดิบหรือถ่านจะดูดซับเอาสารละลายเข้าแทรกอยู่ตามรูพรุนบนผิววัตถุดิบหรือถ่าน เมื่อนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงประมาณ 500-800 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวของสารประกอบเหล่านี้และเปลี่ยนเป็นแก๊สระเหยออกไป ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นเป็นจำนวนมาก การกระตุ้นด้วยสารเคมีจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพจึงเป็นการประหยัดพลังงานมากกว่า และสารเคมีสามารถแทรกซึมลงไปยังผิวถ่านคาร์บอนได้อย่างทั่วถึง เกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์มากและลดขั้นตอนการผลิตได้มาก แต่มีข้อเสียคือ การล้างเอาสารเคมีที่ตกค้างทำได้ยาก สารเคมีที่ใช้มีราคาแพง และอาจเป็นพิษต่อร่างกาย ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์, การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก, การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางอุตสาหกรรม โดยการแช่วัตถุดิบไว้ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ ในอัตราส่วนประมาณ 0.5-4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วน อาจเติมกรดเกลือหรือกรดฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อยแล้วนำไปทำการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส จากนั้นล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำหรือกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อเป็นการกำจัดซิงค์คลอไรด์ที่เหลือและสารประกอบอื่นๆของซิงค์คลอไรด์ที่เกิดขึ้นออกไป ในทางอุตสาหกรรมสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกแต่ด้วยปัญหาการกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ระยะหลังการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดลง

การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก จะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น คือ 400-600 องศาเซลเซียส ตัวอย่างของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีนี้ได้แก่ การใช้ดินพูนหรือขี้เถ้าโดยการผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 25-50 %w/w แล้วนำไปเผา กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะเกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ โดยกรดฟอสฟอริกกลายเป็นฟอสฟอรัสและไฮโดรด์สารที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์กลับมาเป็นกรดฟอสฟอริก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโพแทสเซียมหรือโซเดียม (K^+ หรือ Na^+) กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ แล้วให้ความร้อนไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าแทรกตัวอยู่ในระหว่างชั้นของผลึกของถ่านกัมมันต์ เมื่อ

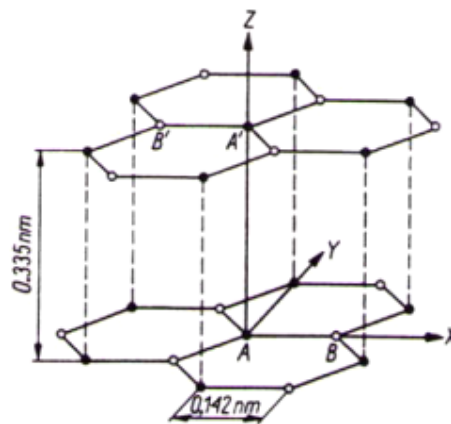
อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และออกซิเจนจะหลุดออกไปทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ

2.4 โครงสร้างถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์มีมากกว่าแกรไฟต์

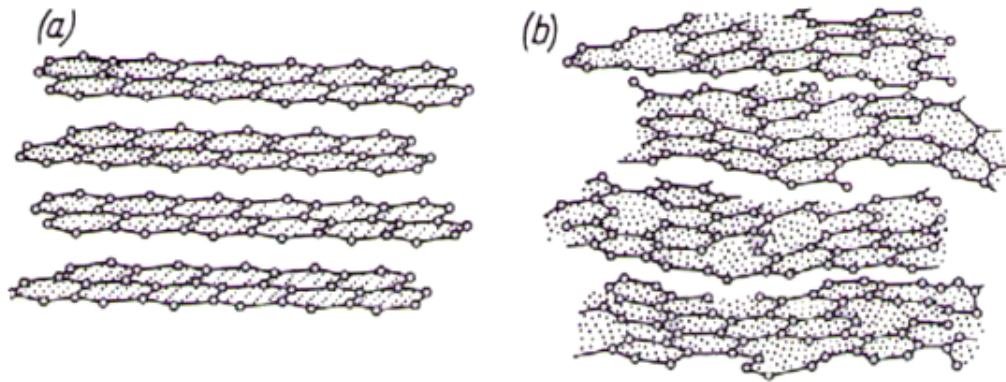
2.4.1 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเช่นเดียวกันกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกของแกรไฟต์ โดยโครงสร้างประกอบไปด้วยชั้นของคาร์บอนอะตอมในรูปของวงแหวนเบนซีน หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม คือ อะตอมจะเกิดพันธะโควาเลนต์ ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นมีค่าประมาณ 0.142 นาโนเมตร (Å) อิเล็กตรอนที่เหลือนอกหนึ่งตัวจะเป็นไพอิเล็กตรอน ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างทำให้เกิดเป็นเรโซแนนซ์เพื่อทำให้โครงสร้างมีความเสถียรยิ่งขึ้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ แต่ละแผ่นราบจะห่างกันประมาณ 0.335 นาโนเมตร คิสเพลสเมนต์ในทิศทางขนานกับแผ่นจะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาลส์มีค่าอ่อนลง ดังนั้นจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องในโครงสร้างได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.1



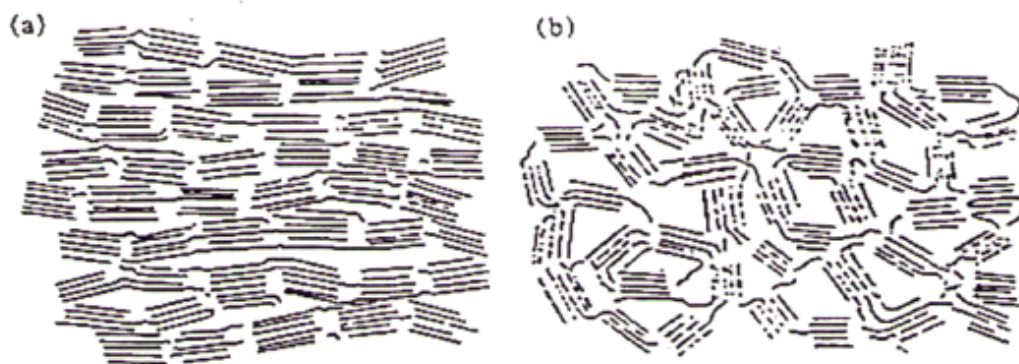
รูปที่ 2.1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์ [29]

ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆที่ไม่สมบูรณ์จึงเกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉากและซ้อนเหลื่อมกันในแนวระนาบเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า โครงสร้างแบบเทอร์โบสแตติก การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆจะมีทิศทางไม่แน่นอนซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอนไนเซชัน ผลึกเล็กๆนี้มักมีความสูงประมาณ 9-12 นาโนเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดประมาณ 20-30 นาโนเมตร ประกอบด้วย 3 แผ่นระนาบของชั้นแกรไฟต์ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 เท่าของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูป 6 เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และผลึกของถ่านกัมมันต์ (a) โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และ (b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะขึ้นอยู่กับสถานะในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ได้มีการจัดประเภทของถ่านกัมมันต์ตามโครงสร้างของผลึกออกเป็น 2 ชนิด คือ โครงสร้างที่เป็นแกรไฟต์ง่ายที่อุณหภูมิสูง และโครงสร้างที่มีลักษณะแกรไฟต์เพียงเล็กน้อย (ที่สถานะเดียวกัน) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ (a) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์ง่าย และ (b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์เล็กน้อย

2.4.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในกระบวนการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการทำคาร์บอนในเซชันมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียของคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่นาโนของรู เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบ และมีความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิด

ข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี รูพรุนของถ่านกัมมันต์นั้นจะสามารถจำแนกตามได้ด้วย ขนาดรัศมีของรูพรุน ได้แก่ แมคโครพอร์ เมโซพอร์ และไมโครพอร์

แมคโครพอร์ รัศมีของรูพรุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 100-200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2- 0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุน ประเภทอื่น ดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับเป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

เมโซพอร์ หรือ ทรานซิชั่นนัลพอร์ มีขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5-100 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีพื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มี ขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล อะลูมินาเจล ตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต

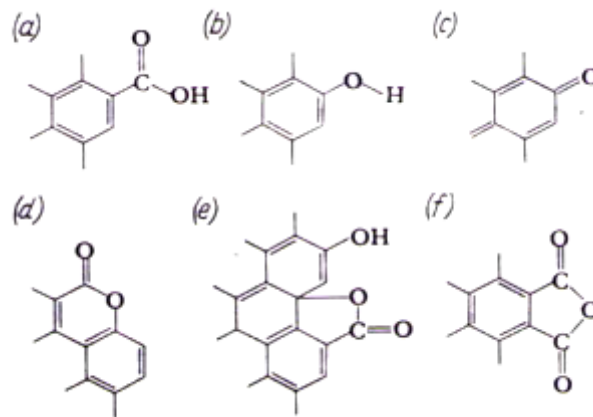
ไมโครพอร์ ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตร 0.2-0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งมีจำนวนมากถึง 1,500 ตาราง เมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูด ซับมากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิว จำเพาะ และการกระจายตัวของรูพรุนจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนซึ่งกระจัดกระจายอยู่ทั่ว โครงสร้างที่มีทั้ง แมคโครพอร์ เมโซพอร์ และไมโครพอร์ เรียกว่า โครงสร้างผสม พบว่าแมคโครพอร์เป็นเพียงทางเปิด สู่ผิวภายนอกอนุภาค โดยมีเมโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกทีหนึ่ง โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200-300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กจะผล ต่อความจุในการดูดซับ จะมีประมาณร้อยละ 90-95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุ ในการดูดซับนั้นยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย คือ ถ้าวัสดุผิวของถ่านกัมมันต์เป็น เพียงระนาบพื้นฐาน ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่นใด การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิด จากไฟโอเล็คตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน ถึงแม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาที่จะ หลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มี หมู่ฟังก์ชัน การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแกร่งกว่า โอกาสที่ โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า

2.4.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

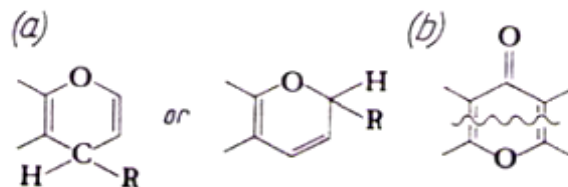
พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่นๆได้ เช่น อะตอมของ ออกซิเจนและไฮโดรเจน ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป การที่มี อะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากอะตอม

เหล่านี้เมื่อเกิดการรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนจะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนอลโดยหมู่ฟังก์ชันที่พบได้บ่อยบนผิวของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด เช่นหมู่ Carboxyl, Phenolic hydroxyl, Quinonoid, Normal lactone, Fluorescein-type lactone และ Carboxylic acid anhydride ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และอีกกลุ่มคือหมู่ฟังก์ชันที่เป็นเบส ได้แก่ Quinine, Chromene และ Pyronelike ดังแสดงในรูปที่ 2.5



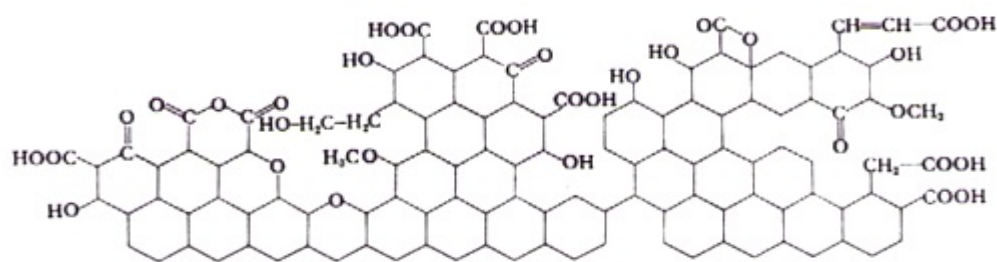
รูปที่ 2.4 กลุ่มฟังก์ชันแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (a) Carboxyl (b) Phenolic hydroxyl

(c) Quinonoid (d) Normal lactones (e) Fluorescein-type lactone (f) Carboxylic acid anhydrides



รูปที่ 2.5 กลุ่มฟังก์ชันแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (a) Chromene และ (b) Pyrone-like

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมถ่านกัมมันต์ลงไปในสารละลาย ทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายเปลี่ยนแปลง คือ สามารถแสดงความเป็นกรดหรือเบสได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนบนพื้นผิวมากจะแสดงความเป็นกรด ซึ่งพื้นผิวที่มีความเป็นกรดจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อยจะแสดงความเป็นเบสซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์

2.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไป เช่น

2.5.1 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

1. ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษเพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษ และไอของสารอินทรีย์ได้
2. ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ
3. ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำ
4. กำจัดแก๊สที่ปนเปื้อนออก เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซีลีเนียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย ไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น
5. กำจัดกลิ่นจากอากาศในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง
6. ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

2.5.2 ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแยกออกได้หลายประเภท เช่น

1. ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เครื่องดื่มแอลกอฮอล์
2. ใช้ในทางการแพทย์ อุตสาหกรรมเคมีและยา
3. ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย
4. ใช้ในการแยกโลหะออกจากสารละลายที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ เป็นต้น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา เช่น ตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน เป็นต้น

2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ในการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานจะต้องพิจารณาชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยทำการพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ คุณสมบัติที่สำคัญได้แก่

2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.6.1.1 ความหนาแน่น เป็นการทดสอบหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตร คำว่าโดยปริมาตรในที่นี้หมายถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค ปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์และปริมาตรของเนื้อถ่านกัมมันต์ ดังนั้นจึงขึ้นกับขนาดและความพรุนของถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ขนาดของอนุภาคคงที่พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำ จะมีปริมาณรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก และยังพบว่าค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรยังขึ้นอยู่กับความชื้นของอนุภาคด้วย คือ อนุภาคที่มีค่าความชื้นสูงจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดลง

2.6.1.2 พื้นที่ผิวจำเพาะ [31] เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้เพื่อแสดงถึงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เนื่องจากสามารถเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทุกชนิด โดยใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สในการดูดซับตามหลักการของ BET Surface Area โดยปกติถ่านกัมมันต์สามารถมีพื้นที่ผิวดังแต่ 600-2,500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.6.2 คุณสมบัติทางเคมี

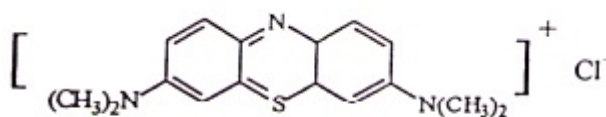
เป็นการทดสอบหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์ เพื่อนำมาพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งาน เนื่องจากกลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบและสถานะที่ใช้ในการกระตุ้น การนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงต้องคำนึงถึงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์เป็นสำคัญ

2.6.3 คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมการดูดซับของของเหลวบนถ่านกัมมันต์เมื่อนำไปดูดซับของเหลว

2.6.3.1 การดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยเป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับไปบนถ่านกัมมันต์จำนวน 1 กรัม ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มัล หรือความเข้มข้นที่เหลืออาจมีค่าแตกต่างจาก 0.02 นอร์มัล อยู่ในช่วง 0.007-0.03 นอร์มัล โมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดเท่ากับ 0.54 นาโนเมตร

2.6.3.2 การดูดซับเมทิลีนบลูสามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลู ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนแบบเมโซพอร์ คือ จะมี

ขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร เนื่องจากเมทิลีนบลูมีขนาดรัศมีโมเลกุลเท่ากับ 1.6 นาโนเมตร โดยโครงสร้างของโมเลกุลเมทิลีนบลูแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู

2.6.4 สมบัติด้านเคมีฟิสิกส์

2.6.4.1 ปริมาณสารระเหย เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้ก โดยนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ได้ ทำการทดสอบได้โดยนำตัวอย่างมาอบให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นาโนเมตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ± 10 วินาที ค่าปริมาณของสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไป เนื่องจากการให้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวแก่ถ่านกัมมันต์

2.6.4.2 ปริมาณความชื้น เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์ โดยการอบให้แห้งในเตาอบทำการวิเคราะห์โดยบดถ่านกัมมันต์ชนิดผงปริมาณ 1-2 กรัมหรือชนิดเม็ด 5-10 กรัม นำไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

2.6.4.3 ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลานานปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นด้วยเถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอน นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบประเภทซัลเฟตคาร์บอเนต และสารประกอบอื่นๆ ของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียมและโลหะอื่นๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ วิธีการที่จะใช้ในการกำจัดเถ้าออกจากถ่านกัมมันต์จะใช้กรด การหาปริมาณเถ้าสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างใส่ในครุชีเบลและนำไปใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 650 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-16 ชั่วโมง ซึ่งมวลของเถ้าจะคงที่ที่เวลาเท่าใดนั้นจะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์

2.7.1 ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการกวนสารละลายหรือการไหลผ่านคอลัมน์

เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีขนาดและลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน ทำให้การดูดซับของถ่านกัมมันต์ต้องการความปั่นป่วนในระดับที่แตกต่างกัน เช่น ถ่านกัมมันต์แบบผงต้องการความปั่นป่วนสูงจึงจะเกิดการดูดซับดี เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นกับการแพร่ผ่านรูพรุนของ โมเลกุลที่ถูกดูดซับเข้า

สู่โพรงช่องว่างของถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดต้องการความปั่นป่วนต่ำ เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ผ่านฟิล์ม [30]

2.7.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

ขนาดของถ่านกัมมันต์เป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราเร็วในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ คือ ถ้าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ส่วนมากเป็นพื้นที่ผิวของช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดภายนอกของถ่านกัมมันต์จะไม่ค่อยมีผลต่อการกำหนดพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ทั้งแบบผงและเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักไม่แตกต่างกัน ทำให้ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์แบบผงจะมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด

2.7.3 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์

เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารและถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงทำให้สารขนาดเล็กนี้ถูกดูดเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อนจากนั้นสารขนาดใหญ่จึงจะถูกดูดเข้าสู่รูพรุนเป็นลำดับต่อมา

2.7.4 ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในการดูดซับสารออกจากสารละลาย ดังนั้นค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายจะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่าความเป็นกรด-เบสจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย

2.7.5 อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับ

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจะทำให้การแพร่ผ่านของตัวถูกละลายไปยังรูพรุนของถ่านกัมมันต์เกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้อัตราเร็วในการดูดซับสูงขึ้นแต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลายกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ลดลง

2.8 หลักการของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี [31]

แก๊สโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้สำหรับแยกสารผสม ที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นแก๊สได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง (ไม่เกิน 450 องศาเซลเซียส) แล้วผ่านแก๊สเข้าสู่คอลัมน์ บรรจุเฟสคงที่ โดยแก๊สตัวพาซึ่งจะมีหน้าที่ในการพาสารไปตามคอลัมน์ แล้วสารจะเกิดการแยกขึ้น นอกจากใช้ในการแยกสารแล้วยังใช้ทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและวิเคราะห์เชิงปริมาณสารที่สนใจในสารตัวอย่างเป็นเทคนิค

ที่นิยมใช้กว้างขวาง เนื่องจากสามารถวิเคราะห์สารในระดับปริมาณต่ำๆ ได้ดี และได้ผลแม่นยำ แก๊สโครมาโทกราฟี แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

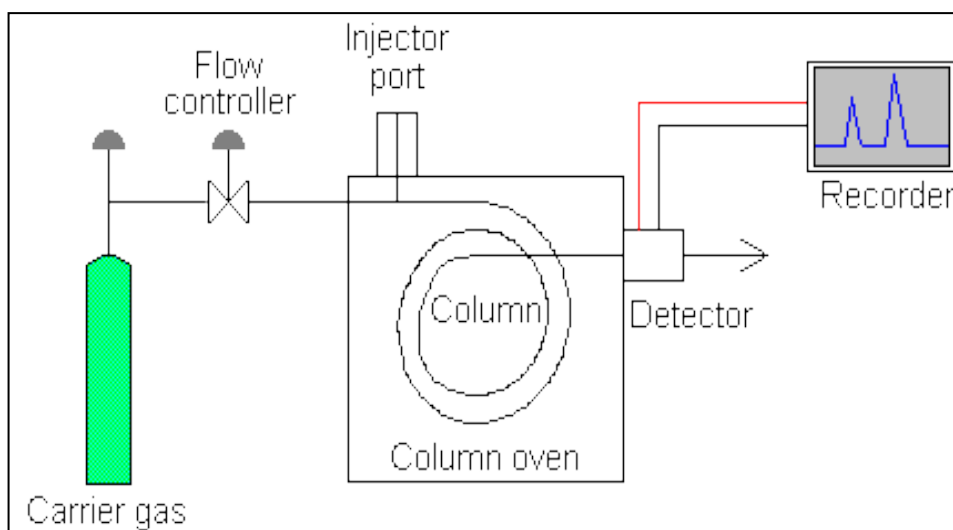
2.8.1 Gas - Solid Chromatography ใช้เฟสคงที่เป็นของแข็งที่มีความสามารถในการดูดซับสารที่เป็นแก๊สซึ่งต้องการแยกได้ ส่วนใหญ่แล้ววิธีนี้ใช้แยกเฉพาะสารที่เป็นแก๊ส หรือสารที่เป็นโมเลกุลเล็กๆ เท่านั้น คอลัมน์ที่ใช้มักจะบรรจุด้วย Active solids เช่น Molecular sieves หรือ Porous polymers, Silica gel, Alumina และ Activated carbon เป็นต้น

2.8.2 Gas - Liquid Chromatography ใช้เฟสคงที่เป็นของเหลวมาอยู่บนของแข็งหรือฉาบไว้ที่ผิวด้านในของคอลัมน์ เมื่อไอของสารผสมผ่านคอลัมน์ จะสามารถแยกออกจากกันได้โดยอาศัยความสามารถในการกระจายตัวของสารในเฟส 2 เฟส ที่แตกต่างกัน วิธีนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถใช้ในการแยกสารอินทรีย์ที่ระเหยได้

เครื่องมือที่ใช้ เรียกว่า เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.8 และส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

2.9 ส่วนประกอบเครื่องของแก๊สโครมาโทกราฟ

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจะประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญ ดังนี้

2.9.1 แก๊สตัวพา (Carrier gas) จะบรรจุในถังทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ โดยทั่วไปมักจะใช้แก๊สไนโตรเจนหรือแก๊สฮีเลียมทำหน้าที่เป็นแก๊สตัวพาสารตัวอย่างเข้าไปในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ซึ่งอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่นี้จะต้องอยู่ในอัตราเร็วที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการแยกได้ดี ถ้า pack column จะใช้อัตราการไหลประมาณ 20-50 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนคอลัมน์คาปิลลารี (capillary column) จะใช้อัตราการไหลประมาณ 1-2 มิลลิลิตรต่อนาที

2.9.2 ส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection port) เป็นส่วนที่นำสารตัวอย่างเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ส่วนนี้สามารถปรับอุณหภูมิได้ (ในช่วงอุณหภูมิห้องถึงประมาณ 400 องศาเซลเซียส) เพื่อให้สารตัวอย่างสามารถกลายเป็นไอได้ทันทีโดยไม่ร้อนเกินไปจนทำให้ตัวอย่างสลายตัว ซึ่งโดยทั่วไปควรตั้งอุณหภูมิของส่วนฉีดสารตัวอย่างให้สูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่างประมาณ 20 องศาเซลเซียส เมื่อตัวอย่างถูกฉีดเข้ามาจะกลายเป็นไอแล้วถูกแก๊สพาออกจากส่วนฉีดสารตัวอย่างเข้าคอลัมน์ โดยส่วนฉีดสารตัวอย่างมี 2 แบบ ขึ้นกับชนิดของคอลัมน์ โดยถ้าคอลัมน์ที่ใช้เป็นคอลัมน์ชนิด packed column แก๊สพาจะพาไอสารตัวอย่างที่อยู่ส่วนฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในคอลัมน์ทั้งหมด แต่ถ้าเป็นคอลัมน์คาปิลลารี ซึ่งเป็นคอลัมน์ที่มีขนาดเล็ก ปริมาณสารตัวอย่างที่อยู่ในส่วนฉีดสารตัวอย่างจะมีมากเกินไปจนทำให้เกิดการแยกเกิดขึ้นไม่ได้ ดังนั้นต้องใช้ส่วนฉีดสารตัวอย่างแบบที่มีวาล์วที่สามารถแบ่งให้ตัวอย่างบางส่วนถูกกำจัดออกไปโดยไม่ผ่านเข้าคอลัมน์ ซึ่งจะเรียกว่า split/splitless inlet โดยสามารถกำหนด split ratio ได้ว่าต้องการให้สารเข้าคอลัมน์มากน้อยเพียงใด เช่น ถ้าตั้ง split

ratio เป็น 1:100 ก็จะต้องตัวอย่างเข้าคอลัมน์เพียง 1 ส่วน อีก 99 ส่วนถูกกำจัดออกไป ปัจจุบันมีส่วนคิดสารตัวอย่างที่ใช้กับคอลัมน์คาปิลลารีอีกหลายแบบ

2.9.3 คอลัมน์ (Column) เป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้เกิดการแยก โดยคอลัมน์จะอยู่ในตู้อบซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมสำหรับการแยก (ช่วงอุณหภูมิห้องจนกระทั่งถึงประมาณ 350 องศาเซลเซียส) ขึ้นอยู่กับชนิดของคอลัมน์ โดยที่เฟสอยู่หนึ่งแต่ละชนิดในคอลัมน์จะมีความสามารถในการทนความร้อนได้ดีไม่เท่ากันโดยสามารถดูจากค่าอุณหภูมิสูงสุดที่แนะนำในคอลัมน์จะมีเฟสคงที่ซึ่งเป็นของเหลวที่จุดเดือดสูงบรรจุอยู่ ซึ่งการบรรจุทำได้ 2 แบบ คือ ถ้าเป็น packed column ของเหลวนี้จะถูกเคลือบอยู่บนผิวหน้าของเม็ดของแข็งเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า solid support ถ้าเป็น capillary column ของเหลวนี้จะถูกเคลือบเป็นฟิล์มบางๆอยู่ที่ผิวด้านในของตัวคอลัมน์ อาจเรียกว่า “WCOT” (wall coated open tubing) การแยกของสารเกิดได้จากการที่สารตัวอย่างเกิดการกระจายตัวในเฟส 2 เฟส คือ เฟสเคลื่อนที่และเฟสอยู่นิ่งโดยการกระจายของสารตัวอย่างเป็นไปตามค่า Distribution Coefficient, K_D

$$\text{โดย } K_D = \frac{[A]_{\text{stationary phase}}}{[A]_{\text{mobile phase}}} \quad \text{เมื่อ } A \text{ คือสารที่สนใจแยก}$$

ถ้าในสารตัวอย่างมีองค์ประกอบหลายๆชนิด แต่ละชนิดจะแยกออกจากกันได้ ถ้ามี K_D ต่างกัน โดยทั่วไปการเลือกชนิดของเฟสคงที่จะเลือกให้มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกับสารตัวอย่าง ถ้าสารตัวอย่างไม่มีขั้ว ก็จะเลือกชนิดของเฟสคงที่ที่ไม่มีขั้ว เพื่อให้มีค่า K_D สูงพอที่จะทำให้เกิดการแยกจากสารอื่น ๆ ได้สารแต่ละชนิดที่มีค่า K_D ต่างกัน จะเคลื่อนที่ในคอลัมน์ได้เร็วต่างกัน สารที่ K_D น้อยจะเคลื่อนที่ได้เร็วและออกมาที่ปลายคอลัมน์อีกด้านหนึ่งที่ต่ออยู่กับดีเทคเตอร์ก่อนสารที่มี K_D มาก

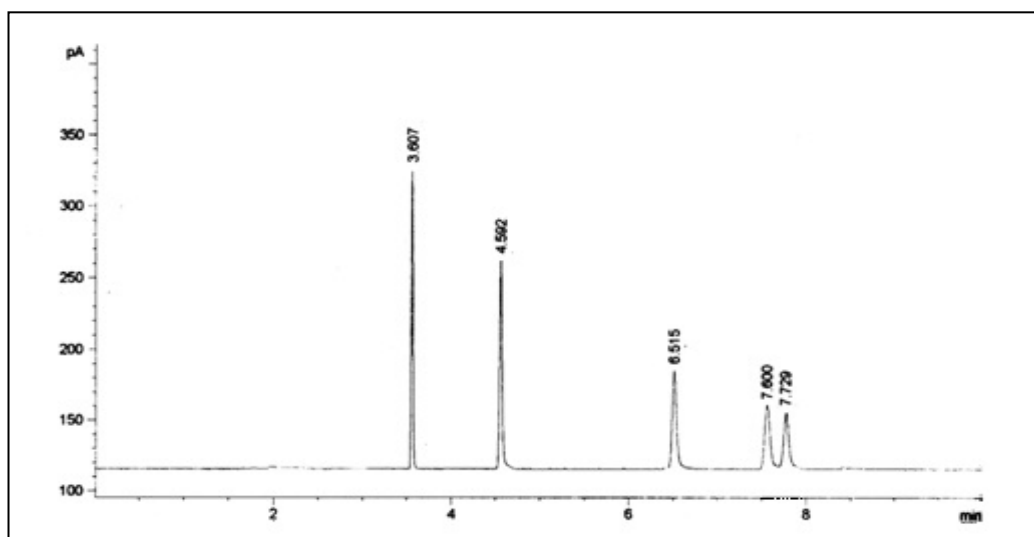
2.9.4 เครื่องตรวจวัด (Detector) เป็นส่วนที่บอกให้ทราบว่ามีการออกจากคอลัมน์หรือดีเทคเตอร์มีหลายชนิดที่เป็น universal detector ใช้ได้กับสารต่างๆไป ได้แก่ เฟรมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (FID) โดยที่ดีเทคเตอร์ จะมี H_2 เป็นเชื้อเพลิง และ O_2 เป็นออกซิเจนเพื่อจุดให้เกิดเปลวไฟเล็กๆ เมื่อสารตัวอย่างผ่านมาที่เปลวไฟจะถูกไอออไนซ์ให้กลายเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโทรด 1 คู่ ทำให้ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดเปลี่ยนแปลงไปจากขณะที่ยังไม่มีไอออไนซ์ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณโดยต่อกับวงจรไฟฟ้าได้เป็นปริมาณกระแส แล้วส่งต่อสัญญาณไปยัง read out system นอกจาก FID แล้วยังมีดีเทคเตอร์ชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิดที่ควรรู้จักมีดังนี้

2.9.4.1 Thermal Conductivity Detector (TCD) เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นแก๊สโมเลกุลเล็ก ๆ และจะใช้ได้ดีกับ packed column ที่มีเฟสอยู่หนึ่งเป็นสารที่เกิดกลไกการแยกแบบการดูดซับ เพราะว่าเป็นดีเทคเตอร์ที่มีค่าความไวต่ำ

2.9.4.2 Electron Capture Detector (ECD) เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีอะตอมของธาตุที่สามารถจับอิเล็กตรอนได้ดี ได้แก่ ธาตุฮาโลเจน เช่น การวิเคราะห์สารประกอบไตรฮาโลมีเทน และการวิเคราะห์ยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เป็นต้น

2.9.4.3 Mass Spectrometer Detector (MSD) เป็นดีเทคเตอร์ที่มีประโยชน์มาก เนื่องจากสามารถใช้วิเคราะห์หาชนิดของสารได้โดยไม่ต้องฉีดสารมาตรฐานเทียบ การวิเคราะห์ด้วยดีเทคเตอร์ชนิดนี้ได้ผลการทดลองเป็น 2 แบบ คือได้โครมาโทกราฟและจะได้ mass spectrum ของสารตัวอย่าง เมื่อคอมพิวเตอร์นำ mass spectrum ของสารตัวอย่างที่ได้ไปเทียบกับ mass spectrum ของสารมาตรฐานที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลจะประมวลผลโดยบอกชนิดของสารที่มี mass spectrum pattern ใกล้เคียงกันที่สุด

2.9.5 ระบบบันทึกและเก็บข้อมูล (Read out system) สัญญาณของดีเทคเตอร์จะ plot ปริมาณไฟฟ้าเป็นแกน Y เทียบกับแกน X เป็นเวลาที่สารอยู่ในคอลัมน์ (retention time) ลักษณะกราฟขณะไม่มีสัญญาณของตัวอย่างจะเป็นเส้นเรียบๆ เรียกว่า baseline แต่ในขณะที่มีตัวอย่างจะแสดงเป็นพีกทั้งหมดรวมเรียกว่า โครมาโทแกรม ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะโครมาโทแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

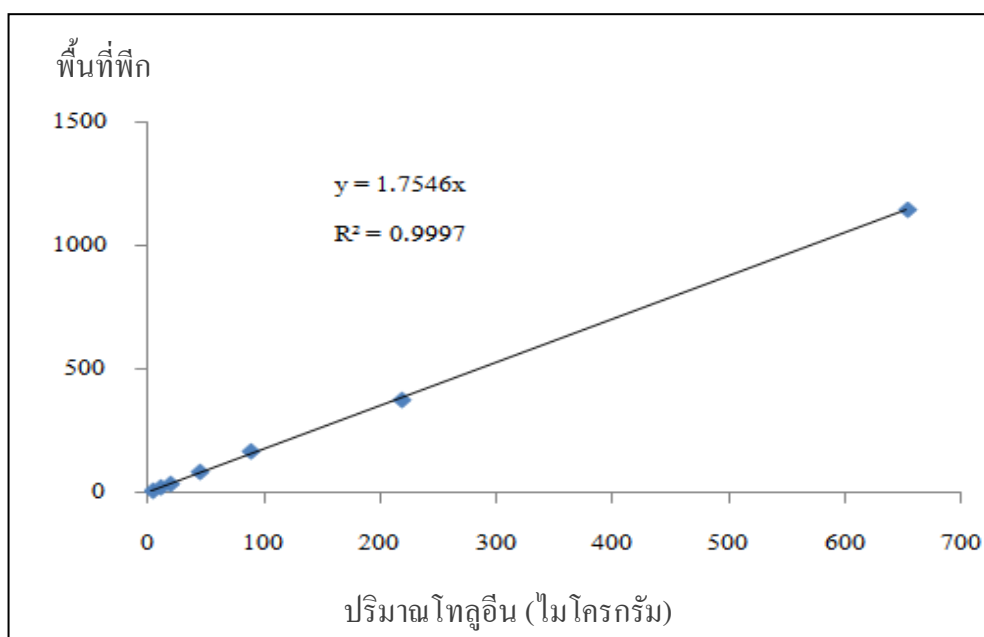
การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและวิเคราะห์เชิงปริมาณ ทำได้โดยนำโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานที่ทำการทดลองที่สภาวะเดียวกันมาเปรียบเทียบกับค่า เวลาที่สารเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (retention time) นับจากเวลาเริ่มต้นของสารวิเคราะห์ถึงตำแหน่งเวลาที่ส่วนการตรวจวัดอ่านสัญญาณตำแหน่งเวลา

สูงสุด (peak) ถ้าสารตัวอย่างมีค่าเวลาที่สารเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ ตรงกับของสารมาตรฐาน แสดงว่า น่าจะเป็นสารชนิดเดียวกัน ถ้าเป็นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC ที่ใช้เครื่องตรวจวัดชนิด Mass Spectrometer Detector (GC/MS) สามารถวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยการเทียบ mass spectrum ของสาร ตัวอย่างกับ mass spectrum ในข้อมูลพื้นฐานที่มีในเครื่อง

สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ทำได้หลายวิธี ได้แก่

1. External Standardization Method (Calibration curve)
2. Internal Standardization Method
3. Standard Addition Method

วิธีที่สะดวกและนิยมใช้มากที่สุด คือ External Standardization (Calibration curve) ทำได้โดยการ เตรียมสารละลายมาตรฐานของสารที่ต้องการวิเคราะห์หลายๆ ความเข้มข้น (ประมาณ 5 ความเข้มข้น) นำแต่ละความเข้มข้นฉีดเข้าเครื่อง GC จากโครมาโทแกรมที่ได้ นำค่าความสูงของพีค (peak height) หรือพื้นที่ใต้พีค (peak area) ของสารมาพลอตกราฟเป็นค่าแกน Y เทียบกับความเข้มข้นของสาร มาตรฐานเป็นค่าแกน X จะได้กราฟเส้นตรง เรียกว่ากราฟมาตรฐาน (calibration curve) ดังรูปที่ 2.11 ถ้าสร้างกราฟด้วย program excel โดยเลือกกราฟแบบ XY กระดาษ แล้วให้ลากเส้นแนวโน้มแบบ เส้นตรง กำหนดให้สร้างสมการเส้นตรง และหาค่า R^2 นำค่าพื้นที่ใต้พีคหรือความสูงของพีคของสาร ตัวอย่าง ที่ทำการทดลองในสภาวะเดียวกัน มาแทนค่าในสมการก็จะทราบความเข้มข้นของตัวอย่าง ดังนี้ จากสมการเส้นตรง $Y = mX + C$ หรือ peak area (or height) = $m \times \text{Conc.} + \text{Const.}$

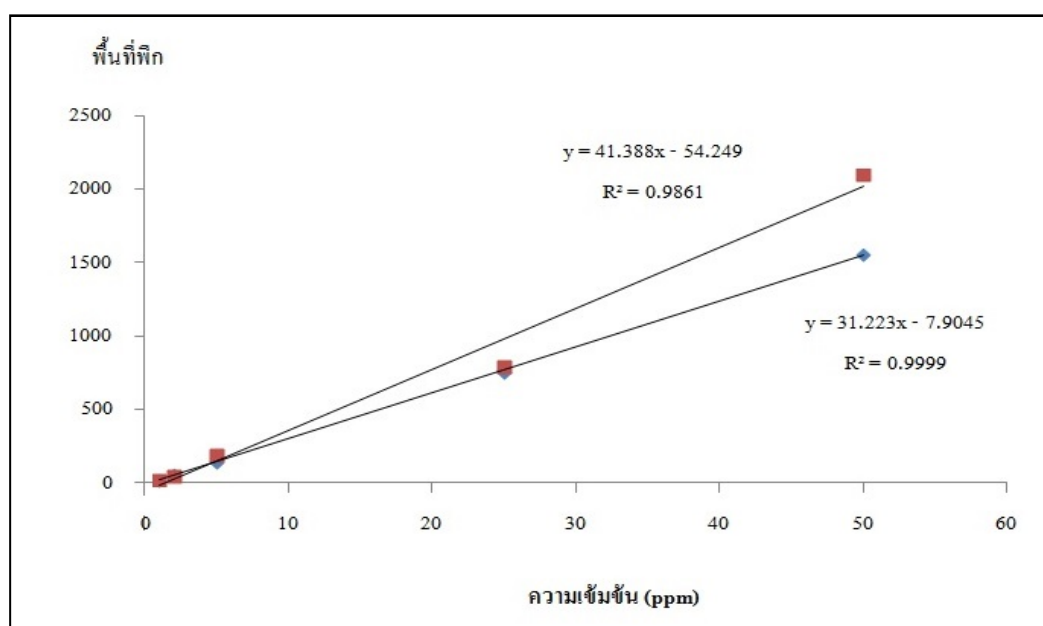


รูปที่ 2.11 กราฟมาตรฐานของวิธี External standardization

ค่า R^2 เป็นค่าแสดงความเป็นเส้นตรงของกราฟ กราฟมาตรฐานที่ดีต้องมีค่า R^2 ใกล้ 1 ที่สุด ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์แบบวิธี External Standardization จะเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม แต่อาจมีข้อด้อยกว่าวิธี Internal Standardization เนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนของปริมาตรสารที่ฉีดเข้าไปในเครื่อง GC แต่ละครั้ง เพราะการวิเคราะห์แบบนี้ปริมาตรของสารที่ฉีดทุกครั้งต้องเท่ากันเสมอ เพื่อให้สัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัด แปรตามความเข้มข้นอย่างเดียวกันนั้น แต่ถ้าฉีดสารตัวอย่างเข้าไปน้อยมาก (μL) ทำให้ปริมาตรที่ฉีดแต่ละครั้งไม่เท่ากันถ้าไม่ชำนาญ ความคลาดเคลื่อนของปริมาตรสารที่ฉีดมีผลทำให้ได้กราฟเส้นตรงที่มีค่า R^2 ต่ำ ดังตัวอย่างข้อมูลตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.11

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน

ความเข้มข้น (ppm)	ผลการทดลองที่ไม่คลาดเคลื่อน		ผลการทดลองที่เกิดคลาดเคลื่อน ของปริมาตร	
	Injected volume (μL)	Area	Injected volume (μL)	Area
1.00	1.00	25	1.00	23
2.00	1.00	59	0.90	50
5.00	1.00	147	0.95	191
25.00	1.00	763	1.10	800
50.00	1.00	1558	1.05	2100



รูปที่ 2.12 กราฟมาตรฐานที่มีความคลาดเคลื่อนในปริมาตรของการฉีดสาร(เส้นบน) และไม่มี
ความคลาดเคลื่อน (เส้นล่าง)

การวิเคราะห์เชิงปริมาณในวิธี internal standardization จะสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการฉีดสารไม่เท่ากัน โดยการทดลองต้องเลือกสารที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารที่เราต้องการวิเคราะห์ มาใช้เป็นสารมาตรฐานภายใน (internal standard) ซึ่งสารนี้ต้องมีค่าเวลาที่สารเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ ใกล้เคียงกับสารที่วิเคราะห์และไม่มีอยู่ในสารตัวอย่าง จะเติมสารมาตรฐานภายในลงไปในสารละลาย มาตรฐานที่เตรียมแต่ละขวดและเติมลงในสารตัวอย่างในปริมาณที่เท่ากัน เมื่อนำไปฉีดเข้ากับ เครื่อง GC จะได้พีคของสารมาตรฐานและพีคของสารมาตรฐานภายใน ถ้าหากว่าเราฉีดสารละลาย มาตรฐานน้อย ความสูงและค่าพื้นที่ใต้กราฟของทั้งสารมาตรฐานและสารมาตรฐานภายใน ก็จะลดลง ตามกันเสมอ ดังนั้นเมื่อนำค่าอัตราส่วนความสูงหรือพื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานต่อสารมาตรฐาน ภายในสร้างกราฟมาตรฐานจะได้กราฟมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรงกว่าวิธี external standardization

ขั้นตอนการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จะเริ่มจากการเลือกสถานะของการ วิเคราะห์ที่เหมาะสม โดยจะต้องเลือกชนิดของคอลัมน์ (เฟสอยู่นิ่ง) อุณหภูมิของคอลัมน์ อัตราการ ไหลของแก๊สตัวพา ชนิดของเครื่องตรวจวัด ซึ่งที่กล่าวนี้ เป็นตัวแปรที่มีผลให้การแยกและวิเคราะห์ ประสบความสำเร็จ เมื่อเลือกสถานะต่างๆ ตามที่กล่าวไปแล้ว จากนั้นนำสารตัวอย่างฉีดเข้าไปที่ ส่วน injection port ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี บริเวณนี้ต้องร้อนพอเหมาะ สำหรับให้สารเกิดการระเหย กลายเป็นไอทันที โดยไม่ร้อนเกินไปจนเกิดการสลายตัว แล้วไอของสารจะถูกพาเข้าคอลัมน์โดยแก๊สตัว พาอย่างช้าๆ อัตราการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน โดยขึ้นกับความสามารถในการ กระจายตัวของสารตัวอย่างนั้นในเฟสคงที่และเฟสเคลื่อนที่ หรือความสามารถในการดูดซับสาร ตัวอย่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ชนิดของเฟสอยู่นิ่ง ทำให้สารตัวอย่างถูกแยกเป็นส่วนๆ ที่คอลัมน์ แล้วออกไปสู่เครื่องตรวจวัดสัญญาณ (Detector)

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีรุ่น HP-6890 ที่มีเครื่องตรวจวัดแบบเฟลมไอออไนเซชันต่อเข้ากับเครื่องเสดสเปซอัดโนมัติ รุ่น HP-7964 ผลิตโดยบริษัท Hewlett Packard
2. คอลัมน์แบบแคปิลารี ชนิด CP-SIL 5 CB มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ความยาว 25 เมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอน ของบริษัท Varian
3. เครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer รุ่น Autosorb - 1 ยี่ห้อ Quantachrome
4. ขวด vial ขนาด 20 มิลลิลิตร พร้อมจุกยางและฝาปิดอลูมิเนียม
5. ไมโครไซริงขนาด 10 ไมโครลิตร และ 50 ไมโครลิตร
6. โหลแก้วขนาด 12.36 ลิตร
7. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ GilAir 5 “Tri - mode Air Sample” ยี่ห้อ SKC สามารถปรับอัตราการดูดอากาศคงที่ที่ 0.5 L/min
8. หลอดเก็บอากาศทางการค้า รุ่น LOT 2000 ยี่ห้อ SKC
9. ถุงพลาสติก LDPE ขนาด 2.5 x 15.0 เซนติเมตร

3.1.2 สารเคมี

1. เบนซีน (99.0 % w/v, Analytical Grade) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
2. โทลูอิน (99.0 % w/v, Analytical Grade) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
3. เอทิลเบนซีน (99.0 % w/v, Analytical Grade) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4. ไซลีน (99.0 % w/v, Analytical Grade) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. คาร์บอนไดซัลไฟด์ (99.5 % w/v) บริษัท Panreac Quimica ประเทศสเปน
6. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) เกรด AR บริษัท J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรด AR บริษัท J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรด AR บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน
9. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เกรด AR บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน
10. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) เกรด AR บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
11. น้ำปิ้ง

3.1.3 ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่นำมาใช้ในการทดลอง

1. ถ่านกัมมันต์ขนาด 50-200 mesh จากบริษัทคาร์โบกาญจน์ จังหวัดฉะเชิงเทรา
2. ถ่านกัมมันต์ขนาด 20-100 mesh จากบริษัทคาร์โบกาญจน์ จังหวัดฉะเชิงเทรา
3. ถ่านกัมมันต์ขนาด 8-200 mesh จากบริษัทพีเค คาร์บอน จังหวัดเชียงใหม่
4. ถ่านกัมมันต์ขนาด 8-100 mesh จากบริษัทพีเค คาร์บอน จังหวัดเชียงใหม่

นำถ่านกัมมันต์ทางการค้ามาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเพื่อกำจัดส่วนที่เป็นฝัออกและล้างจนกระทั่งน้ำล้างมีค่า pH คงที่ กรองด้วยกระดาษกรอง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บไว้ในโถสุญญากาศ

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพและความเที่ยงในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

3.2.1 ชั่งถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง หนัก 0.50XX กรัมใส่ลงในขวดเฮกสเปช ขนาด 20 ml ตัวอย่างละ 3 ขวด นำตัวอย่างที่ได้ใส่ในโหลแก้วขนาด 12.36 ลิตร

3.2.2 ตวงสารเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน ใส่ในหลอดแก้วอย่างละ 10.0 มิลลิลิตร นำทั้ง 4 หลอดใส่ลงในโหล ปิดโหลด้วยแผ่นกระจก ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ซึ่งสาร BTEX ในหลอดแก้วจะระเหยกลายเป็นไอและถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอของสาร BTEX

3.2.3 นำตัวอย่างทั้งหมดออกจากโหล ตั้งไว้ 1 ชั่วโมงในตู้ดูดควัน เพื่อให้ส่วนของไอของสาร BTEX ในขวดระเหยออกไป จากนั้นเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกยางและฝาอะลูมิเนียม ตั้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อสกัดสาร BTEX ออกจากถ่านกัมมันต์

3.2.4 นำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฮกสเปช/แก๊สโครมาโทกราฟ โดยตั้งสภาวะของเครื่องตามตารางที่ 3.1

3.2.5 ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3.2.1-3.2.4 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดี เพื่อทดสอบความแม่นยำในการดูดซับไอสาร BTEX

ตารางที่ 3.1 สภาวะของเครื่องเฮดสเปซและเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่ใช้ในการทดลอง [21]

พารามิเตอร์ของเครื่องเฮดสเปซ	สภาวะที่ใช้ในการทดลอง
อุณหภูมิของตู้อบเฮดสเปซ	70 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาในการให้ความร้อน	1 นาที
พารามิเตอร์ของเครื่อง GC	สภาวะที่ใช้ในการทดลอง
อุณหภูมิของส่วนฉีดสาร	180 องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของแก๊สดำพา (He)	2.0 มิลลิลิตรต่อนาที
ระบบฉีดสารตัวอย่าง	Split 10:1
อุณหภูมิของคอลัมน์	เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คงที่ 3 นาที ตั้งโปรแกรมที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 180 องศาเซลเซียส คงที่ 1 นาที
ชนิดของเครื่องตรวจวัด	เฟลมไอออไนเซชัน (FID)
อุณหภูมิของเครื่องตรวจวัด	180 องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของอากาศ	400 มิลลิลิตรต่อนาที
อัตราการไหลของไฮโดรเจน	40 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

ภายหลังการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและความเที่ยงในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ในหัวข้อ 3.2 ในหัวข้อ 3.3 นี้จะนำถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

3.3.1 การหาค่าการดูดซับไอโอดีน

3.3.1.1 ปิเปตสารละลาย KIO_3 ความเข้มข้น 0.1013 โมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

3.3.1.2 เติมน้ำ 20.0 มิลลิลิตร ใส่ KI ปริมาณ 1.0 กรัม NaHCO_3 0.1x กรัม และเติม H_2SO_4 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร

3.3.1.3 หลังจากนั้นเติมถ่านกัมมันต์ชนิดที่เหมาะสมที่ได้จากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.2 ปริมาณ 0.10xx กรัม ปิดด้วยจุกยาง ทิ้งไว้ 5 นาที นำไปไทเทรตกับ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนเป็นสีเหลืองอ่อน

3.3.1.4 เติมน้ำแบ่ง 2.0 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตต่อจนเป็นสารละลายใสไม่มีสี บันทึกปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง)

3.3.1.5 คำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีน

3.3.2 การศึกษาสมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค BET Surface Area

นำถ่านกัมมันต์ชนิดที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2 ไปวิเคราะห์สมบัติความพรุน โดยอาศัยหลักการดูดซับของแก๊สไนโตรเจนบนผิวของวัสดุที่อุณหภูมิ 77 องศาเคลวิน

3.4 การเก็บอากาศแบบพาสซีฟบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

3.4.1 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณ BTEX สำหรับการเก็บอากาศบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

3.4.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมของ BTEX ความเข้มข้นอย่างละ 870 ppm

ปิเปต CS₂ ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ขวด vial ขนาด 5 มิลลิลิตร จากนั้นใช้ไมโครไซริงดูดสารเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน อย่างละ 2.00 ไมโครลิตร ใส่ลงไปเขย่าเบาๆ ให้เข้ากันปิดฝาขวดให้แน่น

3.4.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปต CS₂ ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดเฮกสเปชขนาด 20 มิลลิลิตร จำนวน 7 ขวด ขวดที่ 1 ไม่เติมสารละลายมาตรฐานเพื่อใช้เป็น Blank จากนั้นใช้ไมโครไซริงดูดสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่เตรียมในข้อ 3.4.1.1 มา 2.00, 5.00, 10.00, 25.00, 40.00 และ 50.00 ไมโครลิตร ใส่ลงไปขวดที่ 2 ถึง 7 ตามลำดับ รีบปิดจุกยางและฝาอะลูมิเนียม จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีปริมาณสาร BTEX ในแต่ละขวดเท่ากับ 0, 1.74, 4.35, 8.70, 21.75, 34.80 และ 43.50 ไมโครกรัม ตามลำดับ นำทั้ง 7 ขวดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฮกสเปช/แก๊สโครมาโทกราฟ นำค่าพื้นที่พีคที่ได้จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานขวดที่ 2-7 ลบด้วยพื้นที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ blank (ขวดที่ 1) แล้วเขียนกราฟเทียบกับปริมาณของสารละลายมาตรฐานในหน่วยไมโครกรัมโดยใช้โปรแกรม Excell

3.4.2 การเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

บรรจุถ่านกัมมันต์ จำนวน 0.72xx กรัม ลงในถุงพลาสติก LDPE หน้า 0.06 มิลลิเมตร ขนาด 2.5 x 15.0 เซนติเมตร ผนึกถุงด้วยความร้อนให้มีขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร (เตรียมในห้องปฏิบัติการโดยบรรจุในถุงพลาสติก เก็บในกล่องพลาสติก) ซึ่งถุงพลาสติก 1 ใบ สามารถบรรจุถ่านกัมมันต์ได้ถุงเก็บอากาศ จำนวน 6 ถุง แล้วตัดให้ได้เป็นชุดๆ ละ 3 ถุง ดังรูปที่ 3.1 ติดด้วยกาว 2 หน้าแบบบาง ติดไว้ในชั้นเพื่อบังแดดและกันลม ดังรูปที่ 3.2 ที่ระดับความสูงเหนือพื้น 180 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3 นำไปติดบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จำนวน 7 สถานี ดังนี้ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด วัดมาบชะลูุด โรงเรียนวัดหนองแฟบ สถานีเมืองใหม่มาบตาพุด ชุมชนบ้านพลอง ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน และ

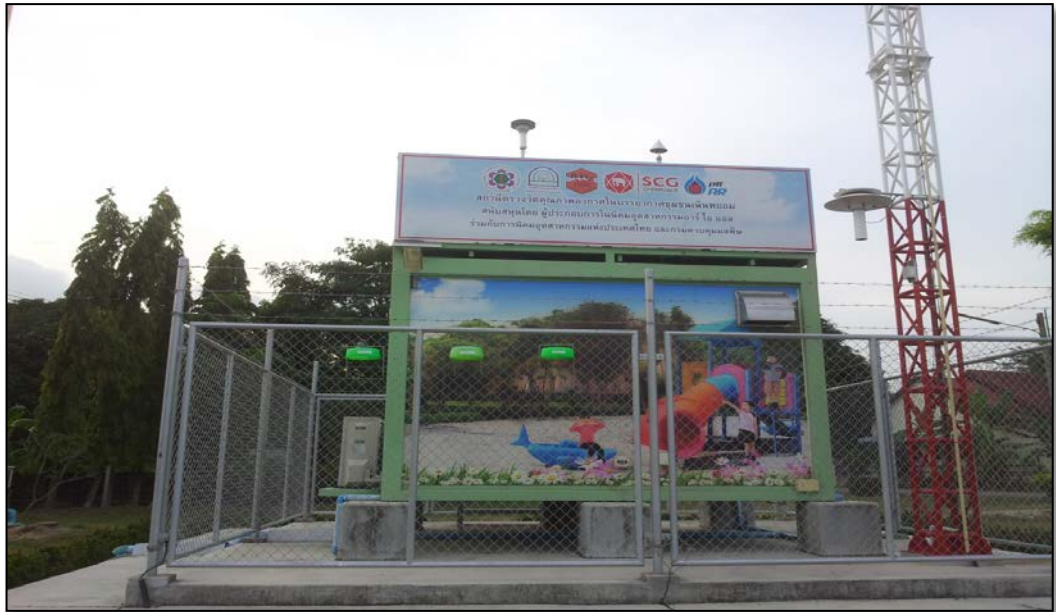
หมู่บ้านนพเกตุ ดังรูปที่ 3.4 โดยระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 7, 14, 21 และ 28 วัน (ทำการเก็บอากาศ 3 ชั่วโมง) หลังจากการเก็บอากาศครบตามกำหนด เทถ่านกัมมันต์จากอุปกรณ์เก็บอากาศใส่ลงในขวดเฮคสเปช สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฮคสเปช/แก๊สโครมาโทกราฟ นำพื้นที่ฟีกที่ได้ลบ blank (CS_2) แล้วคำนวณปริมาณสารที่ถูกดูดซับไว้ในถ่านกัมมันต์จากการเก็บอากาศ โดยใช้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานในหัวข้อ 3.4.1.2



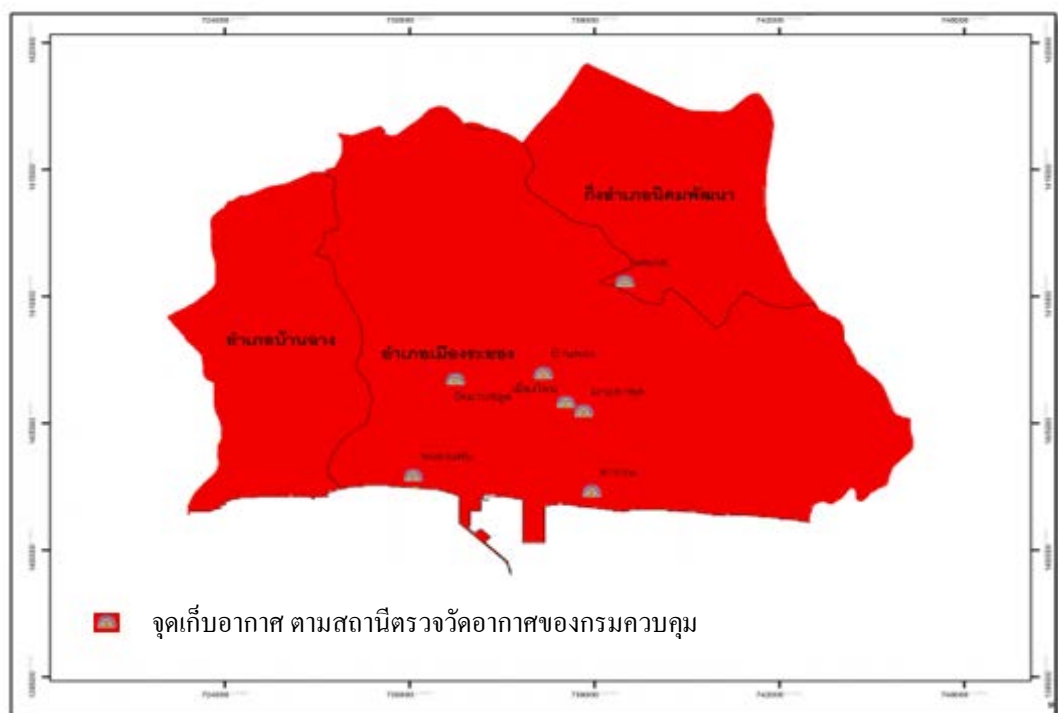
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ LDPE ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร จำนวนชุดละ 3 ชุด



รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ สูงจากระดับพื้น 180 เซนติเมตร ตามสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



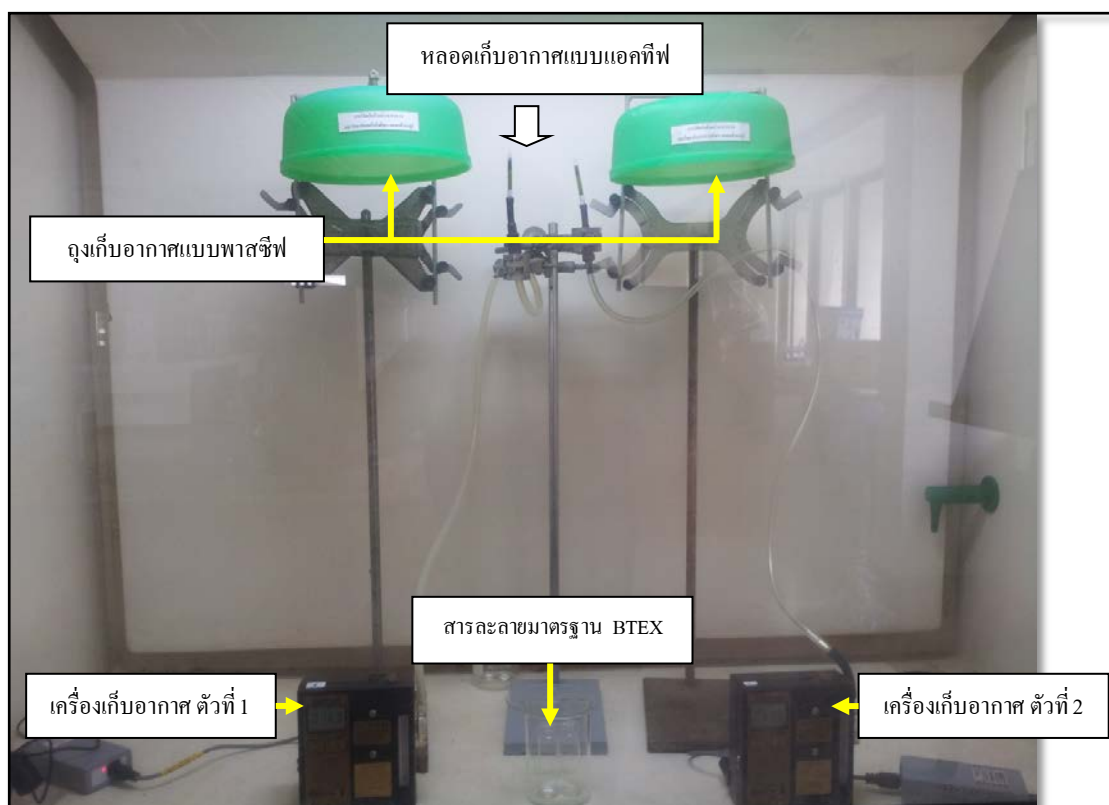
รูปที่ 3.4 จุดเก็บอากาศตามสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

3.5 การหาค่าคงที่ k สำหรับใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศ

3.5.1 การเก็บอากาศแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟในสถานะเดียวกัน

3.5.1.1 ทำการติดตั้งเครื่องเก็บอากาศแบบแอคทีฟ และชุดอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟในตู้ดูดควัน สูงจากพื้นตู้ 50 เซนติเมตร ในห้องปฏิบัติการ ศึกษาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.5.1.2 บรรจุถ่านกัมมันต์ จำนวน 0.72xx กรัม ลงในถุงพลาสติก LDPE ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร ผนึกถุงด้วยความร้อน จำนวน 60 ชุด ชุดละ 3 ถุง รวมทั้งสิ้น 180 ถุง นำอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟติดไว้ในชุดอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ ควบคู่กับเครื่องเก็บอากาศแบบแอคทีฟ โดยติดหลอดเก็บอากาศทางการค้าเข้ากับเครื่องเก็บอากาศ และให้อยู่ในแนวเดียวกันกับอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ ในตู้ดูดควันเพื่อให้เทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศทั้ง 2 แบบ อยู่ในสถานะแบบเดียวกัน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟในห้องปฏิบัติการ (ทำในตู้ดูดควัน)

3.5.1.3 ปรับอัตราการดูดอากาศของเครื่องมือเก็บอากาศแบบแอคทีฟ ทั้ง 2 เครื่องให้มีค่าใกล้เคียงกัน (0.30 L/min)

3.5.1.4 ปิเปตสารละลายผสมของ BTEX ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ขวด vial ขนาด 5 มิลลิลิตร เปิดฝาและนำไปวางในตู้ดูดควัน สารจะระเหยกลายเป็นไอ และอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟจะดูดซับไอของสาร BTEX

3.5.1.5 เปิดสวิตช์เครื่องเก็บอากาศที่ 1 และเปลี่ยนใช้เครื่องที่ 2 สลับกันทุก 4-6 ชั่วโมง โดยวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟจะเปลี่ยนหลอดเก็บอากาศทางการค้า ทุก 4-6 ชั่วโมง และแบบพาสซีฟจะทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 6, 12, 24, 36, 48 ชั่วโมง

3.5.1.6 หลังเก็บตัวอย่างแล้วนำถ่านกัมมันต์จากการเก็บอากาศแบบพาสซีฟไปวิเคราะห์ ใส่ลงในขวดเฮกเซน ขนาด 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกยางและฝาอะลูมิเนียม ตั้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อสกัดสาร BTEX ออกจากถ่านกัมมันต์

3.5.1.7 นำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฮกเซน/แก๊สโครมาโทกราฟ โดยตั้งสถานะของเครื่องตามตารางที่ 3.1

3.5.1.8 เก็บตัวอย่างแล้วนำถ่านกัมมันต์จากการเก็บอากาศแบบแอคทีฟใส่ลงในขวดเฮกเซน ขนาด 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกยางและฝาอะลูมิเนียม ตั้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อสกัดสาร BTEX ออกจากถ่านกัมมันต์ นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ตามข้อ 3.5.1.7

3.5.2 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการหาค่าคงที่ k

3.5.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน BTEX (Stock standard solution)

ปิเปต CS₂ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ขวด vial ขนาด 5 มิลลิลิตร จากนั้นใช้ไมโครไซริงดูดสารเบนซีน 50 ไมโครลิตร โทลูอิน 20 ไมโครลิตร เอทิลเบนซีน และไซลีน อย่างละ 10 ไมโครลิตร ใส่ลงไปในขวดต่างๆ ให้เข้ากันปิดฝาขวดให้แน่นจะได้สารละลายมาตรฐานผสม BTEX ที่มีความเข้มข้นของเบนซีน 21750 ppm โทลูอิน 8700 ppm เอทิลเบนซีน และไซลีน อย่างละ 4350 ppm ตามลำดับ

3.5.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ ปิเปต CS₂ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดเฮกเซนขนาด 20 มิลลิลิตร จำนวน 10 ขวด จากนั้นใช้ไมโครไซริงดูดสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่เตรียมในข้อ 3.5.2.1 มา 0.40, 1.00, 2.00, 5.00, 10.00, 25.00, 50.00, 75.00 และ 100.00 ไมโครลิตร ใส่ลงไปในขวดที่ 2 ถึง 10 ตามลำดับ โดยไม่เติมสารละลายมาตรฐานในขวดใบที่ 1 รีบปิดจุกยางและฝาอะลูมิเนียมจะได้สารละลายมาตรฐานที่มีสาร BTEX ในแต่ละขวดดังแสดงในตารางที่ 3.2 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฮกเซน/แก๊สโครมาโทกราฟ นำค่าพื้นที่พีคที่ได้จากการวิเคราะห์ blank (CS₂) แล้วเขียนกราฟเทียบกับปริมาณของสารละลายมาตรฐานในหน่วยไมโครกรัมจะได้กราฟมาตรฐาน

ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นของ BTEX ในแต่ละขวด เพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ

ขวดที่	ปริมาณสารในแต่ละขวด (ไมโครกรัม)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
1 (blank)	0.00	0.00	0.00	0.00
2	8.70	3.48	1.74	1.74
3	21.75	8.70	4.35	4.35
4	43.50	17.40	8.70	8.70
5	108.75	43.5	21.75	21.75
6	217.50	87.00	43.50	43.50
7	543.75	217.50	108.75	108.75
8	1087.5	435.00	217.50	217.50
9	1631.25	652.50	326.25	326.25
10	2175.00	870.00	435.00	435.00

3.5.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

3.5.2.3.1 ปิเปต CS_2 ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดเฮกสเพชขนาด 20 มิลลิลิตร จำนวน 13 ใบ และดูดสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่เตรียมในข้อ 3.5.2.1 ปริมาตร 100.00, 50.00, 25.00, 10.00, 5.00, 2.00, 1.00 ไมโครลิตร ใส่ลงไปขวดที่ 1 ถึง 7 ตามลำดับ รีบปิดจุกยางและฝาอะลูมิเนียมให้แน่น

3.5.2.3.2 นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมในข้อ 3.5.2.1 มาเจือจาง 100 เท่า โดยดูด 10 ไมโครลิตร ใส่ใน CS_2 1.00 มิลลิลิตร แล้วดูดสารละลายที่เจือจางแล้วใส่ขวดที่ 8 ถึง 12 ปริมาตร 50.00, 25.00, 10.00, 5.00, 1.00 ไมโครลิตร โดยไม่เติมสารละลายมาตรฐานในขวดใบที่ 13 รีบปิดจุกยางและฝาอะลูมิเนียมให้แน่นจะได้สารละลายมาตรฐานที่มีปริมาณสาร BTEX ในแต่ละขวดดังแสดงในตารางที่ 3.3 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฮกสเพช/แก๊สโครมาโทกราฟ นำค่าพื้นที่พีคที่ได้จากการวิเคราะห์ blank (CS_2) แล้วเขียนกราฟเทียบกับปริมาณของสารละลายมาตรฐานในหน่วยไมโครกรัมจะได้กราฟมาตรฐาน

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของ BTEX ในแต่ละขวด เพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

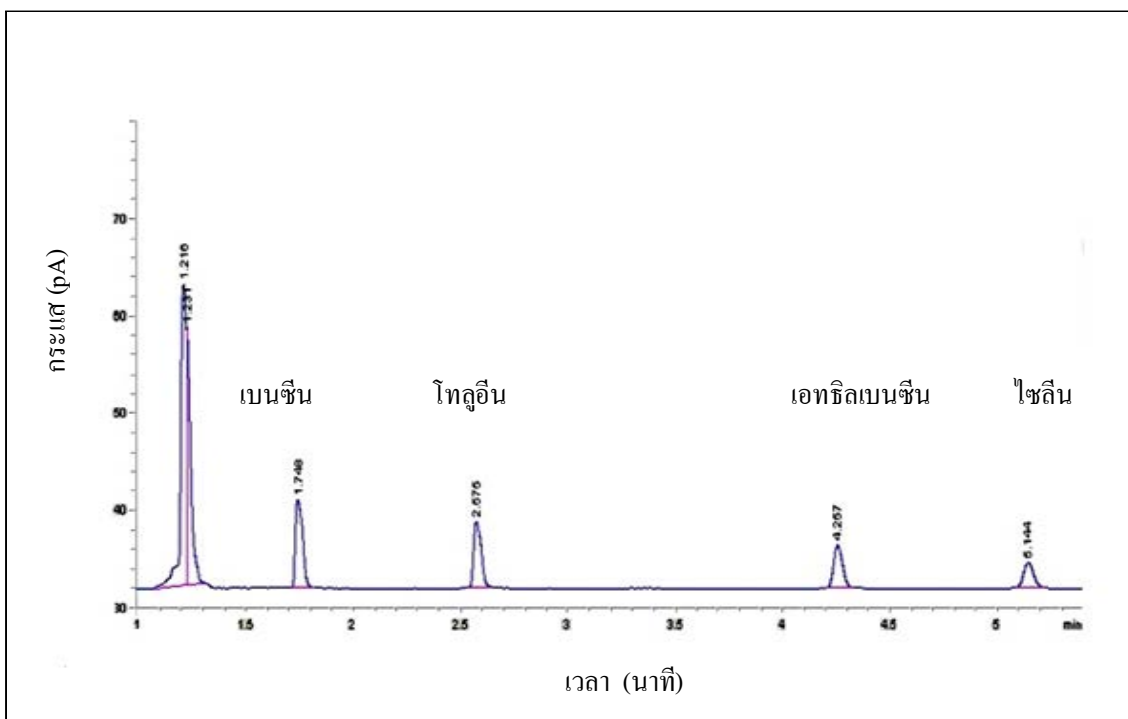
ขวดที่	ปริมาณสารในแต่ละขวด (ไมโครกรัม)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
1	2175.00	870.00	435.00	435.00
2	1087.50	435.00	217.50	217.50
3	543.75	217.5	108.80	108.80
4	217.50	87.00	43.50	43.50
5	108.75	43.50	21.75	21.75
6	43.50	17.40	8.70	8.70
7	21.75	8.70	4.40	4.40
8	10.88	4.40	2.20	2.20
9	5.44	2.20	1.09	1.10
10	2.18	0.87	0.44	0.44
11	1.0875	0.435	0.22	0.22
12	0.22	0.09	0.04	0.04
13(blank)	0.00	0.00	0.00	0.00

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาประสิทธิภาพและความเที่ยงในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

4.1.1 การวิเคราะห์การดูดซับสาร BTEX โดยถ่านกัมมันต์และคายซับด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์

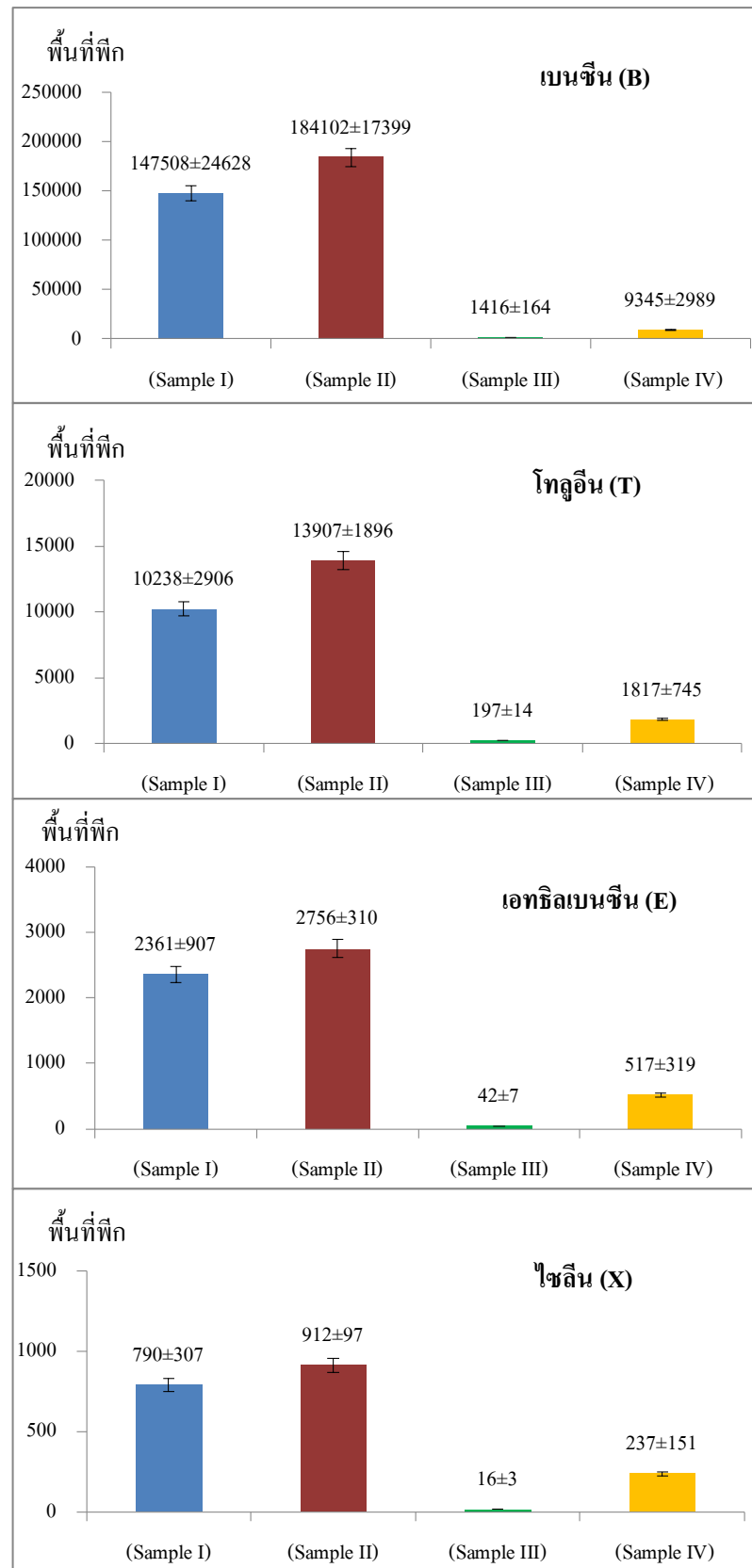
จากผลการทดลองที่ 3.2 ได้แสดงโครมาโทแกรมตัวอย่างดังรูปที่ 4.1 ซึ่งสารเบนซีน โทลูอิน เอธิลเบนซีน และไซลีน ถูกแยกออกจากกันได้สมบูรณ์มีค่าเวลาริเทนชันเท่ากับ 1.748, 2.576, 4.257 และ 5.144 นาที ตามลำดับ จากการพิจารณาพื้นที่พีคและความสามารถในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในตารางที่ 4.1 และกราฟรูปที่ 4.2 สรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ sample I (คาร์โบกาญจน์ ขนาด 50 - 200 mesh) ดูดซับ BTEX ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ sample II (คาร์โบกาญจน์ ขนาด 20 - 100 mesh) sample IV และ sample III ตามลำดับ จึงนำถ่านกัมมันต์ sample I และ sample II มาศึกษาความเที่ยงในการดูดซับตามหัวข้อ 3.2 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และกราฟรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมที่ได้จากการดูดซับสาร BTEX โดยถ่านกัมมันต์และคายซับด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ฟีกของสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับ
สาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ

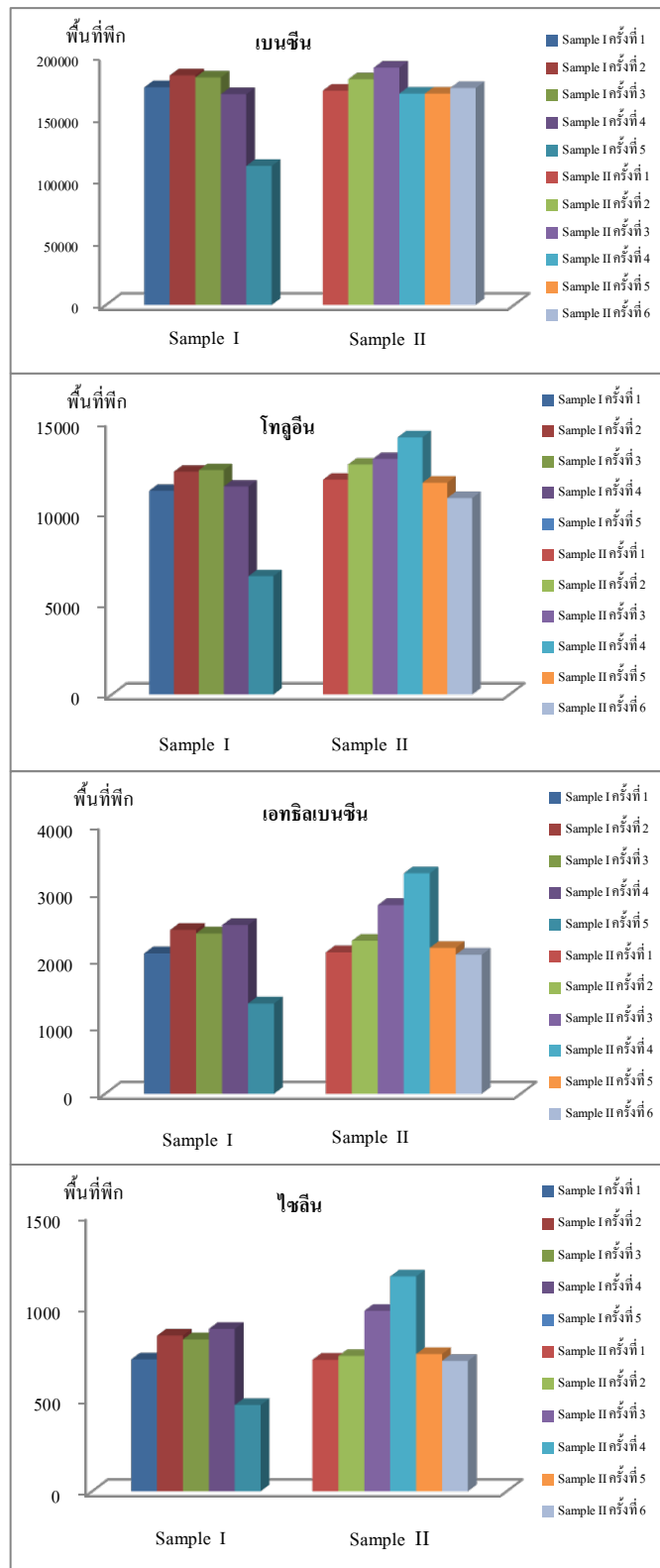
ชนิดของตัวอย่าง Mesh Size	ครั้งที่	พื้นที่ฟีก			
		เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
50 - 200 mesh คาร์โบนาต (Sample I)	1	122379.70	7193.11	1342.80	445.30
	2	171602.90	12980.51	3081.80	1033.80
	3	148541.00	10539.91	2659.20	892.20
	เฉลี่ย	147507.90	10237.84	2361.27	790.43
	SD	24627.86	2905.50	906.97	307.17
20 - 100 mesh คาร์โบนาต (Sample II)	1	171547.10	12843.01	2591.80	862.50
	2	203962.90	16095.91	3114.00	1024.30
	3	176796.90	12782.91	2563.50	850.50
	เฉลี่ย	184102.30	13907.28	2756.43	912.43
	SD	17398.93	1895.65	309.98	97.06
8 - 200 mesh พีเค คาร์บอน (Sample III)	1	1376.90	209.81	47.00	17.60
	2	1275.00	182.21	34.30	12.80
	3	1595.80	198.51	43.40	16.70
	เฉลี่ย	1415.90	196.84	41.57	15.70
	SD	163.92	13.88	6.55	2.55
8 - 100 mesh พีเค คาร์บอน (Sample IV)	1	7727.30	1534.11	384.40	187.20
	2	7513.80	1254.61	286.40	117.60
	3	12794.10	2661.91	881.00	406.10
	เฉลี่ย	9345.07	1816.88	517.27	236.97
	SD	2988.86	745.04	318.79	150.55



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่พีคของ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และ ไซลีน ที่ได้จากการ
ดูดซับของถ่านกัมมันต์ ทั้ง 4 ชนิด

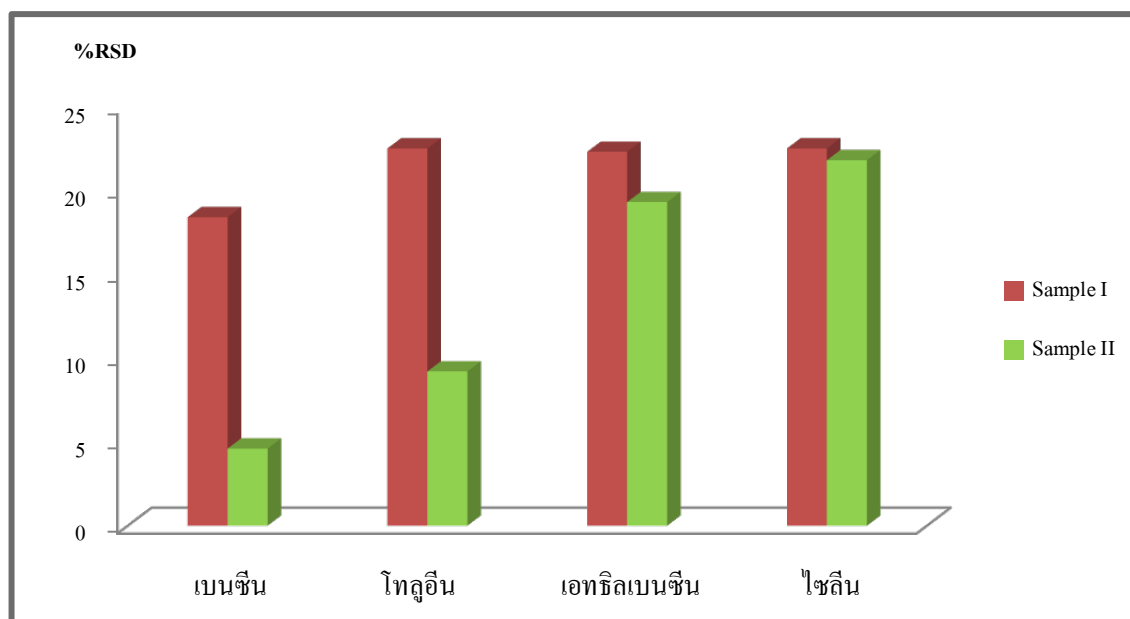
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเที่ยงในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ Sample I และ Sample II

ชนิดของตัวอย่าง	ครั้งที่	พื้นที่ฟีก			
		เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
Sample I คาร์โบภาณูจน์ ขนาด 50 - 200 mesh	1	174949.2	11201.7	2085.9	716
	2	184510.7	12255.8	2434.4	845.2
	3	182869.2	12336.7	2382.7	824.8
	4	169394.4	11431.4	2505.7	881.7
	5	111747.8	6506.3	1340.6	468
	เฉลี่ย	164694.3	10746.38	2149.86	747.14
	%RSD	18.4	22.5	22.3	22.5
Sample II คาร์โบภาณูจน์ ขนาด 20 - 100 mesh	1	172312.9	11818.7	2101.9	713.8
	2	181498.6	12642.6	2272.8	734.7
	3	190733.8	12951.4	2804.1	979.8
	4	169893.1	14139.8	3275.5	1166.5
	5	169893.1	11647.7	2167.8	745.1
	6	174413.5	10800	2066.4	707.9
	เฉลี่ย	176457.5	12333.37	2448.083	841.3
	%RSD	4.6	9.2	19.3	21.8



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่ฟีกของสาร BTEX ที่ได้จากการดูดซับของถ่านในกัมมันต์

ขนาด 50 - 200 mesh (Sample I) และ 20 - 100 mesh (Sample II) ของบริษัทคาร์โบกาญจน์



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบ %RSD ของสาร BTEX ที่ได้จากการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ขนาด 50 - 200 mesh (Sample I) และ 20 - 100 mesh (Sample II) ของบริษัทคาร์โบกาญจน์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ผิวที่ได้จากการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์คาร์โบกาญจน์ ขนาด 20 - 100 mesh มีความเที่ยงในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ขนาด 50 - 200 mesh ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 20 - 100 mesh ในการทดลองขั้นต่อไป และใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีผลความเที่ยงของการวิเคราะห์ดีกว่า (%RSD น้อยกว่า) ดังตารางที่ 4.4

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

การหาค่าการดูดซับไอโอดีน จากการทดลองในข้อ 3.3.1 โดยนำถ่านกัมมันต์ดูดซับสารละลายไอโอดีน ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง KIO_3 กับ KI ในสถานะที่เป็นกรด นำผลการทดลองไปคำนวณค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ขนาด 20 - 100 mesh ได้เท่ากับ 447 มิลลิกรัมต่อกรัม

การหาความพรุนของถ่านกัมมันต์ จากการทดลองในข้อ 3.3.2 โดยเทคนิค BET Surface Area พบว่ามีค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และขนาดรูพรุน โดยมีรัศมีของรูพรุนแบบไมโครพอร์ ซึ่งจะมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับที่มาก แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ขนาด 20 - 100 mesh ของบริษัทคาร์โบกาญจน์

พื้นที่ผิว (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	ขนาดรูพรุน (Å)	Micro Pore Area (m^2/g)
1319.1	0.6457	19.58	1556.00

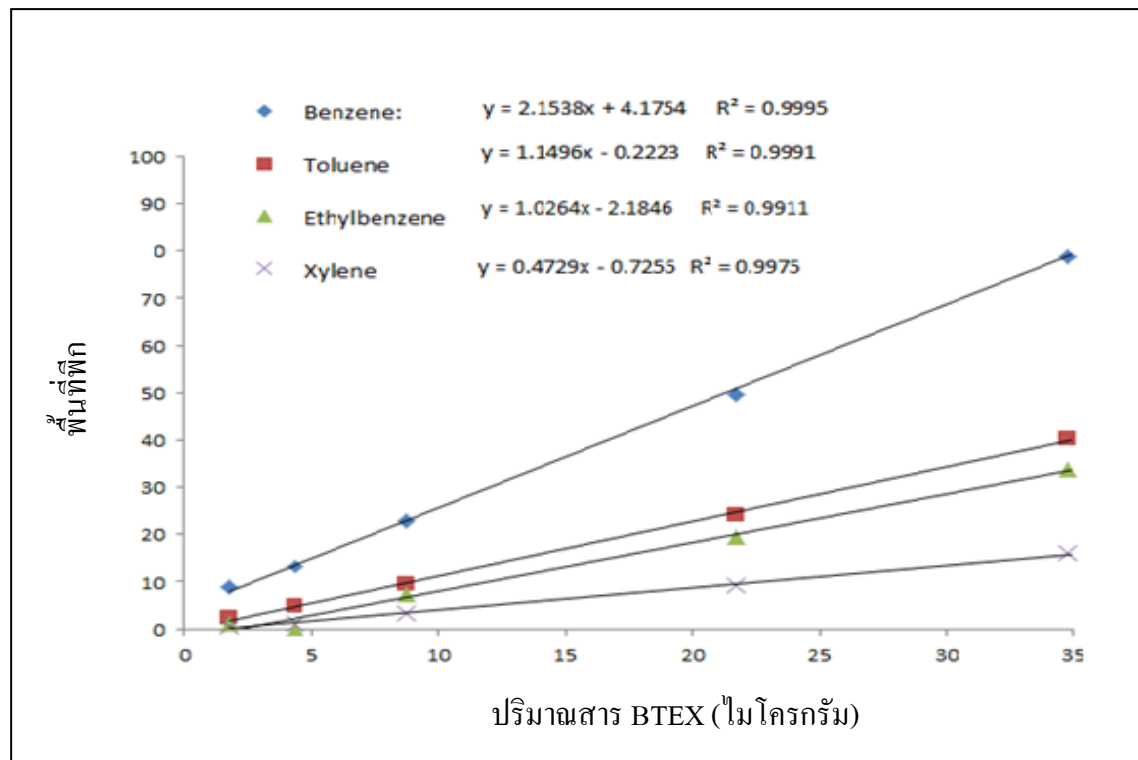
4.3 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ BTEX สำหรับการเก็บ

อากาศบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

จากผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานผสมเบนซีน โทลูอิน เอธิลเบนซีน และไซลีน ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 4.4 นำค่าพื้นที่ฟีกที่ได้จากการวิเคราะห์หลังจากหัก blank แล้วไปเขียนกราฟเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐานในหน่วยไมโครกรัม จะได้กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารเบนซีน โทลูอิน เอธิลเบนซีน และไซลีน พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงในช่วง 1.74 - 34.80 ไมโครกรัม แสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 พื้นที่ฟีกของสารละลายมาตรฐาน BTEX สำหรับการเก็บอากาศบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ปริมาณสาร (ไมโครกรัม)	พื้นที่ฟีก			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทธิลเบนซีน	ไซลีน
Blank	3.20	0	0	0
1.74	12.10	2.30	1.20	0.51
4.35	16.50	4.70	0.30	1.20
8.70	26.10	9.50	7.30	3.20
21.75	52.90	24.20	19.60	9.20
34.80	82.10	40.20	33.90	16.00
43.50	98.7	44.40	35.00	16.20



รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของสาร BTEX ในช่วง 1.74 - 34.80 ไมโครกรัม

4.4 การเก็บอากาศแบบพาสซีฟบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

จากการนำอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟไปติดตั้งบริเวณจุดตรวจวัดอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จำนวน 7 สถานี รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ในช่วงระหว่างวันที่ 16 กุมภาพันธ์ ถึง 30 มีนาคม พ.ศ. 2555 โดยแบ่งการเก็บเป็นช่วงเวลา 4 ช่วง คือ 7, 14, 21 และ 28 วัน หลังการเก็บอากาศทำการคายซับ BTEX ออกจากถ่านกัมมันต์ด้วย CS_2 แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่องเฮดสเปซ/แก๊สโครมาโทกราฟ นำพื้นที่ฟักที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาปริมาณสาร BTEX ที่ได้จากการเก็บอากาศโดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร BTEX จากการเก็บอากาศแสดงใน ตารางที่ 4.5-4.8

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ ตามจุดเก็บ
อากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 7 วัน

วัน/เดือน/ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
		B	T	E	X
16/02/55 ถึง 24/02/ 55	หมู่บ้านนพเกตุ	0.05	19.83	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	0.58	21.02	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.03	27.55	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	0.95	26.77	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	0.38	19.28	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.43	18.59	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	2.02	36.83	ND	ND
03/03/55 ถึง 09/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.52	28.04	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	2.52	25.96	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	5.58	56.24	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	3.63	37.27	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	5.26	59.90	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	4.33	44.67	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	3.91	41.97	ND	ND
10/03/55 ถึง 16/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.08	18.99	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	1.17	20.21	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.12	22.73	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.17	23.17	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	1.12	21.26	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.80	22.39	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	0.36	16.12	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ ตามจุดเก็บ
อากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 14 วัน

วัน/เดือน/ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
		B	T	E	X
25/02/55 ถึง 09/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.70	29.78	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	1.96	22.82	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.91	23.08	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.56	25.96	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	3.26	35.35	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.84	28.91	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	2.94	31.53	ND	ND
03/03/55 ถึง 16/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.10	27.96	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	1.96	27.09	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.64	23.17	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.05	26.83	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	4.10	30.92	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.56	28.48	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	3.03	34.40	ND	ND
09/03/55 ถึง 23/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.00	1.39	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	0.58	1.18	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	0.58	1.18	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.51	1.22	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	0.35	0.99	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.58	0.92	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	0.72	0.89	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีฟาสซีฟ ตามจุดเก็บ
 อากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 21 วัน

วัน/เดือน/ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
		B	T	E	X
18/02/55 ถึง 09/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.68	0.77	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	2.24	1.53	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	0.85	0.74	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	0.66	0.74	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	0.43	0.91	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.34	0.99	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	1.77	1.82	ND	ND
02/03/55 ถึง 23/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.60	1.87	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	1.37	1.02	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.32	1.47	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.70	1.65	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	1.28	1.26	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.00	0.96	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	1.42	0.73	ND	ND
08/03/55 ถึง 30/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.96	0.98	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	1.82	0.86	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.50	0.83	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.26	0.94	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	0.94	0.73	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.36	0.73	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	0.57	0.76	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณสาร BTEX ที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีฟาสซีฟ ตามจุดเก็บ
อากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นเวลา 28 วัน

วัน/เดือน/ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
		B	T	E	X
17/02/55 ถึง 16/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.54	0.85	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	1.64	0.94	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.54	0.88	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.68	0.86	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	2.10	1.12	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.73	0.73	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	1.40	0.71	ND	ND
24/02/55 ถึง 23/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.15	1.47	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	1.91	2.08	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.51	1.47	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.01	1.85	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	1.51	1.08	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.25	1.18	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	1.20	1.45	ND	ND
02/03/55 ถึง 30/03/55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.36	1.73	ND	ND
	ชุมชนบ้านพลง	0.34	7.94	ND	ND
	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	0.66	1.09	ND	ND
	ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	0.66	1.21	ND	ND
	เมืองใหม่มาบตาพุด	0.57	0.79	ND	ND
	โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.29	0.72	ND	ND
	วัดมาบชะลูุด	0.13	0.76	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

จากตารางที่ 4.5 - 4.8 จะเห็นได้ว่าปริมาณสาร BTEX ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศแตกต่างกันตาม
ช่วงเวลาและสถานที่เก็บตัวอย่าง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถคำนวณปริมาณสารที่ถูกดูดซับโดย

อุปกรณ์ แต่เนื่องจากการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ อากาศจะค่อยๆแพร่ (diffusion) ผ่านเข้ามาในอุปกรณ์และสาร BTEX ในอากาศถูกดูดซับไว้ ผลที่ได้นั้นจะทราบเฉพาะปริมาณที่ดูดซับ (μg) ไว้ได้เท่านั้น ปริมาณที่วิเคราะห์ได้สูง หมายความว่า ในอากาศมีความเข้มข้นของสารเหล่านี้สูง แต่ผลการทดลองไม่สามารถหาความเข้มข้นในอากาศได้โดยตรง ดังนั้นจำเป็นต้องหาค่าคงที่ k เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นสาร BTEX ในอากาศต่อไป โดยทำการทดลองเก็บอากาศแบบพาสซีฟควบคู่กับแบบแอคทีฟที่ใช้ปั๊มดูดอากาศในบริเวณเดียวกัน ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้การเก็บอากาศในตู้ดูดควันของห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 5 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

4.5 การหาค่าคงที่ k เพื่อใช้คำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศจากการเก็บอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ

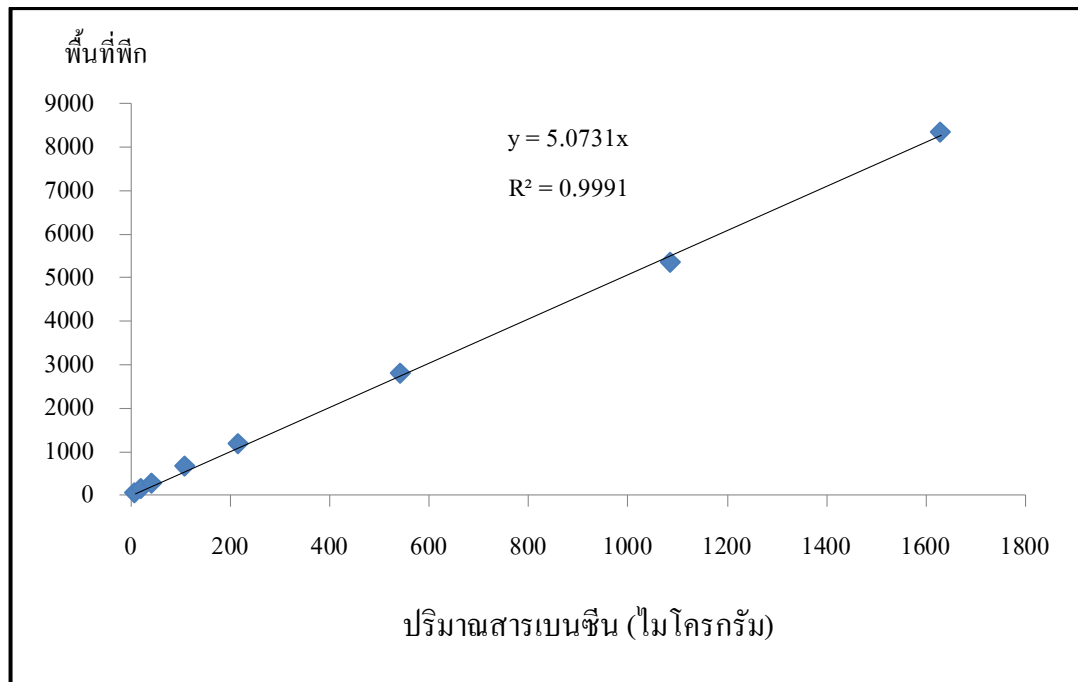
4.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์สาร BTEX จากการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ

จากการทดลองในข้อ 3.4.1 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 และกราฟมาตรฐานตามรูปที่ 4.6 - 4.9 ซึ่งพบว่า เป็นกราฟเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษาและมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9926 - 0.9997

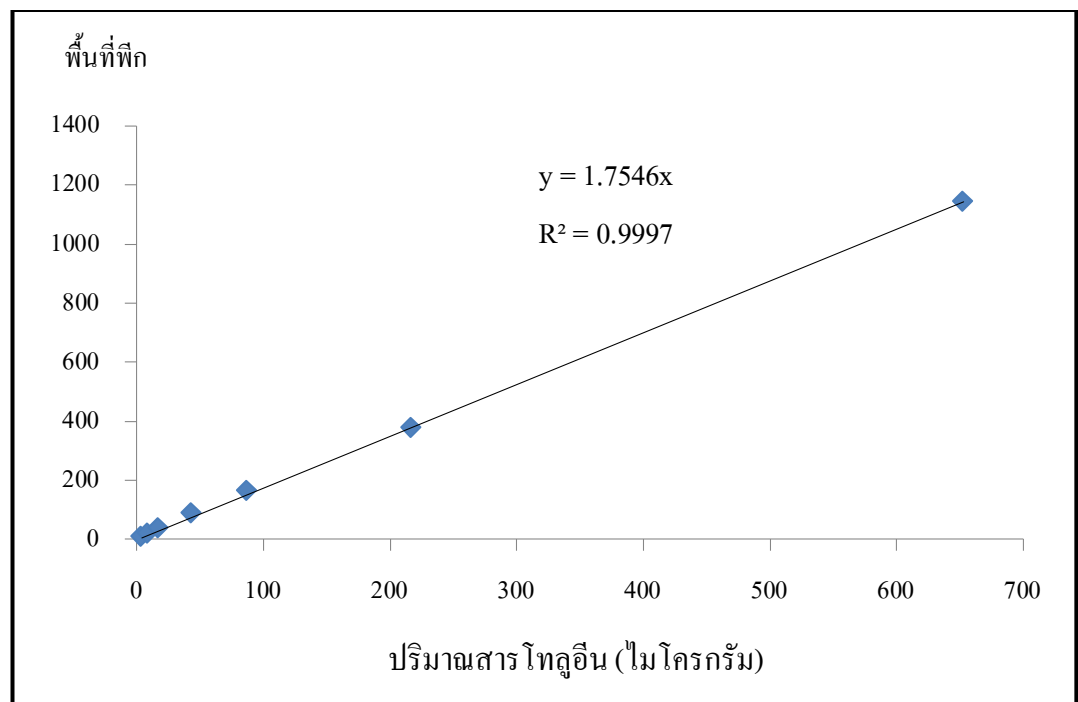
ตารางที่ 4.9 พื้นที่ฟีกของสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่ปริมาณต่างๆ สำหรับใช้กับการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ

ขวดที่	ปริมาณสารในแต่ละขวด (ไมโครกรัม)				พื้นที่ฟีก			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
1	0.00	0.00	0.00	0.00	17.20	ND	ND	ND
2	8.70	3.48	1.74	1.74	60.70	7.35	2.55	1.21
3	21.75	8.70	4.35	4.35	142.90	18.75	6.28	3.10
4	43.50	17.40	8.70	8.70	271.60	37.08	12.14	5.92
5	108.75	43.50	21.75	21.75	662.50	86.17	27.64	13.63
6	217.50	87.00	43.50	43.05	1176.70	165.19	52.91	26.06
7	543.75	217.50	108.75	108.75	2802.50	378.47	112.81	55.02
8	1087.5	435.00	217.50	217.50	5355.50	712.35	206.31	100.16
9	1631.25	652.50	326.25	326.25	8349.40	1143.40	325.40	157.60
10	2175.00	870.00	435.00	435.00	8947.50	1229.70	345.00	166.50

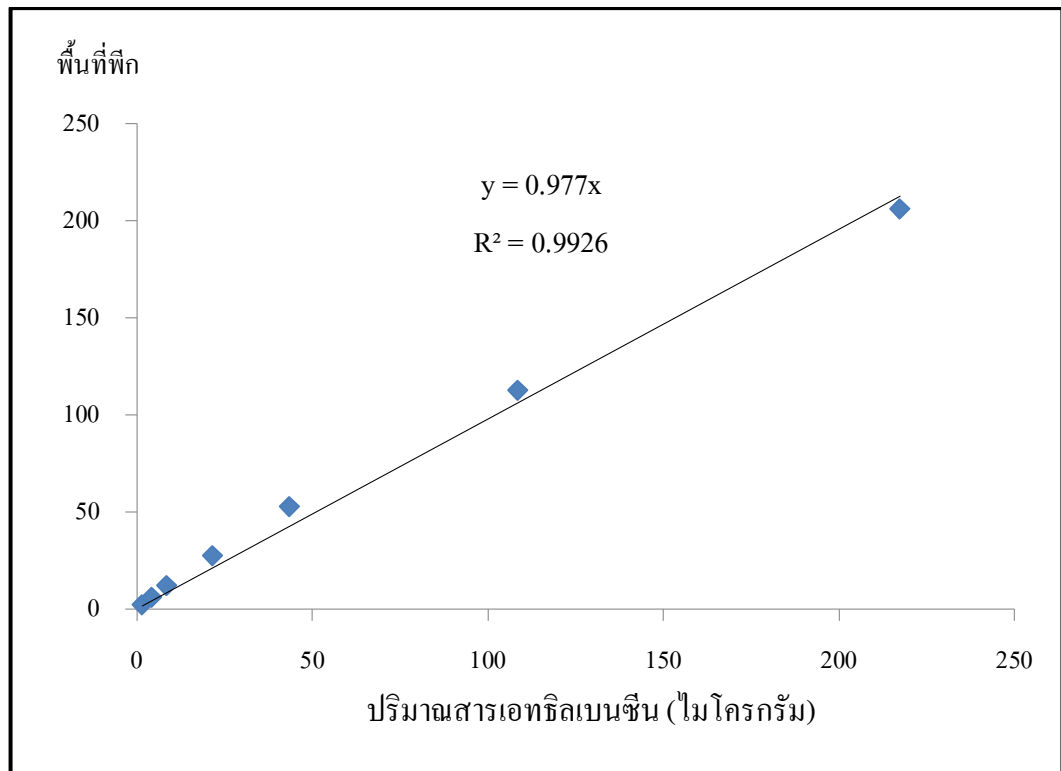
ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ



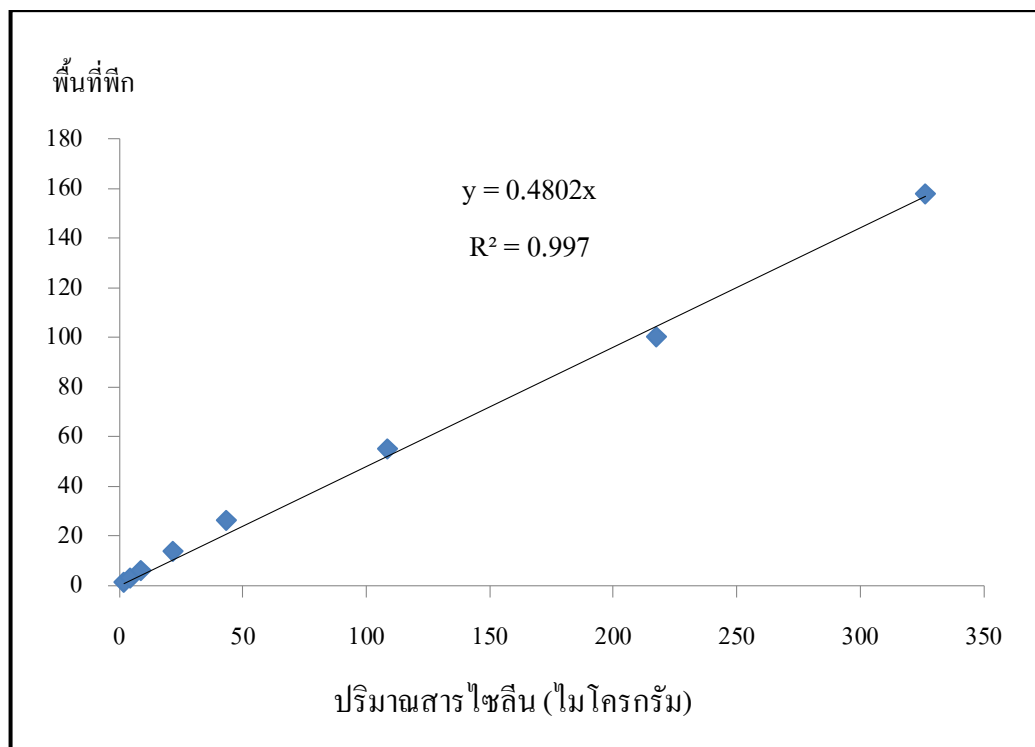
รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานของสารเบนซีน ในช่วง 0.00 - 1631.25 ไมโครกรัม



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานของสารโทลูอินในช่วง 0.00 - 652.5 ไมโครกรัม



รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานของสารเอทิลเบนซีน ในช่วง 0.00 - 217.5 ไมโครกรัม



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของสารไซลีน ในช่วง 0.00-345.00 ไมโครกรัม

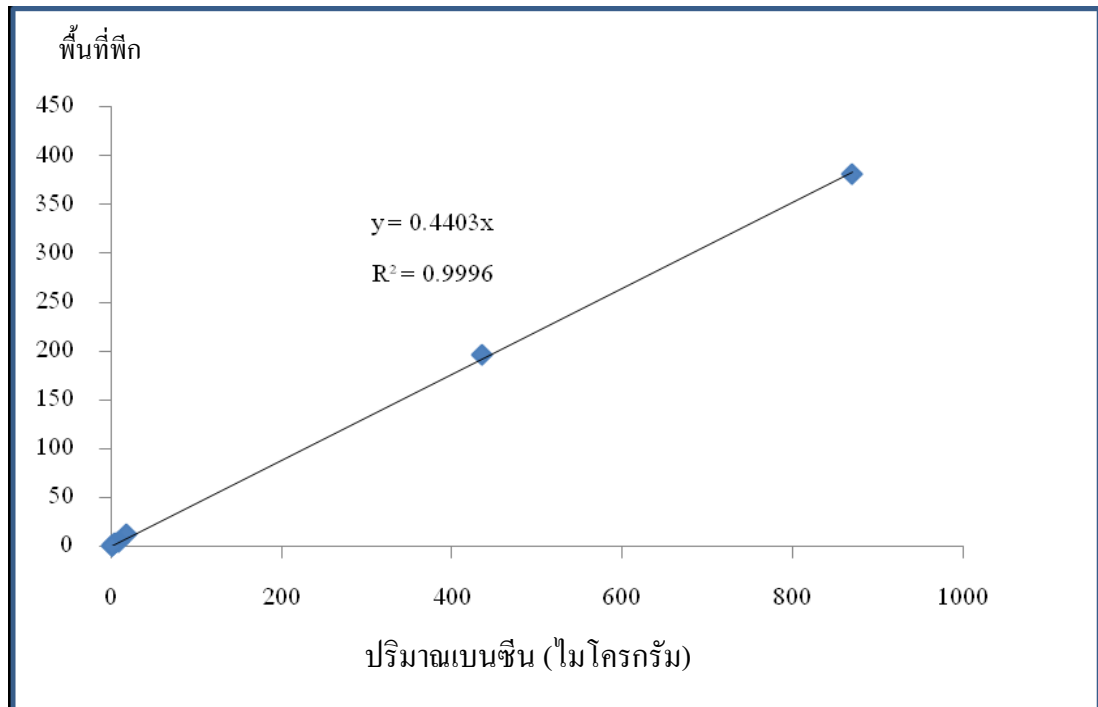
4.5.2 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์สาร BTEX จากการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

จากการทดลองตามข้อ 3.5.2.3 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10 และกราฟมาตรฐานตามรูปที่ 4.10 - 4.13 ซึ่งพบว่า เป็นกราฟเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษาและมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9976 - 0.9996

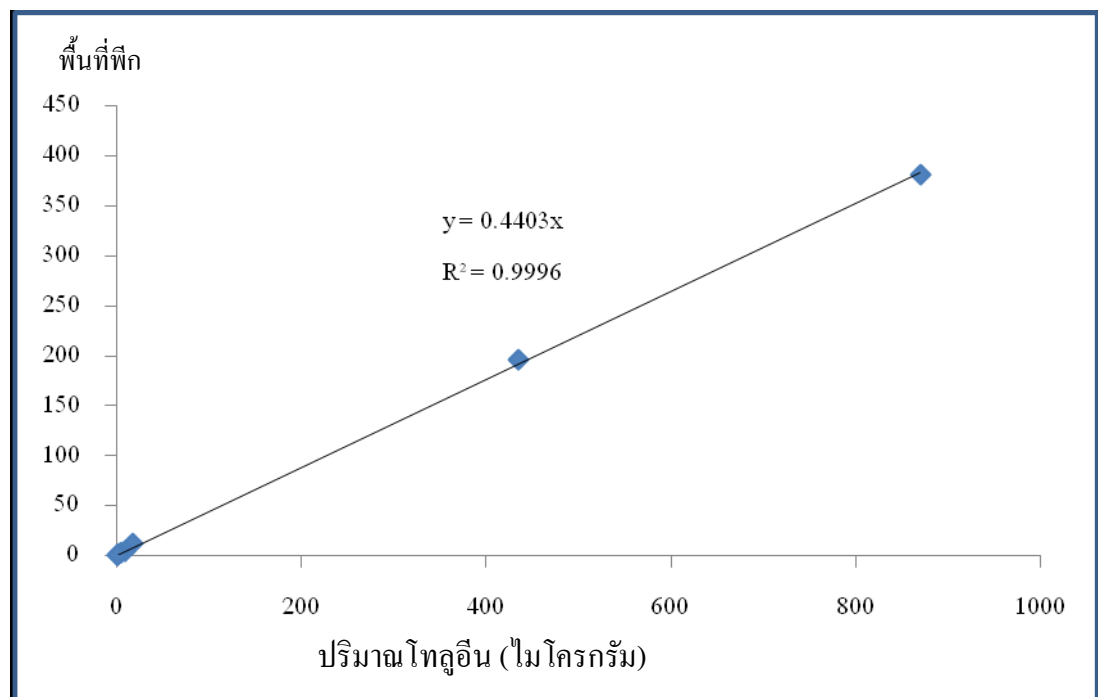
ตารางที่ 4.10 พื้นที่ฟลักของสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่ปริมาณต่างๆ สำหรับใช้กับการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

ขวด ที่	ปริมาณสารในแต่ละขวด (ไมโครกรัม)				พื้นที่ฟลัก			
	เบนซีน	โทลูอีน	เอทิล เบนซีน	ไซลีน	เบนซีน	โทลูอีน	เอทิล เบนซีน	ไซลีน
1	2175.00	870.00	435.00	435.00	3424.80	380.70	95.40	45.66
2	1087.50	435.00	217.50	217.50	1859.20	196.09	44.96	21.23
3	543.75	217.50	108.80	108.80	1185.30	141.42	37.86	18.23
4	217.50	87.00	43.50	43.50	446.94	50.98	13.71	6.61
5	108.75	43.50	21.75	21.75	230.44	26.41	7.17	3.50
6	43.50	17.40	8.70	8.70	111.18	12.10	3.37	1.68
7	21.75	8.70	4.40	4.40	52.57	4.87	1.24	0.59
8	10.88	4.40	2.20	2.20	41.93	3.69	ND	ND
9	5.44	2.20	1.09	1.10	31.16	2.51	ND	ND
10	2.18	0.87	0.43	0.44	17.78	0.99	ND	ND
11	1.09	0.44	0.22	0.22	12.76	0.50	ND	ND
12	0.22	0.09	0.04	0.04	10.68	ND	ND	ND
13	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	ND	ND	ND

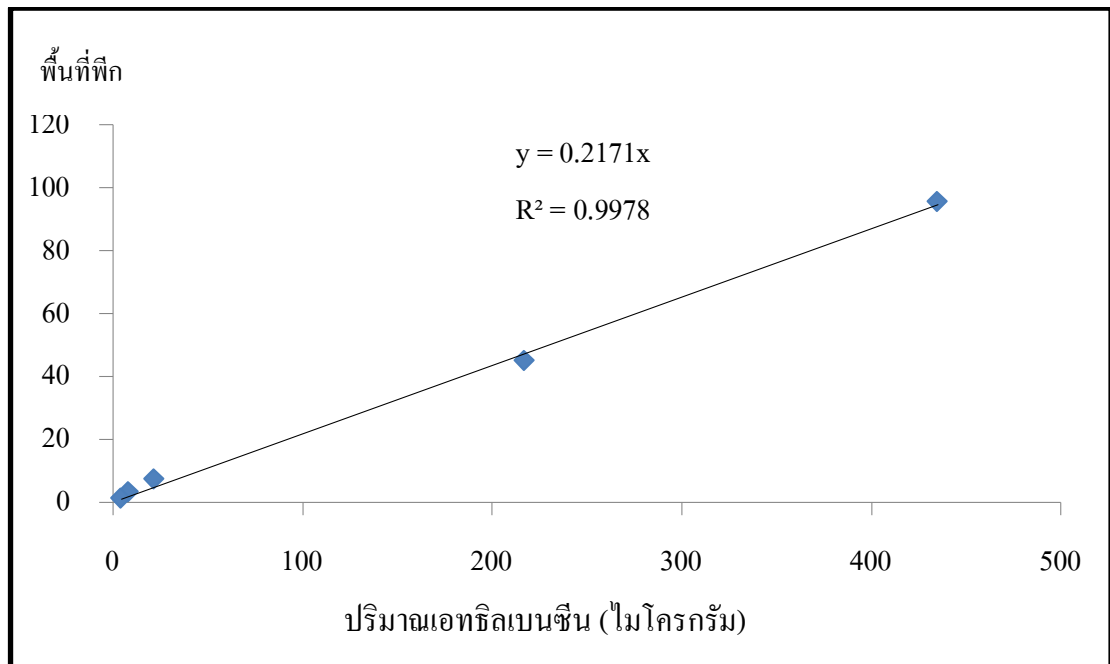
ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ



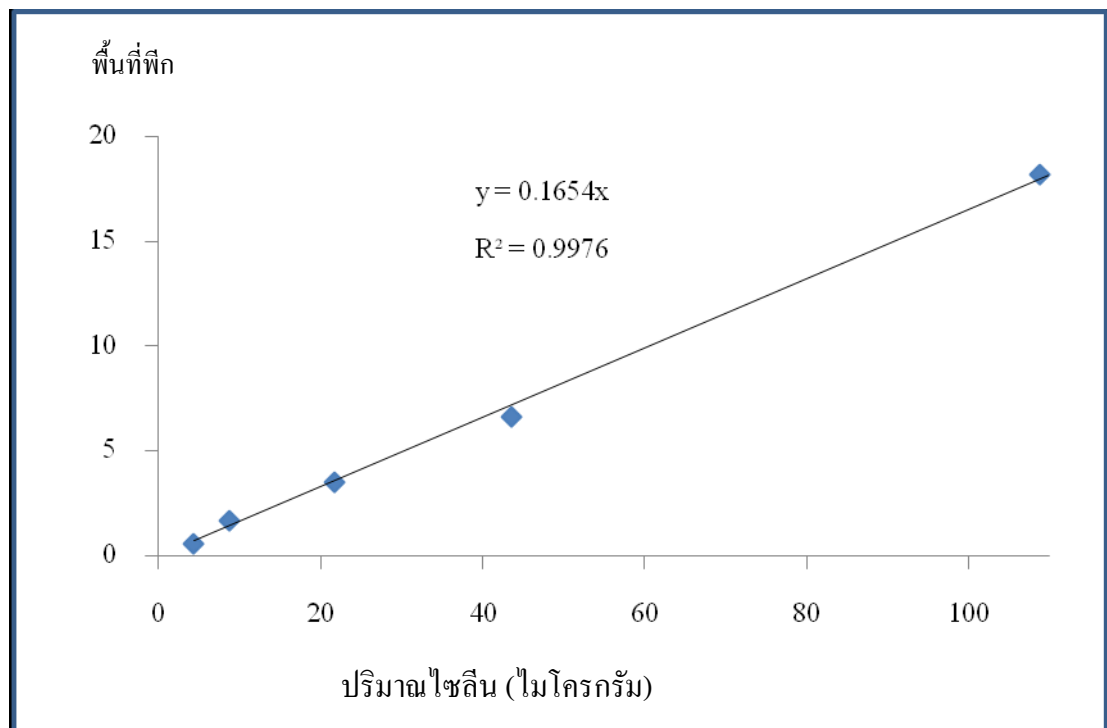
รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานของเบนซีน ในช่วง 0.00 - 1087.5 ไมโครกรัม



รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานของโทลูอิน ในช่วง 0.00 - 870 ไมโครกรัม



รูปที่ 4.12 กราฟมาตรฐานของเอทิลเบนซีน ในช่วง 0.00 - 450 ไมโครกรัม



รูปที่ 4.13 กราฟมาตรฐานของไซลีน ในช่วง 0.00 - 110.0 ไมโครกรัม

ในการศึกษาความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ จำเป็นต้องเทียบค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีเก็บอากาศแบบแอคทีฟ ซึ่งทำการตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยใช้เวลาเก็บตัวอย่าง 60 ชั่วโมง (ตามแผนผังเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศดังตารางที่ ข.3 ในภาคผนวก) โดยทำการทดลองตามหัวข้อ 3.5.1 และหาค่าคงที่เฉลี่ย k ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.11 (รายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.2.3)

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่เฉลี่ย k สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศ

ชนิด	ค่าคงที่เฉลี่ย k (ng.hr ⁻¹ /mg.m ³)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
ค่าคงที่เฉลี่ย	1296.97	1281.24	2730.47	2580.42

4.6 การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

จากผลการเก็บอากาศโดยใช้วิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในหัวข้อ 4.4 ทำการวิเคราะห์หาสาร BTEX ด้วยเครื่องเฮดสเปซ/แก๊สโครมาโทกราฟีได้พื้นที่พีค ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณสาร BTEX ที่ถูกดูดซับไว้ในอุปกรณ์เก็บอากาศในหน่วยไมโครกรัม เมื่อหาค่าคงที่ k ได้จากหัวข้อ 4.5 จึงสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศได้โดยใช้ค่าคงที่เฉลี่ยจากตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก.3 และผลการทดลองที่คำนวณตามระยะเวลาที่เก็บอากาศได้ความเข้มข้นของเบนซีน แสดงในตารางที่ 4.12 - 4.15 และรูปที่ 4.14 - 4.17 ความเข้มข้นของโทลูอินแสดงในตารางที่ 4.16 - 4.19 และรูปที่ 4.18 - 4.21 ส่วน เอทิลเบนซีน และไซลีน ไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลา
เก็บอากาศ 7 วัน

จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	7/1	7/2	7/3
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	4.73	4.92	2.58
หมู่บ้านนพเกตุ	ND	3.72	2.47
ชุมชนบ้านพลง	2.67	3.72	2.69
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	4.38	2.90	2.69
เมืองใหม่มาบตาพุด	1.75	1.91	2.58
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.96	2.65	1.83
วัดมาบชะลูค	4.64	0.54	0.83

7/1 หมายถึง วันที่ 16 ก.พ. - 24 ก.พ. 55 7/2 หมายถึง วันที่ 23 ก.พ. - 1 มี.ค. 55

7/3 หมายถึง วันที่ 10 มี.ค. - 16 มี.ค. 55

ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลา
เก็บอากาศ 14 วัน

จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	14/1	14/2	14/3
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	4.39	3.75	1.33
หมู่บ้านนพเกตุ	6.20	4.82	2.29
ชุมชนบ้านพลง	4.50	4.50	1.33
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	5.88	4.71	3.46
เมืองใหม่มาบตาพุด	7.48	9.40	0.80
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	6.52	5.88	1.33
วัดมาบชะลูค	6.74	6.95	1.65

14/1 หมายถึง วันที่ 25 ก.พ. - 9 มี.ค. 55 14/2 หมายถึง วันที่ 3 มี.ค. - 16 มี.ค. 55

14/3 หมายถึง วันที่ 9 มี.ค. - 23 มี.ค. 55

ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน

จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	21/1	21/2	21/3
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	4.70	2.03	2.29
หมู่บ้านนพเกตุ	2.86	2.45	3.00
ชุมชนบ้านพลง	4.28	2.10	2.79
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	4.28	2.59	1.93
เมืองใหม่มาบตาพุด	3.07	1.95	1.44
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	3.92	1.53	2.08
วัดมาบชะลูุด	3.71	2.17	0.87

21/1 หมายถึง วันที่ 18 ก.พ. - 9 มี.ค. 55

21/2 หมายถึง วันที่ 2 มี.ค. - 23 มี.ค. 55

21/3 หมายถึง วันที่ 8 มี.ค. - 30 มี.ค. 55

ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นของเบนซีน ในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน

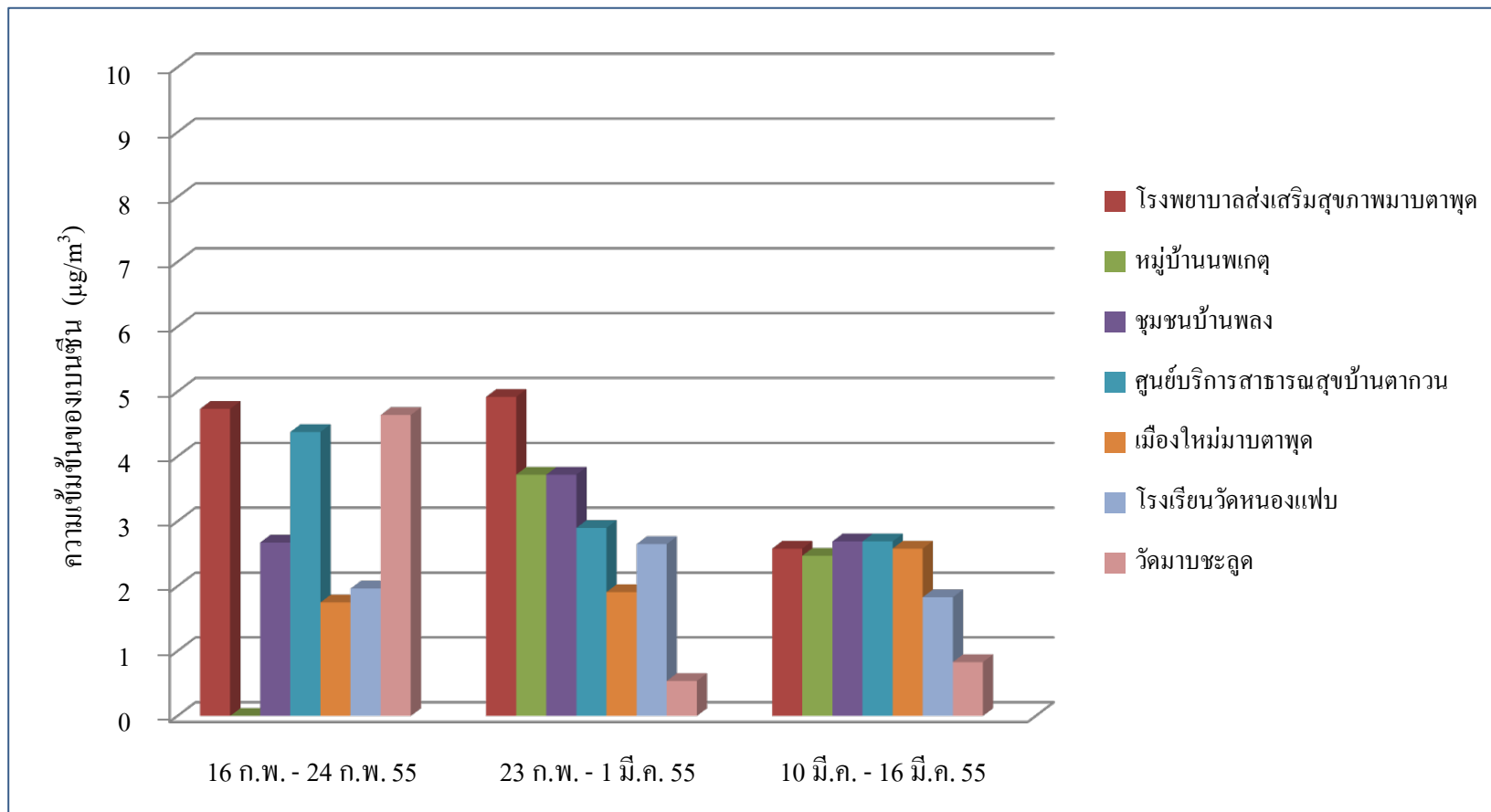
จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	28/1	28/2	28/3
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.77	1.73	0.76
หมู่บ้านนพเกตุ	1.77	1.32	1.56
ชุมชนบ้านพลง	1.88	2.20	0.38
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.93	2.30	0.76
เมืองใหม่มาบตาพุด	2.41	1.73	0.65
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.93	1.43	0.33
วัดมาบชะลูุด	1.61	1.38	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

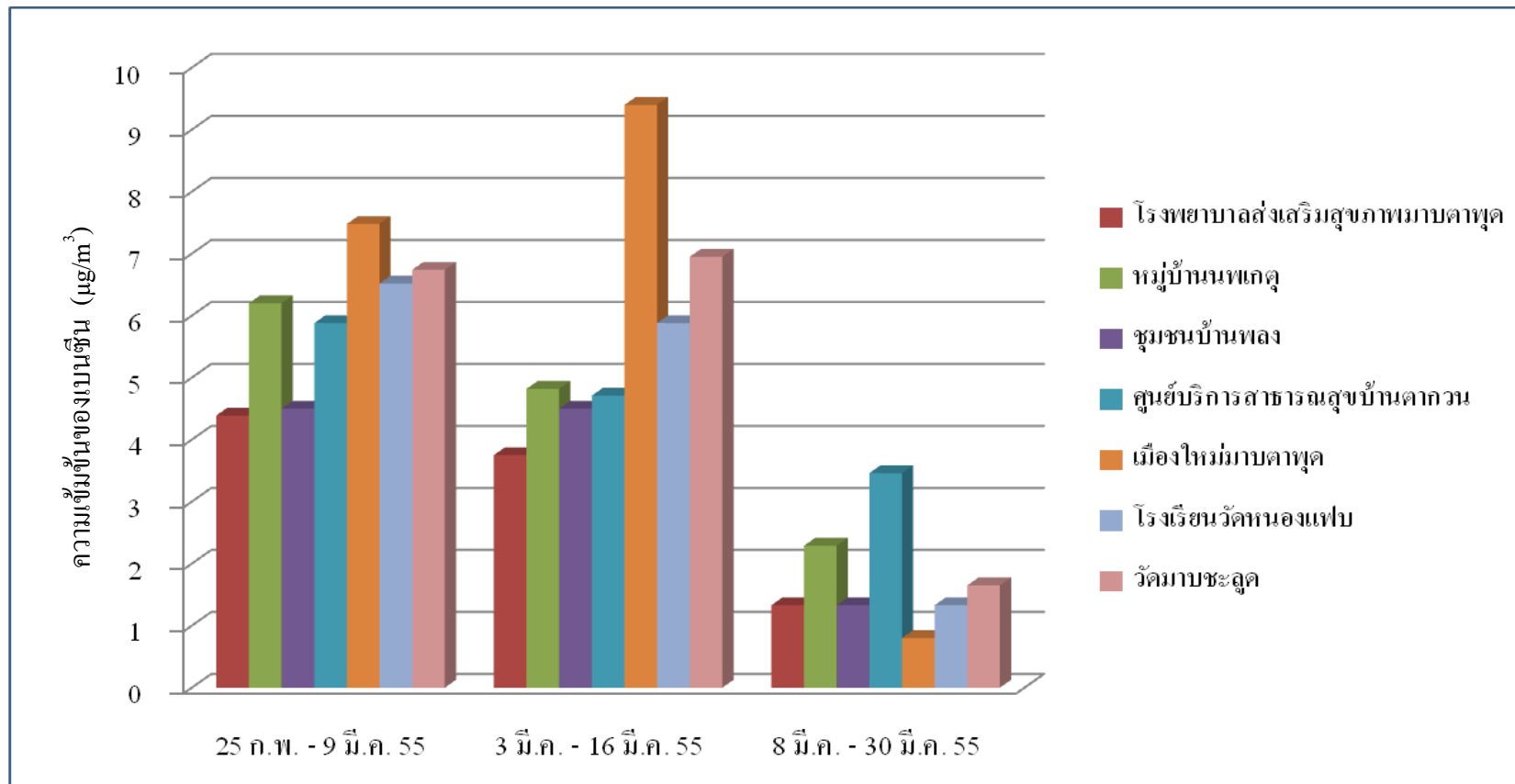
28/1 หมายถึง วันที่ 17 ก.พ. - 16 มี.ค. 55

28/2 หมายถึง วันที่ 23 ก.พ. - 23 มี.ค. 55

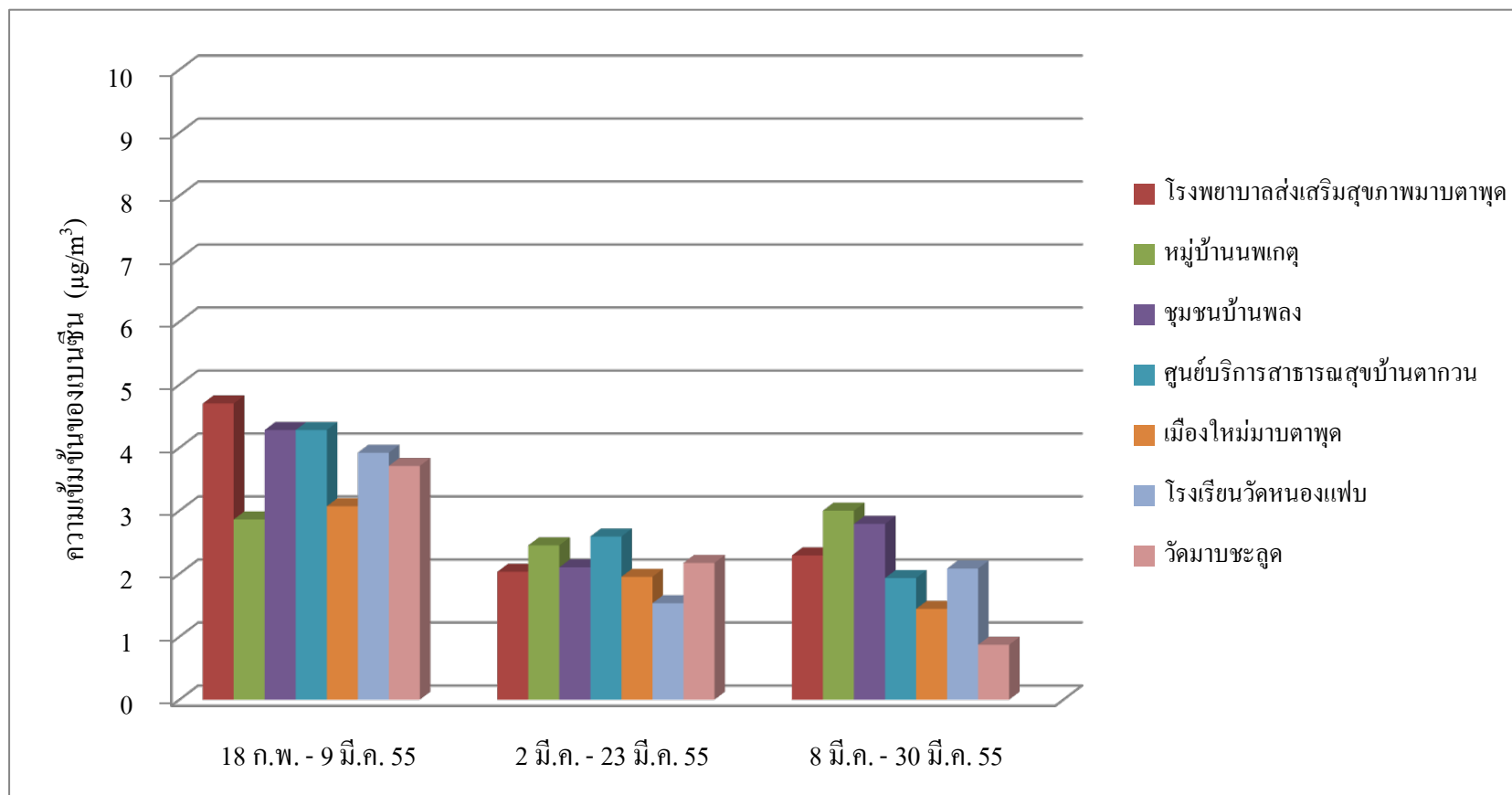
28/3 หมายถึง วันที่ 2 มี.ค. - 30 มี.ค. 55



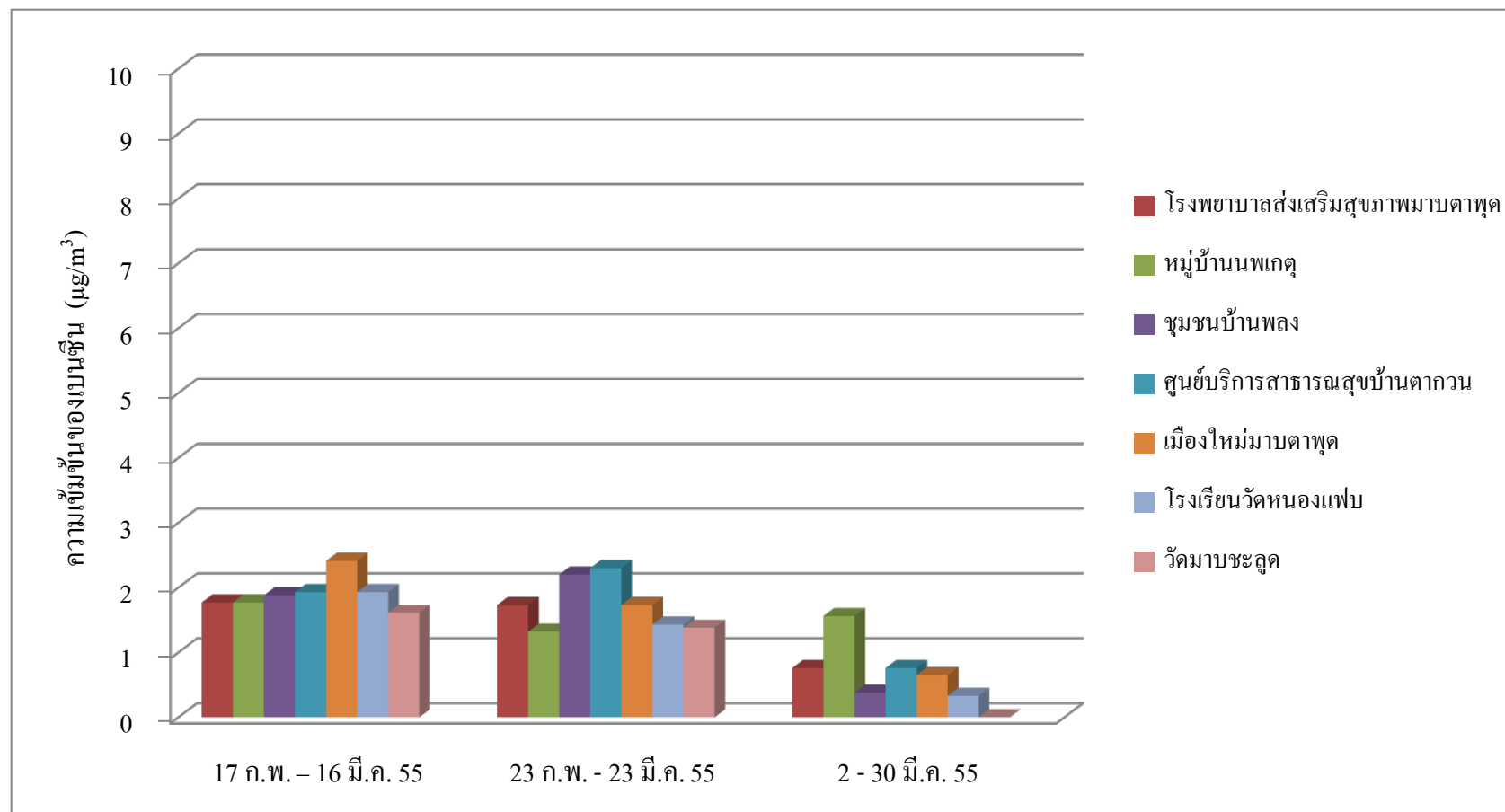
รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด
ระยะเวลาเก็บอากาศ 7 วัน



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด
ระยะเวลาเก็บอากาศ 14 วัน



รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมตำบล
ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน



รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ตามจุดเก็บตัวอย่างอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด
ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน

จากรูปที่ 4.14-4.17 พบว่า ความเข้มข้นของเบนซีนที่ได้จากวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ทั้ง 7 สถานี คือ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด หมู่บ้านนพเกตุ ชุมชนบ้านพลง ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน เมืองใหม่มาบตาพุด โรงเรียนวัดหนองแฟบ และวัดมาบชะลูุด เป็นเวลา 7 วัน มีความเข้มข้นอยู่ในระหว่าง $0.00 - 4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ การเก็บอากาศเป็นเวลา 14 วัน เบนซีนมีความเข้มข้นเฉลี่ยระหว่าง $1.33 - 7.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ การเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 21 วัน เบนซีนมีความเข้มข้นเฉลี่ยระหว่าง $0.87 - 4.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 28 วัน เบนซีนมีความเข้มข้นเฉลี่ยระหว่าง $0.00 - 2.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย เดชา พิมพิสุทธิ์ และคณะ [19] ที่ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร BTEX ในบริเวณพื้นที่แถบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่อื่นๆในบริเวณใกล้เคียงโดยการใช้ปั๊มดูดอากาศแบบพกพาและหลอดแก้วบรรจุผงถ่านกัมมันต์ ตรวจพบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจวัดได้สำหรับเบนซีน (3.7 และ $17.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในพื้นที่เหนือลม พบว่ามีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของเบนซีน (4.6 และ $26.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ที่ในบริเวณพื้นที่พักอาศัยได้ลมจากนิคมอุตสาหกรรม แสดงว่าบริเวณใต้ลมจากนิคมอุตสาหกรรมได้รับผลกระทบจากการปล่อยสารดังกล่าวในพื้นที่ และเมื่อใช้เทคนิคการเปรียบเทียบค่า B/T ratio ของผลการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการศึกษาลักษณะการปล่อยสารเหล่านี้จากแหล่งกำเนิด (source profile) และจากการประมาณทิศทางลมในช่วงที่ทำการตรวจวัด พบว่ากระบวนการประกอบกิจการของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่นน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดหลักของสาร BTEX ในบริเวณดังกล่าว ทั้งนี้จากผลการตรวจวัดไม่พบค่าความเข้มข้นของเบนซีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งเกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศที่กำหนดไว้โดยองค์การอนามัยโลกที่ความเข้มข้น 5 ppbv หรือ $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จากข้อมูลผลการวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสภาพอากาศและประเภทของแหล่งกำเนิดมีความสำคัญต่อระดับมลพิษในบรรยากาศ การปล่อยสารจากแหล่งกำเนิดที่เป็นบริเวณกว้าง ทำให้บริเวณใต้ลมจากนิคมอุตสาหกรรมได้รับสารในปริมาณสูง อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการศึกษาในครั้งนี้จึงทำให้พบความเข้มข้นของเบนซีนมีค่าสูงกว่าค่าของกรมควบคุมมลพิษที่ตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.16 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 7 วัน

จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของโทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	7/1	7/2	7/4
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	127.99	94.97	105.62
หมู่บ้านนพเกตุ	92.14	116.00	88.23
ชุมชนบ้านพลง	97.67	147.13	93.90
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	124.36	108.18	107.64
เมืองใหม่มาบตาพุด	89.58	94.03	98.75
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	86.35	110.20	104.00
วัดมาบชะลูุด	171.12	100.81	74.89

7/1 หมายถึง วันที่ 16 ก.พ. - 24 ก.พ. 55

7/2 หมายถึง วันที่ 23 ก.พ. - 1 มี.ค. 55

7/3 หมายถึง วันที่ 10 มี.ค. - 16 มี.ค. 55

ตารางที่ 4.17 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 14 วัน

จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของโทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	14/1	14/2	14/3
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	53.62	53.82	2.73
หมู่บ้านนพเกตุ	69.19	64.94	3.22
ชุมชนบ้านพลง	53.01	62.92	2.73
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	60.29	62.31	2.83
เมืองใหม่มาบตาพุด	82.12	71.81	2.29
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	67.16	66.15	2.13
วัดมาบชะลูุด	73.23	79.90	2.07

14/1 หมายถึง วันที่ 25 ก.พ. - 9 มี.ค. 55

14/2 หมายถึง วันที่ 3 มี.ค. - 16 มี.ค. 55

14/3 หมายถึง วันที่ 9 มี.ค. - 23 มี.ค. 55

ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน

จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของโทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	21/1	21/2	21/4
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	2.00	3.97	2.24
หมู่บ้านนพเกตุ	2.07	5.05	2.63
ชุมชนบ้านพลง	4.11	2.75	2.33
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.00	4.44	2.54
เมืองใหม่มาบตาพุด	2.45	3.41	1.98
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.66	2.59	1.98
วัดมาบชะลูุด	4.91	1.98	2.05

21/1 หมายถึง วันที่ 18 ก.พ. - 9 มี.ค. 55

21/2 หมายถึง วันที่ 2 มี.ค. - 23 มี.ค. 55

21/3 หมายถึง วันที่ 8 มี.ค. - 30 มี.ค. 55

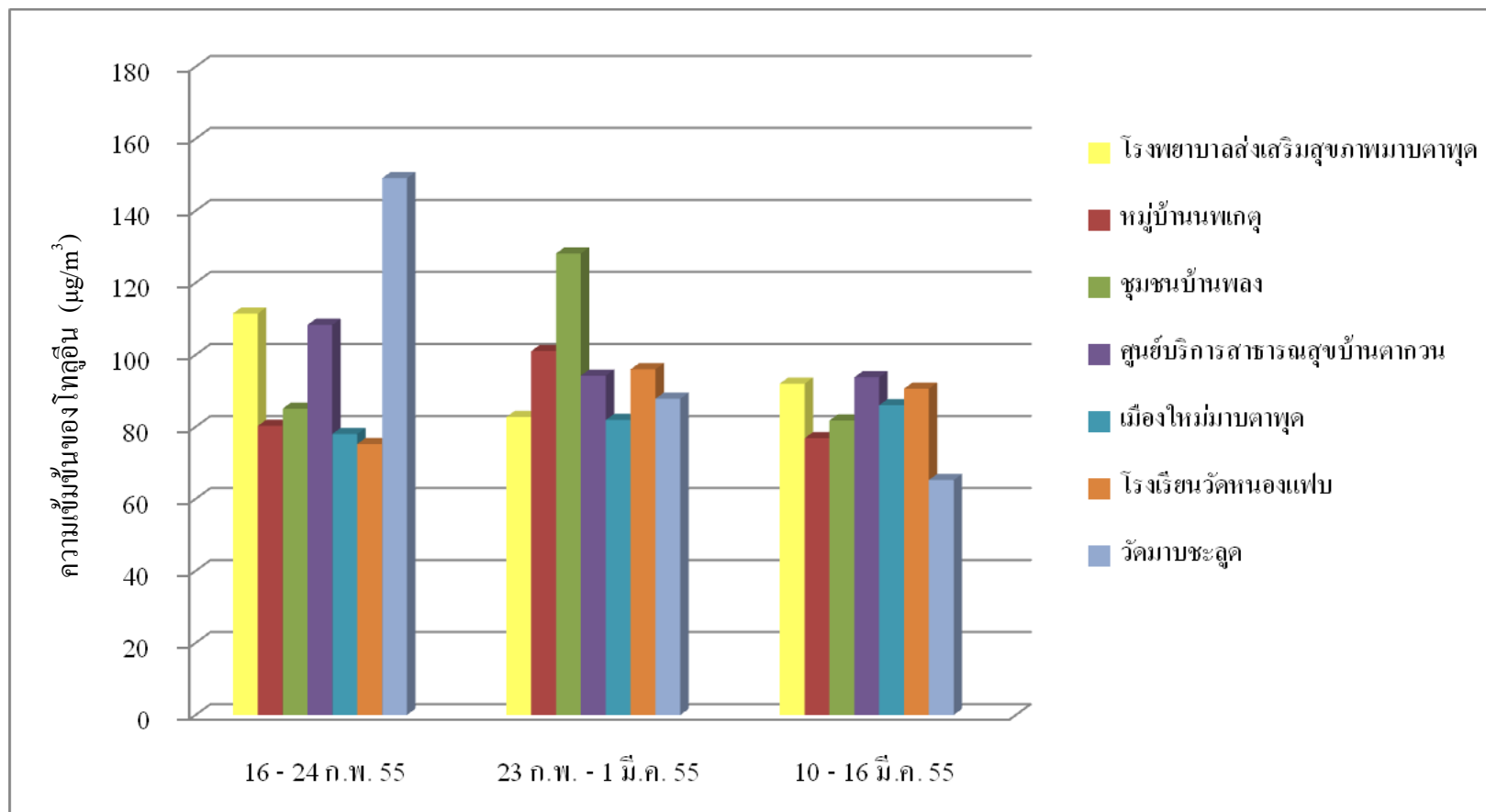
ตารางที่ 4.19 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน

จำนวนวัน/ตัวอย่างที่ สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นของโทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	28/1	28/2	28/4
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.02	1.71	1.27
หมู่บ้านนพเกตุ	0.99	1.71	2.01
ชุมชนบ้านพลง	1.09	2.41	1.22
ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.00	2.15	1.41
เมืองใหม่มาบตาพุด	1.30	1.26	0.92
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.85	1.37	0.84
วัดมาบชะลูุด	0.82	1.69	0.88

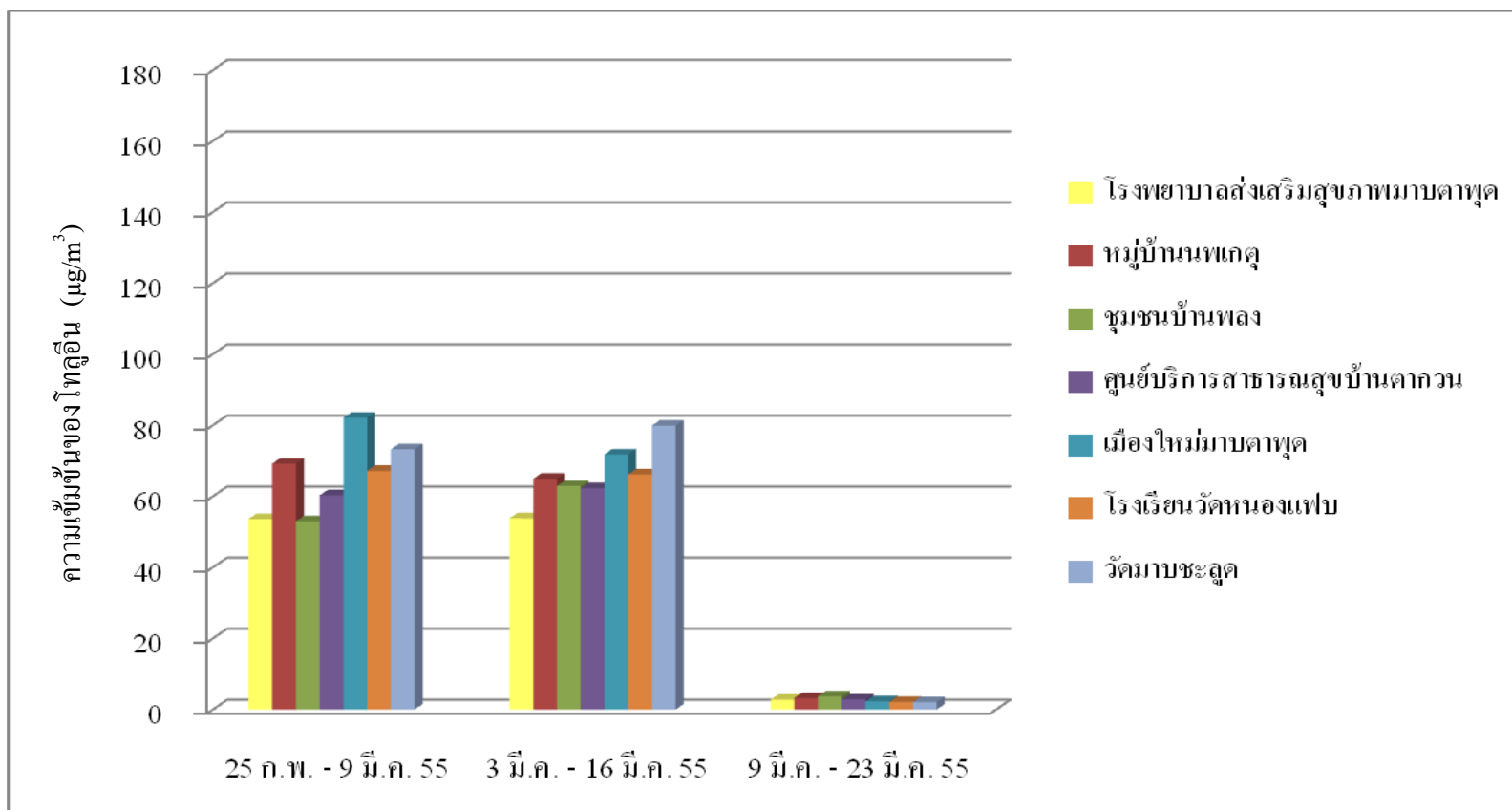
28/1 หมายถึง วันที่ 17 ก.พ. - 16 มี.ค. 55

28/2 หมายถึง วันที่ 23 ก.พ. - 23 มี.ค. 55

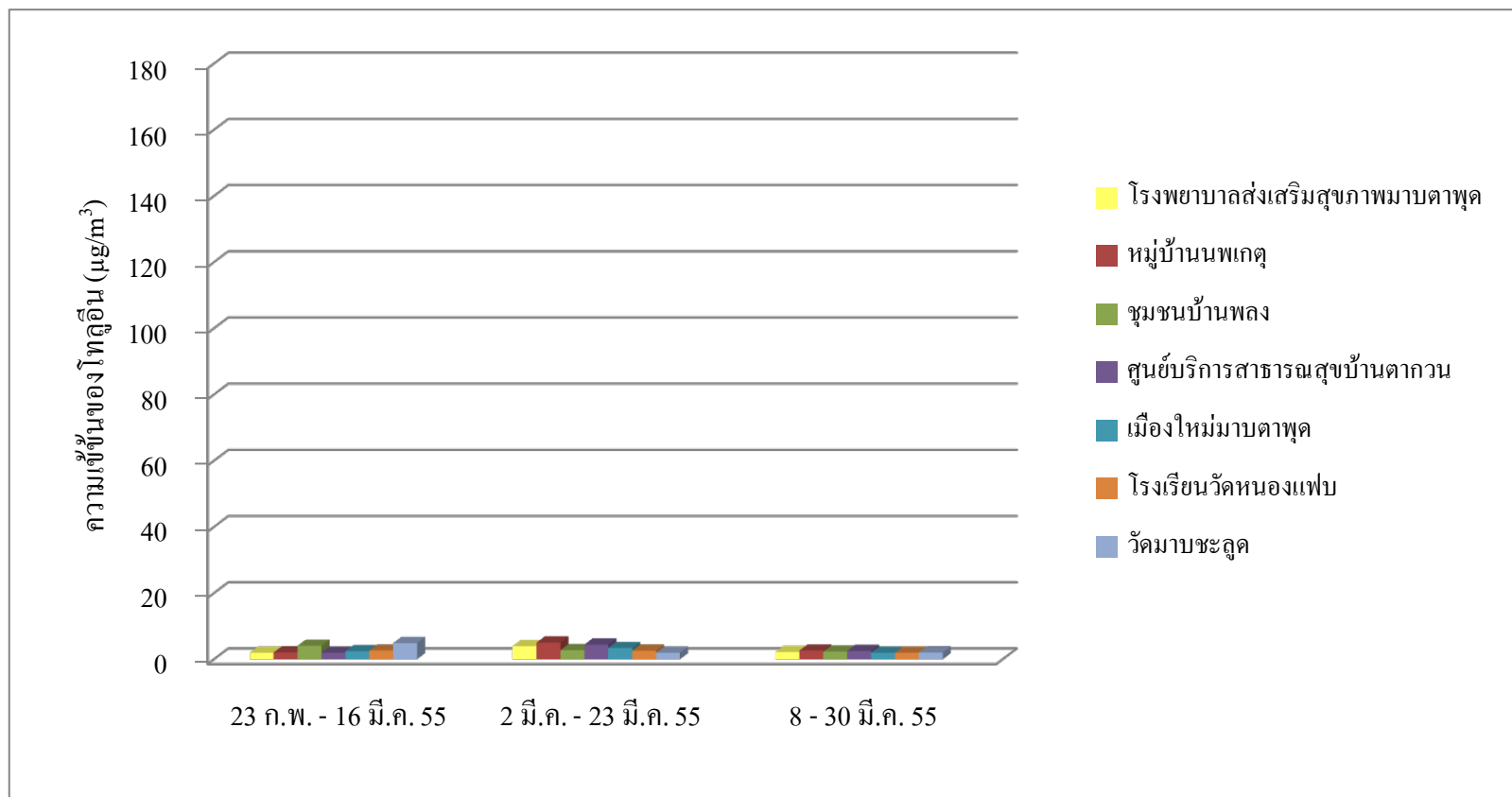
28/3 หมายถึง วันที่ 2 มี.ค. - 30 มี.ค. 55



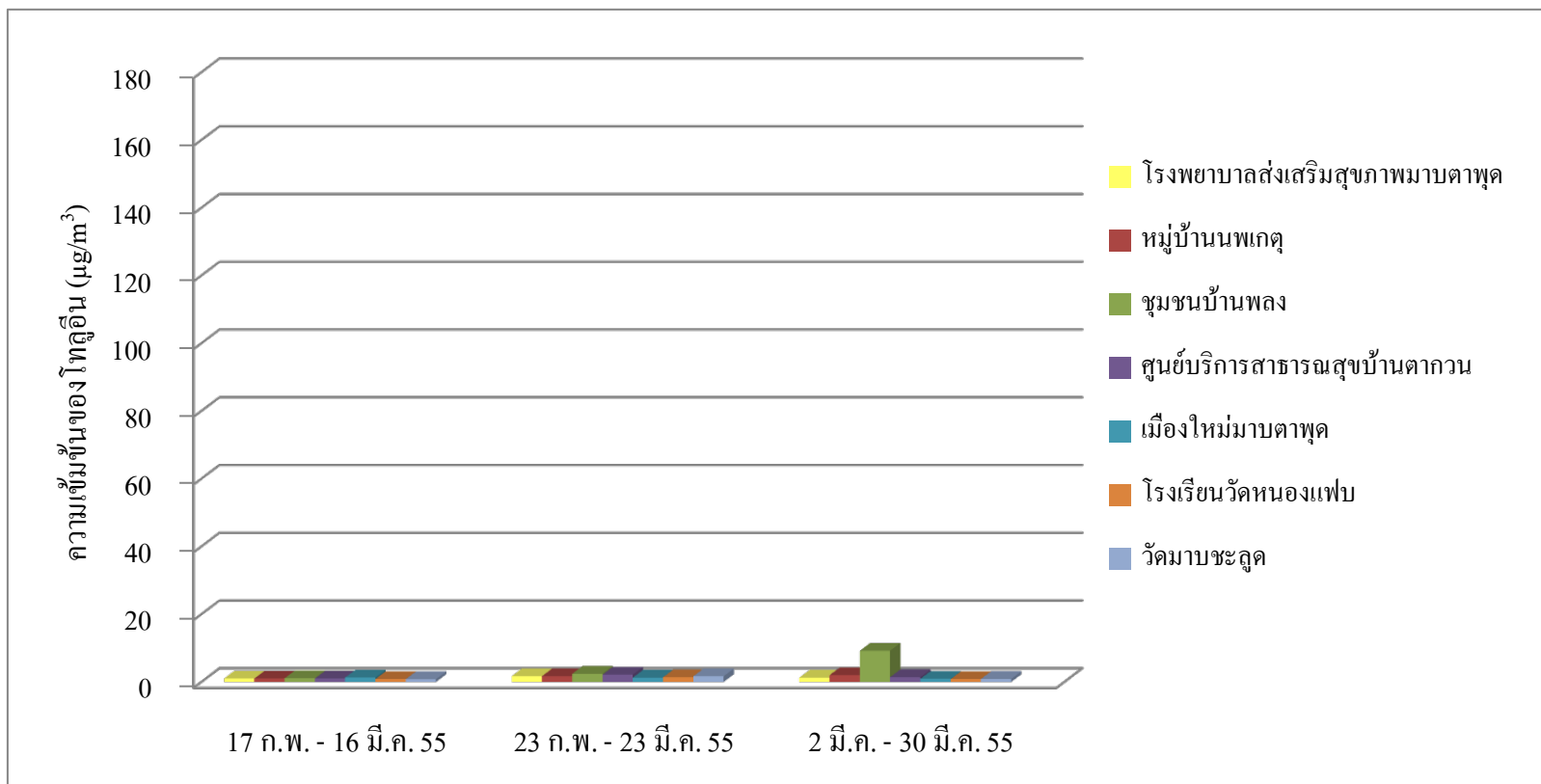
รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ จุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมบางคาพูด
ระยะเวลาเก็บอากาศ 7 วัน



รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของโพลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ จุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมแม่อาย
ระยะเวลาเก็บอากาศ 14 วัน



รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ จุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาตาพูด
ระยะเวลาเก็บอากาศ 21 วัน



รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ จุดเก็บตัวอย่างอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด
ระยะเวลาเก็บอากาศ 28 วัน

จากรูปที่ 4.18 - 4.21 พบว่า ความเข้มข้นของโทลูอินที่ได้จากการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ทั้ง 7 สถานี คือโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด หมู่บ้านนพเกตุ ชุมชนบ้านพลง ศูนย์บริการสาธารณสุข บ้านตากวน เมืองใหม่มาบตาพุด โรงเรียนวัดหนองแฟบ และวัดมาบชะลูุด การเก็บตัวอย่างอากาศ เป็นเวลา 7 วัน มีค่าความเข้มข้น อยู่ระหว่าง $74.89 - 171.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ การเก็บตัวอย่างอากาศ เป็นเวลา 14 วัน มีค่าความเข้มข้น อยู่ระหว่าง $2.07 - 82.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ การเก็บตัวอย่างอากาศ เป็นเวลา 21 วัน มีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง $1.98 - 5.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และการเก็บตัวอย่างอากาศ เป็นเวลา 28 วัน มีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง $0.82 - 2.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย เดชา พิมพ์สุทธิ์และคณะ[19] ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร BTEX ในบริเวณพื้นที่แถบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่อื่นๆในบริเวณใกล้เคียง ด้วยวิธีเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศตามจุดต่างๆ ที่ระดับประมาณ 1 เมตรเหนือผิวดินโดยการใช้ปั๊มดูดอากาศแบบพกพาและหลอดแก้วบรรจุผงถ่านกัมมันต์ ในช่วงฤดูร้อน (22 - 28 ก.พ.) ช่วงร้อนขึ้น (29 เม.ย. - 5 พ.ค.) และช่วงฤดูฝน (19 - 25 มิ.ย.) ปี พ.ศ. 2545 ตัวอย่างที่เก็บได้ถูกนำไปสกัดด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์ และวิเคราะห์หาปริมาณสารแต่ละชนิดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC/FID) ตรวจพบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจวัดได้สำหรับโทลูอิน (2.1 และ $8.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในพื้นที่เหนือลม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุด ของโทลูอินที่ (7.0 และ $370.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในบริเวณพื้นที่พักอาศัยได้ลมจากนิคมอุตสาหกรรม แสดงว่าบริเวณได้ลมจากนิคมอุตสาหกรรมได้รับผลกระทบจากการปล่อยสารดังกล่าวในพื้นที่ และเมื่อใช้เทคนิคการเปรียบเทียบค่า B/T ratio ของผลการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการศึกษาลักษณะการปล่อยสารเหล่านี้จากแหล่งกำเนิด (source profile) และจากการประมาณทิศทางลมในช่วงที่ทำการตรวจวัด พบว่ากระบวนการประกอบกิจการของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่นน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดหลักของสาร BTEX ในบริเวณดังกล่าว ทั้งนี้จากผลการวิจัยที่ใช้วิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ พบว่าความเข้มข้นของโทลูอินอยู่ระหว่าง $0.82 - 171.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและมีค่าน้อยกว่าผลงานวิจัยปี พ.ศ. 2545 ที่นำมาเปรียบเทียบ ทั้งนี้อาจเกิดจากปัจจัยที่โรงงานได้มีการปรับเปลี่ยนในใช้สารตั้งต้นในการผลิต สภาพอากาศและประเภทของแหล่งกำเนิดมีความสำคัญต่อระดับมลพิษในบรรยากาศ ทำให้ความเข้มข้นของโทลูอินลดลง

ส่วนปริมาณความเข้มข้นของเอทิลเบนซีน และ ไซลีน ที่ถูกดูดซับไว้ในถ่านกัมมันต์จากการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ไม่สามารถตรวจวัดได้ ทั้ง 7 สถานี อาจเนื่องมาจากในสภาวะปกติปริมาณความเข้มข้นของเอทิลเบนซีน และ ไซลีน มีอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งการเก็บอากาศแบบพาสซีฟอาศัยการแพร่ของสารที่อยู่ในอากาศ ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดได้

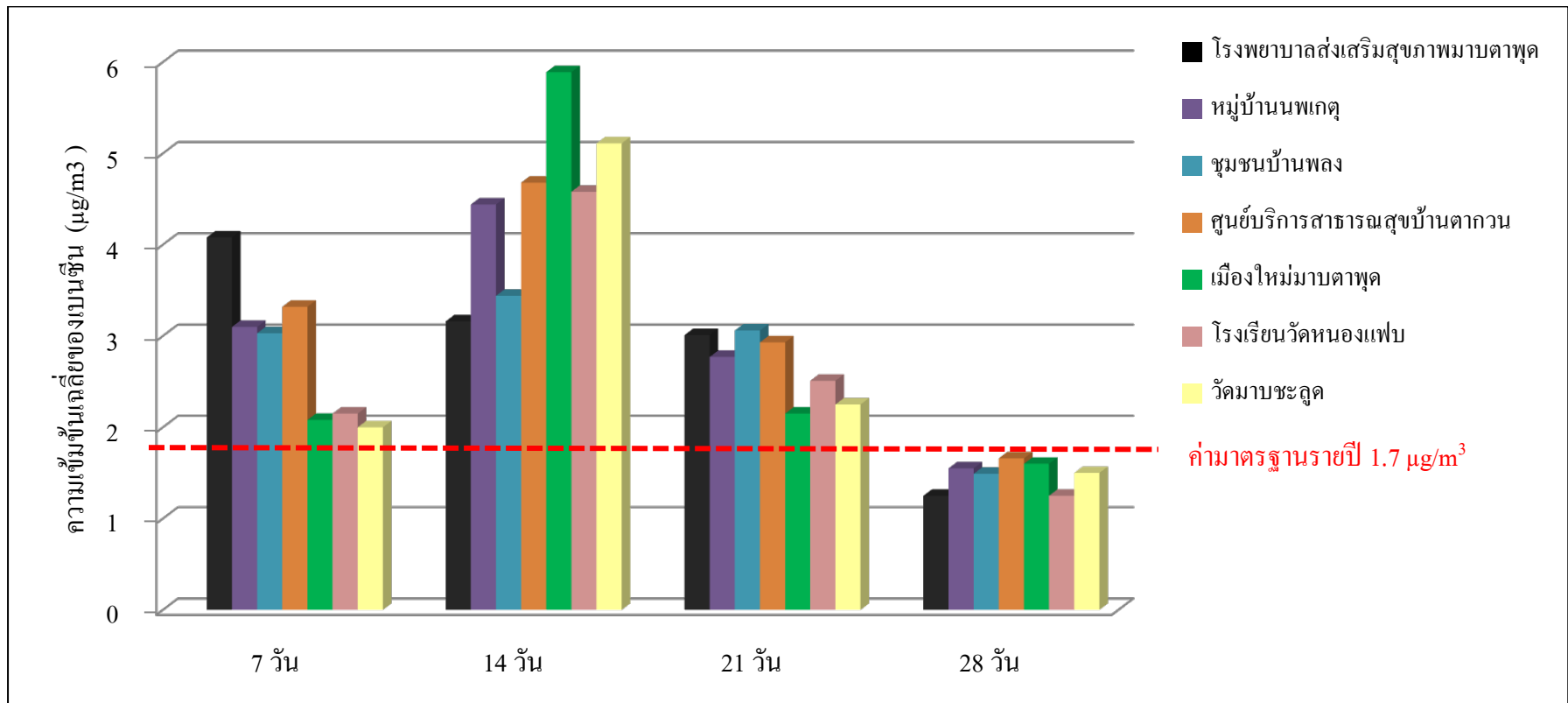
4.7 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซีน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี จากกรมควบคุมมลพิษ

เมื่อนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีนโดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ จากตารางที่ 4.12 - 4.15 มาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีจากกรมควบคุมมลพิษของ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 (การหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเบนซีน แสดงในภาคผนวก ข.) ได้ผลการเปรียบเทียบ แสดงในตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.21-4.22

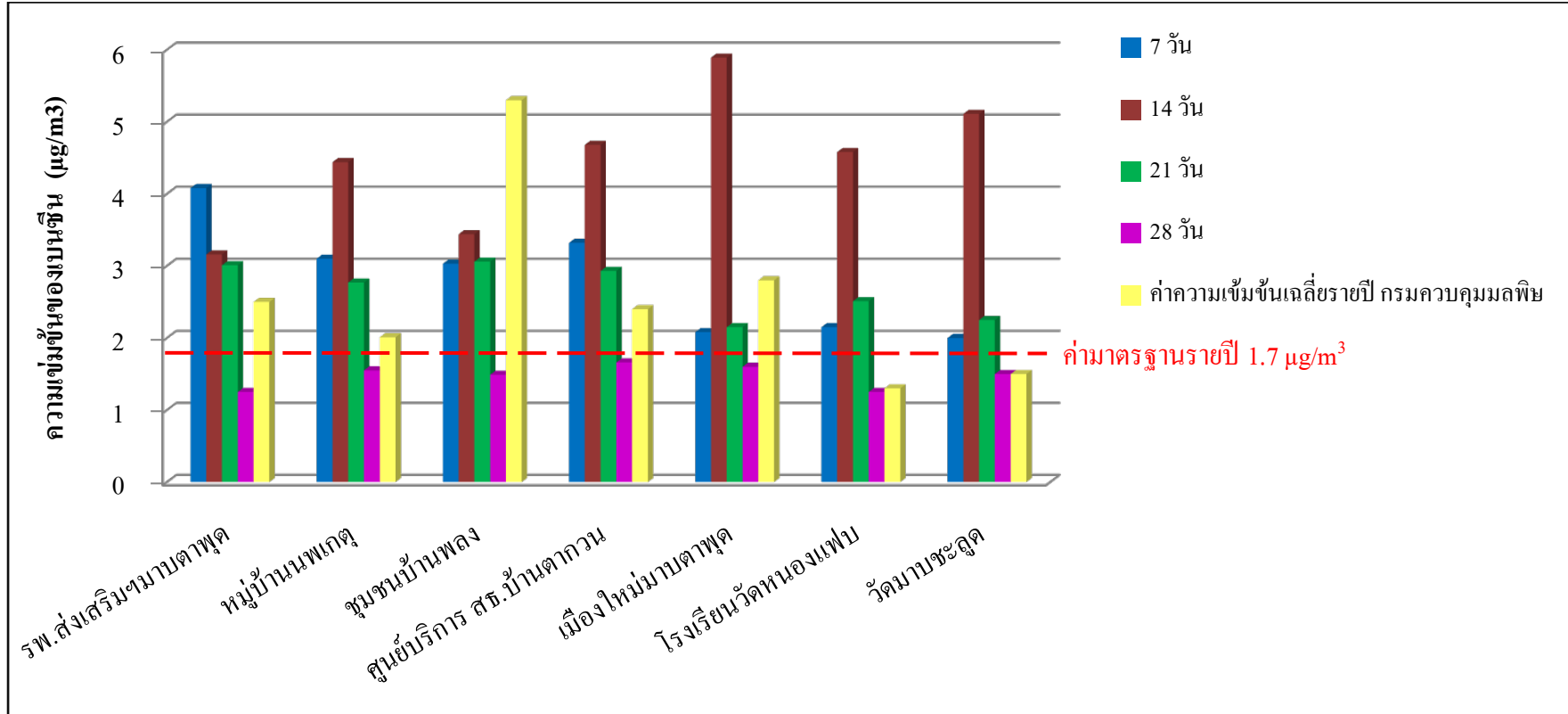
ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซีน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟกับค่าเฉลี่ยรายปีจากกรมควบคุมมลพิษของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมตาม จุดตรวจอากาศรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ความเข้มข้นเฉลี่ย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี * ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน		
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	4.08	3.16	3.01	1.25	2.88	2.5
หมู่บ้านนพเกตุ	3.10	4.44	2.77	1.55	2.97	2.0
ชุมชนบ้านพลง	3.03	3.44	3.06	1.49	2.76	5.3
ศูนย์บริการสาธารณสุขสุขบ้านตากวน	3.32	4.68	2.93	1.66	3.15	2.4
เมืองใหม่มาบตาพุด	2.08	5.89	2.15	1.60	2.93	2.8
โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.15	4.58	2.51	1.25	2.62	1.3
วัดมาบชะลูค	2.00	5.11	2.25	1.50	2.72	1.5
เฉลี่ยรวม					2.86	2.54

* ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, ปี พ.ศ. 2555



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟที่ระยะเวลาเก็บอากาศและสถานที่ต่างๆ กับมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีน โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟที่ระยะเวลาเก็บอากาศต่างๆกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

จากตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.22 พบว่า ความเข้มข้นของเบนซีน ที่ได้จากวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ เป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ที่จุดเก็บอากาศ 7 สถานี มีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง $2.62 - 3.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มข้นเฉลี่ยรวม $2.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีจาก กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่จุดเก็บอากาศเดียวกัน ซึ่งมีค่า ความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วง $1.30 - 5.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มข้นเฉลี่ยรวม $2.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าความ เข้มข้นสูงกว่ามาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษา คุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 สอดคล้องกับการรายงานของกรมควบคุมมลพิษ ที่ทำการ ตรวจวัดความเข้มข้นของเบนซีน บริเวณพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

จากรูปที่ 4.23 พบว่าความเข้มของเบนซีนที่ได้จากวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟเทียบกับความเข้มข้น เฉลี่ยรายปีจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตามจุดตรวจวัด อากาศ 7 จุด ของกรมควบคุมมลพิษ บริเวณพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ที่ระยะเวลาการเก็บอากาศต่างๆ พบว่า ปริมาณความเข้มของเบนซีนที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศ 7 วัน 14 วัน และ 21 วัน มีค่าความเข้มข้นสูงกว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีจากกรมควบคุมมลพิษ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากระยะเวลาดังกล่าวการดูดซับเบนซีนของถ่านกัมมันต์ในอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาส ซีฟ มีประสิทธิภาพดีมาก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปเกิดการคายซับเบนซีนกลับคืนสู่อากาศเนื่องจาก สภาพอากาศ มีความชื้นมากกว่าถ่านกัมมันต์ในอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ แต่ระยะเวลาเก็บ ตัวอย่างอากาศ 28 วัน ความเข้มข้นของเบนซีนมีค่าน้อยกว่าและเท่ากันกับความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีจาก กรมควบคุมมลพิษ อาจเนื่องมาจากการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ มีการดูดซับเบนซีนจนถึงจุดสมดุล (Equilibrium) ในสภาวะปกติจึงทำให้มีความเข้มข้นของเบนซีน มีค่าน้อยกว่าและเท่ากันกับความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี จากกรมควบคุมมลพิษ

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการดูดซับ BTEX โดยถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าว ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ เปรียบเทียบประสิทธิภาพและปริมาณการดูดซับสารเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และ ไซลีน (BTEX) โดยเทคนิคเฮดสเปซ/แก๊สโครมาโตกราฟี (GC-FID) ได้ผลสรุปดังนี้

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสาร BTEX ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

จากการนำถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าวจากผู้ผลิตในประเทศ ได้แก่ บริษัทคาร์โบกาญจน์ และบริษัทพีเอคาร์บอน ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาบริษัทละ 2 ตัวอย่าง มาทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับสาร BTEX ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้าของบริษัทคาร์โบกาญจน์ ขนาด 20-100 mesh มีประสิทธิภาพในการดูดซับสาร BTEX ที่ดีให้พื้นที่ฟีกสูง และมีค่า % RSD ของพื้นที่ฟีกสาร BTEX ในช่วง 4.6-21.8 % ส่งผลให้มีความเที่ยงของการวิเคราะห์ดีกว่าถ่านกัมมันต์ขนาดอื่นๆ

5.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ทางการค้า ขนาด 20-100 mesh ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 447 มิลลิกรัมต่อกรัม และทำการทดสอบเทคนิค BET Surface Area พบว่า มีพื้นที่ผิว 1,319.10 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.6457 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุน 19.58 อังสตรอม พื้นที่รูพรุนแบบไมโครพอร์ 1,556.00 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งลักษณะพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันโดยมีรูพรุนแบบไมโครพอร์จะมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับที่มาก ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำ

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ได้ในการเก็บอากาศแบบพาสซีฟบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ได้ โดยบรรจุถ่านกัมมันต์ 0.72xx กรัม ลงในอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟชนิดถุงพลาสติก LDPE ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร ไปติดตั้งบริเวณสถานีตรวจวัดอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อเปรียบข้อมูลกับข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ โดยใช้เวลาเก็บตัวอย่าง 7, 14, 21 และ 28 วัน เก็บครั้งละ 3 ตัวอย่าง จำนวน 3 ครั้ง สกัดสาร BTEX ออกจากถ่านกัมมันต์ด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฮดสเปซ/แก๊สโครมาโตกราฟี (GC-FID) พบว่า ความเข้มข้นของเบนซีน ที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบอัตโนมัติของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีนที่ตรวจวัดจากการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีพาสซิฟ มีความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดที่ (2.86 และ 3.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี จากกรมควบคุมมลพิษที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดที่ (2.54 และ 5.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยมีค่าความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ผลการวิจัยครั้งนี้ยังสอดคล้องกับรายงานผลการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ (VOCs) 9 ชนิด ของกรมควบคุมมลพิษ ทำการตรวจวัด 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง 1 ครั้งต่อเดือนเฉลี่ยทั้งปี ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตั้งแต่ปี 2550-2555 ได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วง 1.30-5.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยสถานีตรวจวัดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย คือ สถานีตรวจวัดอากาศวัดมาบชะลูุด และโรงเรียนหนองแปน ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่เหนือลม จากการศึกษาทิศทางของลมที่อาจเป็นปัจจัยต่อความเข้มข้นของสารนั้นพบว่าช่วงเวลาที่ทำการศึกษา(ก.พ.- มี.ค. 55) เป็นช่วงของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดลมจากทะเลเข้าสู่ฝั่ง จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้บริเวณใต้ลมมีปริมาณความเข้มข้นของเบนซีน สูงกว่าบริเวณเหนือลม

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเป็นจำนวนวัน พบว่า ความเข้มข้นของเบนซีนที่เก็บอากาศแบบพาสซิฟเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน มีความเข้มข้นของเบนซีนสูงกว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี ซึ่งความเข้มข้นของเบนซีนที่มีความเข้มข้นสูงในช่วงเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน อาจเป็นช่วงเวลาที่กลุ่มโรงงานเร่งผลิตสินค้าโดยเฉพาะเชื้อเพลิงเพื่อตอบสนองในช่วงความต้องการใช้พลังงานมากในเดือนมีนาคม-เมษายน จึงทำให้ความเข้มข้นของเบนซีนมีค่าสูงขึ้น ส่วนความเข้มข้นของเบนซีนที่เก็บอากาศแบบพาสซิฟนาน 28 วัน มีความเข้มข้นของเบนซีนต่ำกว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีนั้น อาจเกิดจากสภาพของอากาศ เนื่องจากในช่วงทำการวิจัย (ก.พ.- มี.ค. 55) มีปริมาณน้ำฝนถึง 36.3 มิลลิเมตร มีความชื้นสัมพัทธ์ 84 % อากาศมีการอึดตัวของไอน้ำซึ่งอาจดูดซับเบนซีนเอาไว้ จึงทำให้การเก็บอากาศแบบพาสซิฟที่ใช้ระยะเวลาหลายชั่วโมงเบนซีนออกมาสู่ไอน้ำ ความเข้มข้นของเบนซีนจึงต่ำกว่าค่ามาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ส่วนโทลูอิน มีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.82-171.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่างานวิจัย เดชา พิมพ์พิสุทธิ และคณะ [19] เมื่อปี พ.ศ. 2545 ที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดของโทลูอินที่ (7.0 และ 370.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และตรวจไม่พบเอทิลเบนซีน และ ไซลีน ด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในบรรยากาศสารทั้งสองมีปริมาณที่น้อย โมเลกุลจึงแพร่ (diffusion) ผ่านพลาสติก LDPE ได้น้อย เนื่องมาจากมีความหนาแน่นน้อยกว่า

ข้อมูลที่ได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าว ที่ผลิตภายในประเทศไทย มาใช้ในการดูดซับสาร BTEX โดยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซิฟ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่า ประสิทธิภาพของการตรวจวัด BTEX

ด้วยวิธีพาสซีฟกับวิธีตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบอัตโนมัติของกรมควบคุมมลพิษมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงการใช้ในสภาพจริงจะพบปัญหาของการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการดูดซับสาร BTEX โดยใช้วิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ยังมีความเสี่ยงไม่ดึ้นัก ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณ BTEX มีในอากาศมีน้อย การดูดซับของสาร BTEX อยู่ในอากาศไม่คงที่และมีเพียงผลมาจากการแพร่เท่านั้น เนื่องจากปัจจัยทางด้านสภาพอากาศและช่วงเวลาที่ตรวจวัด รวมทั้งปัจจัยจากสารเคมีที่ใช้ชะ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีเบนซีนปนเปื้อนอยู่อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณของเบนซีนเกิดความคลาดเคลื่อนได้ แต่ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสาร BTEX ได้ดีมาก จึงเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ได้กับวิธีเก็บอากาศแบบแอคทีฟ

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรศึกษาประสิทธิภาพความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตภายในประเทศ จากบริษัทคาร์โบนาญ์มาใช้แทนถ่านกัมมันต์ที่บรรจุในหลอดเก็บอากาศมาตรฐานแบบแอคทีฟ มาทำการดูดซับสาร BTEX โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ ความสม่ำเสมอของขนาดถ่านกัมมันต์ ประสิทธิภาพการดูดซับ ปริมาณที่ใช้ ความเที่ยงและความถูกต้อง

5.4.2 พัฒนาวีธีการสกัดสาร BTEX ออกจากถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มความถูกต้องของผลการวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

1. จุดเริ่มต้นนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด [Online], Available : <http://www.mtpie.com/www/start.html> [2011, August 18].
2. วิญญู จิตสัมพันธเวช และคณะ, 2550, “เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสาร BTEX จากอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ฉบับพิเศษ, ปีที่ 30, ฉบับที่ 4, หน้า 635.
3. ผลจากการติดตามตรวจสอบปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (VOCs) [Online], Available : http://www.pcd.go.th/Info_serv/pol_maptapoot_airvocs.html [2011, June 2].
4. วิญญู จิตสัมพันธเวช และคณะ, 2551, “อุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟสำหรับการตรวจวัดสาร BTEX”, การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, ครั้งที่ 7, 12-14 มีนาคม 2551, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, หน้า 1-8.
5. วินัย สมบูรณ์, กัญทิรา เกตุแก้ว และวรนุช เกิดสินรัชชัย, การทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซ NO₂ และ SO₂ ชนิดพาสซีฟในภาคสนาม (ระยะที่ 1-2) [Online], Available : <http://www.kmutt.ac.th/rippc/airpass.htm> [2011, March 17].
6. ถ่านกัมมันต์ [Online], Available : http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show bc.asp?il=778 [2010, August 17].
7. จิราภรณ์ ธรรมศรี, 2545, การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น, งานวิจัยปริญญานิเทศศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, หน้า 5, 16.
8. พลาตติงชีวภาพจากเปลือกทุเรียน [Online], Available : <http://blog.eduzones.com/futurecareer/26662> [2011, August 19].

9. Thio, C.C., Magdalena, M.M., Jaka, S., Yohanes, S. and Suryadi, I., 2009, “Activated Carbon from Durian Shell: Preparation and Characterization”, **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, Vol. 40, pp. 457–462.
10. เทคโนโลยีการผลิตถ่านกะลามะพร้าว [Online], Available : <http://coconut-shell-charcoal-chnology.blogspot.com/> [2011, July 17].
11. เกรียงไกร ตั้งประเสริฐสุข, 2546, การพัฒนาและทดสอบการใช้ได้ของ **Passive Air Sampler** สำหรับก๊าซ NO_2 และ SO_2 , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 22-26.
12. ลลิตา นิพัทธจารกุล, 2544, วิธีการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ (วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 5-17
13. Chandra, T.C., Mirna, M. M., Sudaryanto, Y. and Ismadji, S., 2007, “Adsorbtion of Basic Dye onto Activated Carbon Prepared from Durian Shell: Studies of Adsorbtion Equilibrium and Kinetic”, **Journal of Chemical Engineering**, Vol. 23, pp. 121-129.
14. Badie, S.G., Samya, S.Y. and Ashraf, M.S., 2002, “Characteristics of Activated Carbon from Peanut Hulls in Relation to Condition of Preparation”, **Materials Letters**, Vol. 57, No. 1, pp. 164-172.
15. Prakash Kumar, B.G., Miranda, L.R. and Velan, M., 2005, “Adsorption of Bismark Brown Dye on Activated Carbon from Rubberwood Sawdust (*Hevea Brasiliensis*) Using Different Activation Methods” **Journal of Hazardous Material**, Vol. B126, pp. 63-70.
16. Prakash Kumar, B.G., Shivakamyk, K., Miranda, L.R. and Velan, M., 2006, “Preparation of Stream Activated Carbon from Rubberwood Sawdust (*Hevea Brasiliensis*) and Its Adsorbtion Kinetics” **Journal of Hazardous Material**, Vol. 33, pp. 922-929.

17. Srinivasakannan, C. and Mohamad, Z.A.B., 2004, "Production of Activated Carbon from Rubber Wood Sawdust", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 27, pp. 89-96.
18. Feng, C.W., Ru, L.T. and Chi, C.H., 2005, "Comparisons of Pore Properties and Performance of KOH Activated and Steam-Activated Carbons", **Microporous and Mesoporous Materials**, Vol. 80, pp. 95 - 106.
19. เดชา พิมพ์สุทธิ, วนิดา จินาสาสตร์ และ Martin, H., 2549, "แหล่งกำเนิดและระดับความเข้มข้นในบรรยากาศของสารมลพิษจำพวก BTEX ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (มาบตาพุด) ประเทศไทย", **วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**, ฉบับที่ 31, หน้า 35-43.
20. ประภา เทพสินธพสกุล และอภิษฎา มุ่งพัฒนกิจ, 2550, **เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสาร BTEX จากอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ**, งานวิจัยปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-31.
21. สุจินันท์ แซ่มประเสริฐ และศรัณย์ ลาภนิธิพร, 2553, **การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในอุปกรณ์เก็บอากาศเพื่อตรวจวัดสาร BTEX**, งานวิจัยปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 5-16.
22. ภัสพร เฉลิมรมย์, 2551, **การพัฒนาชุดทดสอบสำหรับการหาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ โดยรอบโดยใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 5-6.
23. ธารพงษ์ วิทิตสานต์, 2546, "สารละลายเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์", **เคมีน่ารู้ 2**, หน้า 67-72.
24. ประพนธ์ ทักษาญณะ, 2548, **การศึกษาความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการกระตุ้นต่อคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 89-95.

25. สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2530, **ทุเรียน**, สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพมหานคร, หน้า 40-54.
26. วิจิตร จินดาพันธุ์ไพโรจน์, 2543, การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* โดยการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 20-30.
27. Ismadji, S., Sudaryanto, Y., Hartono, S.B., Setiawan, L.E.K., and Ayucitra, A., 2005, “Activated Carbon from Vacuum Pyrolysis of Teak Sawdust : Pore Structure Development and Characterization”, **Bioresource Technology**, Vol. 96, pp 1364-1369.
28. Jankowska, H., Swiatkowski, A., and Choma, J., 1991, “Active Carbon”, **Ellis Horwood**, Vol. 9, pp 20-27.
29. Marsh, H, 2006, “Activated Carbon”, **Elsevier**, Vol. 6, pp 14-39.
30. โสภา กลิ่นจันทร์, 2548, **กระบวนการแยกสำหรับเทคโนโลยีชีวภาพ**, ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, หน้า 110-119.
31. คณาจารย์สาขาเคมีวิเคราะห์, 2549, **คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ**, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-11.

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาปริมาณ BTEX

ก.1 การคำนวณหาปริมาณสาร BTEX จากอุปกรณ์การเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

ก.1.1 การคำนวณหาปริมาณเบนซีนจากอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ

คำนวณปริมาณเบนซีนที่ถูกดูดผ่านถ่านกัมมันต์ทางการค้าในอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ โดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐาน ดังนี้

$$y = mx + c$$

$$\text{เมื่อ } y = \text{พื้นที่พีค}$$

$$m = \text{ความชัน}$$

$$x = \text{มวลของสาร } (\mu\text{g})$$

$$c = \text{ค่าคงที่}$$

ตัวอย่างการคำนวณมวลของเบนซีน : จากตารางที่ ข.2 ในภาคผนวกข้อมูลที่ 1 ชุมชนบ้านพลง
พื้นที่พีค = 5.43 ใช้สมการ $y = 2.1538x + 4.1754$

$$\begin{aligned} \text{มวลของเบนซีน} &= \frac{5.43 - 4.1754}{2.1538} \\ &= 0.58 \text{ mg} \end{aligned}$$

ก.2 การคำนวณหาค่าคงที่ k อุปกรณ์การเก็บอากาศสำหรับ BTEX

ก.2.1 การคำนวณหาความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศด้วยวิธีแอคทีฟ

คำนวณมวลของเบนซีน ที่ถูกดูดผ่านถ่านกัมมันต์ทางการค้าในเครื่องเก็บอากาศมาตรฐาน โดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐาน ดังนี้

$$y = mx$$

$$\begin{array}{lll} \text{เมื่อ } y & = & \text{พื้นที่พีค} \\ m & = & \text{ความชัน} \\ x & = & \text{มวลของสาร} \end{array}$$

ตัวอย่างการคำนวณมวลของเบนซีน : จากตารางที่ ข.5 ในภาคผนวก ข้อมูลที่ 1 ใช้สมการ $y = 5.073x$
พื้นที่พีค = 1925.6, เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง = 4 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{มวลของเบนซีน ที่ถูกดูดซับไว้ในอุปกรณ์เก็บอากาศ} &= \frac{1415.4}{5.073} \\ &= 279.0 \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาความเข้มข้น/ชั่วโมง} &= \frac{\text{ปริมาณของสาร } (\mu\text{g})}{\text{ชั่วโมงที่เก็บตัวอย่าง} (hr)} \\ &= \frac{279.0 \mu\text{g}}{4 \text{ hr}} \\ &= 46.5 \mu\text{g/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หามวล/ปริมาตรของอากาศ} &= \frac{\text{ความเข้มข้นของสาร } (\mu\text{g/hr})}{\text{อัตราการไหลของอากาศจากปั๊มเก็บอากาศ } (\frac{l}{hr})} \\ &= \frac{46.5 \mu\text{g}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{19.2 \text{ l}} \\ &= 2.43 \mu\text{g/l} \text{ หรือ } 2.43 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

ก.2.2 การคำนวณมวลของเบนซีนในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ

$$y = mx$$

$$\begin{array}{lll} \text{เมื่อ } y & = & \text{พื้นที่ฟีก} \\ m & = & \text{ความชัน} \\ x & = & \text{มวลของสาร} \end{array}$$

ตัวอย่างการคำนวณมวลของเบนซีน : จากตารางที่ ข.4 ในภาคผนวก ข้อมูลที่ 1 ใช้สมการ $y = 2.024x$
พื้นที่ฟีก = 5.77

$$\text{มวลของเบนซีน} = \frac{5.77}{2.027}$$

$$= 2.9 \mu\text{g}$$

$$\text{มวล/ชั่วโมง} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสาร } (\mu\text{g})}{\text{ชั่วโมงที่เก็บตัวอย่าง}} \times \frac{1000\text{ng}}{1\mu\text{g}}$$

$$= \frac{2.9 \mu\text{g}}{12\text{ชั่วโมง}} \times \frac{1000\text{ng}}{1\mu\text{g}}$$

$$= 237.57 \text{ ng/h}$$

ก.2.3 การหาค่าคงที่ k โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้จากวิธีแอคทีฟกับวิธีพาสซีฟ

จากตารางที่ ข.3 ข้อมูลที่ 1 โดยวิธีแอคทีฟได้ความเข้มข้นของเบนซีน = 2.68 mg/m^3 และความเข้มข้นของเบนซีนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีพาสซีฟ มีค่า 237.5 ng/hr

$$\text{ค่าคงที่ k ของอุปกรณ์} = \frac{\text{Passive}(\frac{\text{ng}}{\text{hr}})}{C_{\text{AIR Active}}(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3})}$$

$$= \frac{237.5 (\frac{\text{ng}}{\text{hr}})}{4.95 \text{ mg/m}^3}$$

$$= 48 \text{ ng.hr}^{-1}/\text{mg.m}^{-3}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าคงที่เฉลี่ย (k_{เฉลี่ย}) ของอุปกรณ์} &= \frac{\sum \text{ค่าคงที่ k ของอุปกรณ์}}{N} \\
 &= \frac{118,024.39}{91}
 \end{aligned}$$

$$\text{ค่าคงที่เฉลี่ย (k_{เฉลี่ย}) ของอุปกรณ์} = 1297 \text{ ng.hr}^{-1}/\text{mg.m}^{-3}$$

ก.3 การตรวจวัดเบนซีน และโทลูอินในอากาศ โดยใช้อุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ

ก.3.1 การคำนวณมวลของเบนซีนในอากาศโดยใช้ค่าคงที่ k ในการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ : จากตารางที่ ข.6 ในภาคผนวก ข้อมูลวันที่ 16 - 24 ก.พ. 55 สถานที่เก็บอากาศชุมชนบ้านพลอง (เก็บอากาศ 168 ชั่วโมง) มีข้อมูลดังนี้

สมการจากกราฟมาตรฐาน $y = 2.1538x + 4.1754$, พื้นที่พีค = 5.43

$$\text{ปริมาณสารเบนซีน} = \frac{5.43 - 4.1754}{2.1538}$$

$$= 0.58366 \mu\text{g}$$

$$0.58366 \mu\text{g} \text{ หรือเท่ากับ } 583.66 \text{ ng}$$

$$\text{เปลี่ยนมวลของสารให้อยู่ในหน่วย ng/hr} = \frac{\text{มวลของสาร (ng)}}{\text{จำนวนชั่วโมงในการเก็บตัวอย่าง (hr)}}$$

$$= \frac{583.66}{168}$$

$$= 3.47 \text{ ng/hr}$$

$$\text{ความเข้มข้นของสาร} = \frac{\text{ปริมาณสาร } \left(\frac{\text{ng}}{\text{hr}}\right)}{k_{\text{เฉลี่ย}}} \times 1000$$

$$= \frac{3.47}{1296.97} \times 1000$$

$$= 2.67 \mu\text{g/m}^3$$

ก.3.2 การคำนวณความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศโดยใช้ค่าคงที่ k ในการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ : จากตารางที่ ข.6 ในภาคผนวก ข้อมูลวันที่ 16 - 24 ก.พ. 55 สถานที่เก็บอากาศชุมชนบ้านพลอง (เก็บอากาศ 168 ชั่วโมง) มีข้อมูลดังนี้

สมการจากกราฟมาตรฐาน $y = 1.1496x - 0.2223$, พื้นที่พีค = 23.93

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณสาร โทลูอิน} &= \frac{23.93 + 0.2223}{1.1496} \\ &= 21.00931 \text{ } \mu\text{g}\end{aligned}$$

21.00931 μg หรือเท่ากับ 21009.31 ng

$$\begin{aligned}\text{เปลี่ยนปริมาณของสารให้อยู่ในหน่วย ng/hr} &= \frac{\text{ปริมาณสาร (ng)}}{\text{จำนวนชั่วโมงในการเก็บตัวอย่าง(hr)}} \\ &= \frac{21009.31}{168} \\ &= 125.14 \text{ ng/hr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความเข้มข้นของสาร โทลูอิน} &= \frac{\text{ปริมาณสาร } \left(\frac{\text{ng}}{\text{hr}}\right)}{K_{\text{เฉลี่ย}}} \times 1000 \\ &= \frac{125.14}{1281.14} \times 1000 \\ &= 97.68 \text{ } \mu\text{g/m}^3\end{aligned}$$

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ
บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ข้อมูล ที่	จำนวน วันที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/เดือน/ ปี	สถานที่เก็บอากาศ	Area			
				B	T	E	X
1	7	16 ก.พ. - 24 ก.พ. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	4.07	22.57	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	5.43	23.93	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	6.40	31.43	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	6.23	30.53	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	5.00	21.93	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	5.10	21.13	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	8.53	42.10	ND	ND
2	7	3 มี.ค. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	9.60	32.00	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	9.60	29.60	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	16.20	64.40	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	12.00	42.60	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	15.50	68.60	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	13.50	51.10	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	12.60	48.00	ND	ND
3	7	10 มี.ค. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	6.50	21.60	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	6.70	23.00	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	6.60	25.90	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	6.70	26.40	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	6.60	24.20	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	5.90	25.50	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	3.40	18.30	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ
บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวัน ที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/เดือน/ ปี	สถานที่เก็บอากาศ	Area			
				B	T	E	X
4	14	25 ก.พ. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	10.00	34.00	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	8.40	26.00	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	8.30	26.30	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	9.70	29.60	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	11.20	40.40	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	10.30	33.00	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	10.50	36.00	ND	ND
5	14	3 มี.ค. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	8.70	31.90	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	8.40	30.90	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	7.70	26.40	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	8.60	30.60	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	13.00	35.30	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	9.70	32.50	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	10.70	39.30	ND	ND
6	14	9 มี.ค. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	6.33	1.37	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	5.43	1.13	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	5.43	1.13	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	7.43	1.18	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	4.93	0.91	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	5.43	0.83	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	5.73	0.80	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ
บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวัน ที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/เดือน/ ปี	สถานที่เก็บอากาศ	Area			
				B	T	E	X
7	21	18 ก.พ. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	7.80	0.66	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	9.00	1.53	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	6.00	0.63	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	5.60	0.63	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	5.10	0.82	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	4.90	0.91	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	8.00	1.87	ND	ND
8	21	2 มี.ค. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	7.63	1.93	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	7.13	0.95	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	7.03	1.47	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	7.83	1.67	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	6.93	1.23	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	6.33	0.88	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	7.23	0.62	ND	ND
9	21	8 มี.ค. - 29 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	8.40	0.90	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	8.10	0.77	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	7.40	0.73	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	6.90	0.86	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	6.20	0.62	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	7.10	0.62	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	5.40	0.65	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ
บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวัน ที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/เดือน/ ปี	สถานที่เก็บอากาศ	Area			
				B	T	E	X
10	28	17 ก.พ. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	6.66	1.47	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	8.30	2.17	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	7.43	1.47	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	8.50	1.90	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	7.43	1.02	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	6.86	1.13	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	6.76	1.45	ND	ND
11	28	24 ก.พ. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	6.66	1.47	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	8.30	2.17	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	7.43	1.47	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	8.50	1.90	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	7.43	1.02	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	6.86	1.13	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	6.76	1.45	ND	ND
12	28	2 มี.ค. - 30 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	7.10	1.77	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	4.9	8.90	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	5.60	1.03	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	5.60	1.17	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	5.40	0.69	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	4.80	0.61	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	3.90	0.65	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ บริเวณ
สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ข้อมูล ที่	จำนวนวัน ที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/เดือน/ ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
				B	T	E	X
1	7	16 ม.ค. - 24 ก.พ. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	0.05	19.83	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	0.58	21.02	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.03	27.55	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	0.95	26.77	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	0.38	19.28	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.43	18.59	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	2.02	36.83	ND	ND
2	7	3 มี.ค. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.52	28.04	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	2.52	25.96	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	5.58	56.24	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	3.63	37.27	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	5.26	59.90	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	4.33	44.67	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	3.91	41.97	ND	ND
3	7	10 มี.ค. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.08	18.99	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	1.17	20.21	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.12	22.73	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.17	23.17	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	1.12	21.26	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.80	22.39	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	0.36	16.12	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ บริเวณ
สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวัน ที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/ เดือน/ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
				B	T	E	X
4	7	25 ก.พ. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.70	29.78	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	1.96	22.82	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.91	23.08	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.56	25.96	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	3.26	35.35	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.84	28.91	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	2.94	31.53	ND	ND
5	14	3 มี.ค. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.10	27.96	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	1.96	27.09	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.64	23.17	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.05	26.83	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	4.10	30.92	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.56	28.48	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	3.03	34.40	ND	ND
6	14	9 มี.ค. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.00	1.39	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลง	0.58	1.18	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	0.58	1.18	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.51	1.22	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	0.35	0.99	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.58	0.92	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	0.72	0.89	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ บริเวณ
สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวัน ที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/เดือน/ ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
				B	T	E	X
7	21	18 ก.พ. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.87	24.04	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	2.80	29.09	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	3.07	32.83	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.80	28.83	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	2.01	24.48	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.56	26.65	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	2.42	26.83	ND	ND
8	21	2 มี.ค. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.60	1.87	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	1.37	1.02	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.32	1.47	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.70	1.65	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	1.28	1.26	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.00	0.96	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	1.42	0.73	ND	ND
9	21	8 มี.ค. - 29 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.96	0.98	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	1.82	0.86	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.50	0.83	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.26	0.94	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	0.94	0.73	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.36	0.73	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	0.57	0.76	ND	ND

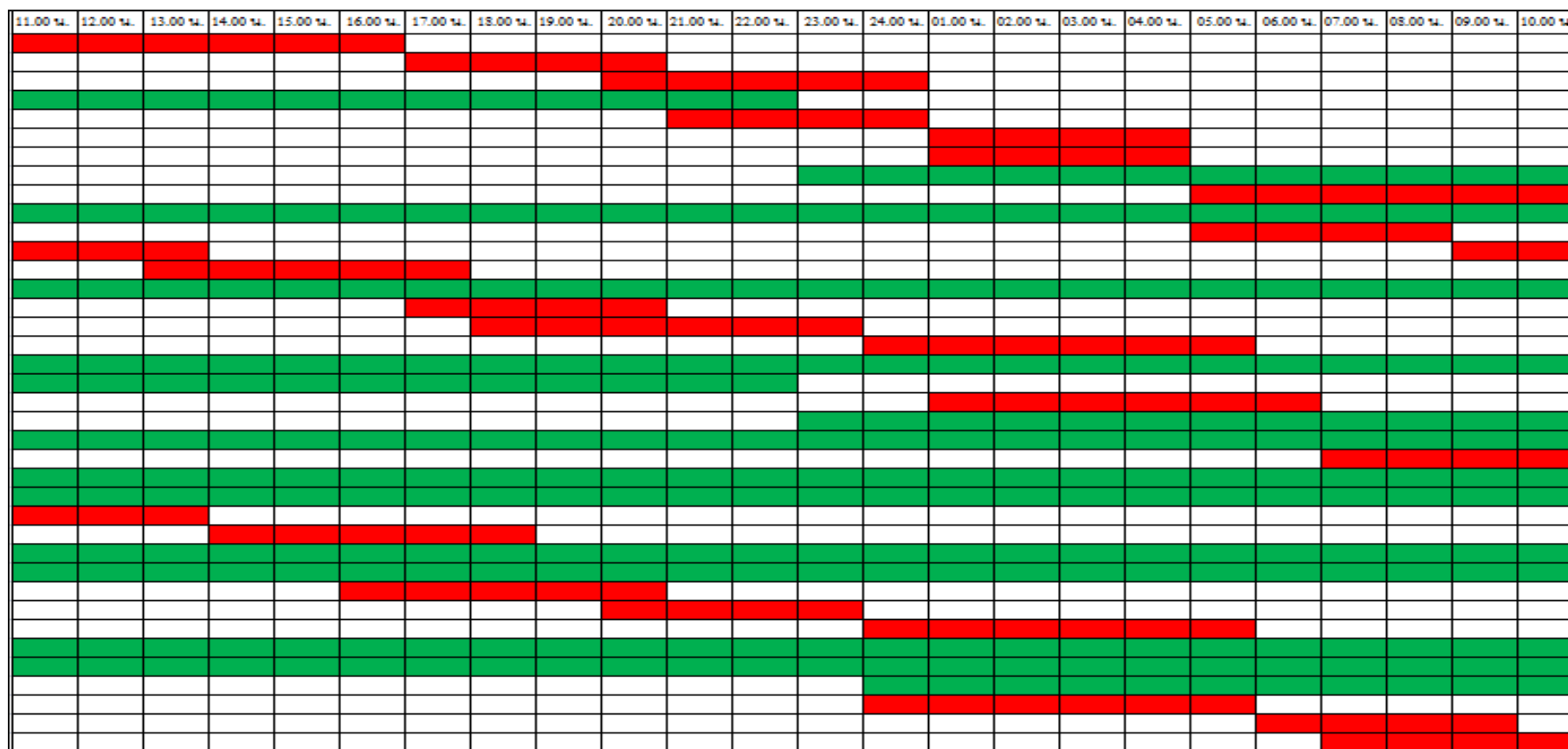
ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ บริเวณ
สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวัน ที่เก็บ ตัวอย่าง	วัน/เดือน/ ปี	สถานที่เก็บอากาศ	ปริมาณสาร (µg)			
				B	T	E	X
10	28	17 ก.พ. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.54	0.85	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	1.64	0.94	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.54	0.88	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	1.68	0.86	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	2.10	1.12	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.73	0.73	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	1.40	0.71	ND	ND
11	28	24 ก.พ. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.15	1.47	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	1.91	2.08	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.51	1.47	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.01	1.85	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	1.51	1.08	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.25	1.18	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	1.20	1.45	ND	ND
12	28	2 มี.ค. - 30 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	1.36	1.73	ND	ND
			ชุมชนบ้านพลอง	0.34	7.94	ND	ND
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	0.66	1.09	ND	ND
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	0.66	1.21	ND	ND
			เมืองใหม่มาบตาพุด	0.57	0.79	ND	ND
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.29	0.72	ND	ND
			วัดมาบชะลูุด	0.13	0.76	ND	ND

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.3 แผนผังการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟเทียบกับวิธีแอคทีฟ ในตู้ดูดควันห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



หมายเหตุ ■ การเก็บตัวอย่างแบบวิธีแอคทีฟ ■ การเก็บตัวอย่างแบบวิธีพาสซีฟ

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีแอดทีฟ
 ในห้องปฏิบัติการ (ตู้ดูดควัน) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 พระจอมเกล้าธนบุรี

หลอดที่	เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ฟีก			
		B	T	E	X
1	6	1415.4	154.88	35.2	15.8
2	4	1925.6	249.98	51.5	22.9
3	5	1690.7	230.88	34.7	15.4
4	4	2158.3	344.48	68.5	31.1
5	4	ND	ND	ND	ND
6	4	745.4	264.58	80.8	34.9
7	6	155.9	103.68	14.2	5.2
8	4	ND	ND	ND	ND
9	4	199.4	232.38	54.2	22.5
10	4	114.7	171.78	42.1	17.7
11	4	ND	105.78	27.0	11.5
12	6	94.6	267.68	68.0	29.2
14	6	137.2	461.48	115.4	50.4
15	6	3828.5	185.48	23.4	8.0
16	5	1701.3	268.38	74.2	31.9
17	4	1947.6	97.08	15.3	5.3
18	4	1799	313.48	120.6	52.0
19	4	842.7	261.18	72.1	31.0
20	4	126.8	332.68	90.9	38.6
21	6	111.4	392.88	111	47.5
22	6	87.7	456.48	135.7	60.3
23	4	107.8	576.08	187.8	84.4
24	4	21.6	179.28	43.9	19.3
25	4	21.8	192.98	51.8	23.2

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์หาพื้นที่ฟีกของสาร BTEX จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีพาสซีฟ
 ในห้องปฏิบัติการ (ตู้ดูดควัน) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 พระจอมเกล้าธนบุรี

หลอดที่	เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ฟีก			
		B	T	E	X
1	12	5.77	3.33	0.74	0.46
2	12	5.23	4.02	0.79	0.53
3	12	8.08	6.63	2.33	1.37
4	12	6.32	5.68	1.72	0.85
5	36	13.95	7.63	2.96	1.58
6	48	16.95	9.18	3.02	1.97
7	48	17.08	13.15	5.7	3.17
8	60	19.36	12.58	4.9	2.67

ตารางที่ ข.6 การหาค่าคงที่ k สำหรับอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ

ค่าคงที่ $k = \text{ng/hr passive} / C_{\text{air}}(\text{mg/m}^3)$				
ชุดที่	B	T	E	X
1	88.77	745.12	823.09	735.37
2	48.00	339.61	413.85	373.24
3	61.93	416.54	695.79	628.72
4	42.83	246.44	311.14	274.83
5	140.34	1257.61	1856.99	1811.01
6	77.64	595.25	664.33	633.30
7	112.40	387.51	281.60	282.17
8	730.53	1344.25	2178.17	2574.41
9	420.16	441.20	419.80	437.68
10	141.85	1130.43	1590.55	1486.73
11	76.70	515.22	799.73	754.60
12	98.96	631.94	1344.56	1271.12
13	68.43	373.88	601.26	555.63
14	198.15	486.79	509.73	495.14
15	1287.86	1688.67	3942.77	4517.37
16	740.71	554.25	759.89	768.01
17	1128.47	984.35	1594.00	1438.18
18	2977.19	1448.66	2252.45	2006.03
19	1368.24	631.69	986.87	871.77
20	1282.45	498.09	790.50	686.59
21	50.71	1367.47	4301.76	4772.97
22	103.42	856.47	1229.44	1084.77
23	83.07	2177.22	5482.63	6003.73
24	97.23	1271.46	1913.11	1358.84

ตารางที่ ข.6 การหาค่าคงที่ k สำหรับอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ (ต่อ)

ค่าคงที่ k = ng/hr passive / C _{air} (mg/m ³)				
ชุดที่	B	T	E	X
25	52.58	579.50	961.91	689.68
26	67.83	710.77	1617.23	1161.78
27	46.91	420.53	723.19	507.84
28	135.82	547.52	613.10	452.54
29	882.78	1899.34	4742.36	4128.78
30	507.73	623.39	914.00	701.94
31	882.67	843.31	1176.69	892.30
32	2328.69	1241.09	1662.75	1244.62
33	1070.21	541.18	728.51	540.88
34	1003.10	426.72	583.55	425.98
35	374.33	2386.96	6957.85	5398.85
36	207.08	1129.80	2489.12	1887.96
37	299.80	735.49	1055.10	841.20
38	1948.55	2551.40	8161.26	7674.67
39	1120.71	837.40	1572.92	1304.79
40	1948.29	1132.82	2025.00	1658.63
41	5140.07	1667.16	2861.48	2313.52
42	2362.25	726.97	1253.71	1005.40
43	2214.13	573.22	1004.25	791.83
44	87.55	1573.72	5464.90	5504.59
45	178.56	985.65	1561.86	1251.04
46	143.43	2505.61	6965.06	6924.01
47	260.78	2054.93	3359.06	3149.31
48	141.01	936.58	1688.94	1598.44

ตารางที่ ข.6 การหาค่าคงที่ k สำหรับอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ (ต่อ)

ค่าคงที่ k = ng/hr passive / C _{air} (mg/m ³)				
ชุดที่	B	T	E	X
49	181.93	1148.75	2839.55	2692.59
50	125.81	679.65	1269.79	1176.99
51	364.27	884.90	1076.49	1048.84
52	2367.59	3069.70	8326.69	9569.05
53	1361.72	1007.52	1604.81	1626.86
54	2367.28	1362.95	2066.04	2068.04
55	6245.46	2005.84	2919.48	2884.58
56	2870.26	874.65	1279.12	1253.57
57	2690.28	689.67	1024.60	987.28
58	106.38	1893.42	5575.67	6863.32
59	216.96	1185.88	1593.52	1559.85
60	174.27	3014.62	7106.25	8633.10
61	2385.44	1952.37	3899.48	3306.93
62	6293.38	2873.29	5510.28	4612.63
63	2892.29	1252.91	2414.24	2004.54
64	2710.93	987.92	1933.85	1578.73
65	107.20	2712.24	10523.61	10974.88
66	218.62	1698.73	3007.63	2494.29
67	175.61	4318.32	13412.44	13804.88
68	137.83	969.56	1233.64	1020.10
69	324.68	1284.09	2276.95	1888.15
70	1955.51	913.60	1636.72	1374.23
71	2456.11	853.64	1478.99	1232.27
72	4241.04	998.74	1644.56	1319.53

ตารางที่ ข.6 การหาค่าคงที่ k สำหรับอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ (ต่อ)

ค่าคงที่ k = ng/hr passive / C _{air} (mg/m ³)				
จุดที่	B	T	E	X
73	3807.19	873.26	1311.25	1040.27
74	114.65	868.53	2541.91	2013.43
75	65.11	422.03	933.55	722.83
76	377.06	1098.96	1582.87	1288.25
77	2983.96	4641.79	14907.78	14310.82
78	1409.52	1251.24	2359.71	1998.21
79	2703.86	1867.74	3352.18	2802.87
80	7133.45	2748.74	4736.90	3909.55
81	3278.36	1198.60	2075.40	1699.00
82	3072.79	945.10	1662.43	1338.09
83	121.51	2594.68	9046.60	9302.03
84	247.80	1625.09	2585.50	2114.10
85	199.05	4131.14	11529.98	11700.67
86	156.23	927.53	1060.50	864.61
87	368.02	1228.43	1957.38	1600.35
88	2445.84	964.41	1552.55	1285.26
89	2522.96	740.08	1152.22	946.52
90	5304.44	1054.29	1559.99	1234.10
91	3910.82	757.09	1021.54	799.05
เฉลี่ย	1296.97	1281.24	2730.47	2580.42

ตารางที่ ข.7 การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร BTEX ในอากาศเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟ

ข้อมูลชุดที่	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเฉลี่ยต่อชั่วโมง ($\mu\text{g/hr}$)				ความเข้มข้นในอากาศ(ng/hr)			
		B	T	E	X	B	T	E	X
1	12	2.9	7.6	3.4	2.8	237.57	630.25	284.05	231.76
2	12	2.6	9.1	3.6	3.2	215.33	760.84	303.24	267.03
3	24	4.6	11.5	6.6	5.6	379.61	955.79	548.90	468.56
4	24	4.0	15.1	10.7	8.3	332.67	1254.83	894.37	690.25
5	36	3.1	12.9	7.9	5.1	260.21	1075.02	660.22	428.25
6	36	6.9	17.3	13.6	9.6	574.36	1444.09	1136.19	796.05
7	48	8.4	20.8	13.9	11.9	697.88	1737.45	1159.22	992.54
8	48	8.4	29.9	26.3	19.2	703.23	2488.83	2187.93	1597.14
9	60	9.6	28.6	22.6	16.1	797.10	2380.95	1880.85	1345.22

ตารางที่ ข.8 การคำนวณหาความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ

ข้อมูล ชุดที่	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)	ปั๊มอากาศ เครื่องที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยต่อชั่วโมง ($\mu\text{g/hr}$)				ความเข้มข้นในอากาศ(mg/m^3)			
			B	T	E	X	B	T	E	X
1	6	1	46.6	14.7	6.0	5.5	2.68	0.85	0.35	0.32
2	4	2	95.0	35.6	13.2	11.9	4.95	1.86	0.69	0.62
3	5	1	66.7	26.3	7.1	6.4	3.84	1.51	0.41	0.37
4	4	2	106.5	49.1	17.5	16.2	5.55	2.56	0.91	0.84
5	4	1	0.4	0.3	0.2	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
6	4	2	36.8	37.7	20.7	18.2	1.92	1.96	1.08	0.95
7	6	1	5.1	9.8	2.4	1.8	0.29	0.57	0.14	0.10
8	4	2	9.8	33.1	13.9	11.7	0.51	1.72	0.72	0.61
9	4	2	5.7	24.5	10.8	9.2	0.29	1.27	0.56	0.48
10	4	1	1.9	15.1	6.9	6.0	0.11	0.87	0.40	0.34
11	4	2	4.7	38.1	17.4	15.2	0.24	1.99	0.91	0.79
12	6	1	4.5	43.8	19.7	17.5	0.26	2.52	1.13	1.01
13	6	2	126.0	17.6	4.0	2.8	6.56	0.92	0.21	0.14
14	6	1	56.0	25.5	12.7	11.1	3.22	1.47	0.73	0.64

ตารางที่ ข.8 การคำนวณหาความเข้มข้นของสาร BTEX ในอากาศเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีการเก็บอากาศแบบแอคทีฟ (ต่อ)

ข้อมูล ชุดที่	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)	ปี้อากาศ เครื่องที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยต่อชั่วโมง ($\mu\text{g/hr}$)				ความเข้มข้นในอากาศ(mg/m^3)			
			B	T	E	X	B	T	E	X
15	5	2	76.9	11.1	3.1	2.2	4.00	0.58	0.16	0.11
16	4	1	88.8	44.7	30.9	27.1	5.10	2.57	1.77	1.56
17	4	2	41.6	37.2	18.4	16.1	2.17	1.94	0.96	0.84
18	4	1	6.3	47.4	23.3	20.1	0.36	2.72	1.34	1.15
19	4	2	5.5	56.0	28.4	24.7	0.29	2.92	1.48	1.29
20	6	1	2.9	43.4	23.1	20.9	0.17	2.49	1.33	1.20
21	6	2	3.5	54.7	32.0	29.3	0.18	2.85	1.67	1.53
22	4	1	1.1	25.5	11.2	10.0	0.06	1.47	0.65	0.58
23	4	2	1.1	27.5	13.3	12.1	0.06	1.43	0.69	0.63

ตารางที่ ข.9 การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีพาสซีฟ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ข้อมูล ที่	จำนวนวันที่ เก็บตัวอย่าง	วัน/เดือน/ปี ที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ	ปริมาณสาร Passive		mg/m^3		$\mu\text{g}/\text{m}^3$ N	
				B(ng/h)	T(ng/h)	C _{air} of B	C _{air} of T	C _{air} of B	C _{air} of T
1	7	16 ก.พ. - 24 ก.พ. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	ND	118.06	ND	0.09214	ND	92.14
			ชุมชนบ้านพลง	3.47	125.14	0.00267	0.09767	2.67	97.67
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	6.14	163.99	0.00473	0.12799	4.73	127.99
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	5.68	159.33	0.00438	0.12436	4.38	124.36
			เมืองใหม่มาบตาพุด	2.27	114.78	0.00175	0.08958	1.75	89.58
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.55	110.63	0.00196	0.08635	1.96	86.35
			วัดมาบชะลูด	6.02	219.25	0.00464	0.17112	4.64	171.12
2	7	3 มี.ค. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	14.98	166.93	0.01155	0.13029	11.55	130.29
			ชุมชนบ้านพลง	14.98	154.49	0.01155	0.12058	11.55	120.58
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	33.22	334.78	0.02562	0.26129	25.62	261.29
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	21.62	221.84	0.01667	0.17315	16.67	173.15
			เมืองใหม่มาบตาพุด	31.29	356.53	0.02412	0.27827	24.12	278.27
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	25.76	265.87	0.01986	0.20751	19.86	207.51
			วัดมาบชะลูด	23.27	249.82	0.01795	0.19498	17.95	194.98

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.9 การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีพาสซีฟ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวันที่ เก็บตัวอย่าง	วัน/เดือน/ปี ที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ	ปริมาณสาร Passive		mg/m^3		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				B(ng/h)	T(ng/h)	C _{air} of B	C _{air} of T	C _{air} of B	C _{air} of T
3	7	10 มี.ค. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	6.42	113.05	0.00495	0.08823	4.95	88.23
			ชุมชนบ้านพลง	6.97	120.30	0.00537	0.09390	5.37	93.90
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	6.69	135.33	0.00516	0.10562	5.16	105.62
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	6.97	137.92	0.00537	0.10764	5.37	107.64
			เมืองใหม่มาบตาพุด	6.69	126.52	0.00516	0.09875	5.16	98.75
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	4.76	133.25	0.00367	0.10400	3.67	104.00
			วัดมาบชะลูุด	ND	95.95	ND	0.07489	ND	74.89
4	14	25 ก.พ. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	8.04	88.64	0.00620	0.06919	6.20	69.19
			ชุมชนบ้านพลง	5.83	67.92	0.00450	0.05301	4.50	53.01
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	5.70	68.70	0.00439	0.05362	4.39	53.62
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	7.63	77.25	0.00588	0.06029	5.88	60.29
			เมืองใหม่มาบตาพุด	9.70	105.22	0.00748	0.08212	7.48	82.12
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	8.46	86.05	0.00652	0.06716	6.52	67.16
			วัดมาบชะลูุด	8.74	93.82	0.00674	0.07323	6.74	73.23

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

ตารางที่ ข.9 การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีพาสซีฟ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวันที่ เก็บตัวอย่าง	วัน/เดือน/ปี ที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ	ปริมาณสาร Passive		mg/m^3		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				B(ng/h)	T(ng/h)	C _{air} of B	C _{air} of T	C _{air} of B	C _{air} of T
5	14	3 มี.ค. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	6.25	83.20	0.00482	0.06494	4.82	64.94
			ชุมชนบ้านพลง	5.83	80.61	0.00450	0.06292	4.50	62.92
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	4.87	68.96	0.00375	0.05382	3.75	53.82
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	6.11	79.84	0.00471	0.06231	4.71	62.31
			เมืองใหม่มาบตาพุด	12.19	92.01	0.00940	0.07181	9.40	71.81
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	7.63	84.76	0.00588	0.06615	5.88	66.15
			วัดมาบชะลูุด	9.01	102.37	0.00695	0.07990	6.95	79.90
6	14	9 มี.ค. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.97	4.12	0.00229	0.00322	2.29	3.22
			ชุมชนบ้านพลง	1.73	3.50	0.00133	0.00273	1.33	2.73
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.73	3.50	0.00133	0.00273	1.33	2.73
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	4.49	3.63	0.00346	0.00283	3.46	2.83
			เมืองใหม่มาบตาพุด	1.04	2.93	0.00080	0.00229	0.80	2.29
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.73	2.73	0.00133	0.00213	1.33	2.13
			วัดมาบชะลูุด	2.14	2.65	0.00165	0.00207	1.65	2.07

ตารางที่ ข.9 การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีพาสซีฟ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวันที่ เก็บตัวอย่าง	วัน/เดือน/ปี ที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ	ปริมาณสาร Passive		mg/m^3		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				B(ng/h)	T(ng/h)	C _{air} of B	C _{air} of T	C _{air} of B	C _{air} of T
7	21	18 ก.พ. - 9 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	3.70	47.70	0.00286	0.03723	2.86	37.23
			ชุมชนบ้านพลง	5.55	57.71	0.00428	0.04505	4.28	45.05
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	6.10	65.14	0.00470	0.05084	4.70	50.84
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	5.55	57.20	0.00428	0.04464	4.28	44.64
			เมืองใหม่มาบตาพุด	3.98	48.56	0.00307	0.03790	3.07	37.90
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	5.09	52.88	0.00392	0.04127	3.92	41.27
			วัดมาบชะลูุด	4.81	53.22	0.00371	0.04154	3.71	41.54
8	21	2 มี.ค. -23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	3.18	3.72	0.00245	0.00290	2.45	2.90
			ชุมชนบ้านพลง	2.72	2.02	0.00210	0.00158	2.10	1.58
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	2.63	2.92	0.00203	0.00228	2.03	2.28
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	3.36	3.27	0.00259	0.00255	2.59	2.55
			เมืองใหม่มาบตาพุด	2.53	2.51	0.00195	0.00196	1.95	1.96
			โรงเรียนวัดหนองแพบ	1.98	1.90	0.00153	0.00149	1.53	1.49
			วัดมาบชะลูุด	2.81	1.45	0.00217	0.00114	2.17	1.14

ตารางที่ ข.9 การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีพาสซีฟ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวันที่ เก็บตัวอย่าง	วัน/เดือน/ปี ที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ	ปริมาณสาร Passive		mg/m^3		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				B(ng/h)	T(ng/h)	C _{air} of B	C _{air} of T	C _{air} of B	C _{air} of T
9	21	8 มี.ค.- 29 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	3.89	1.94	0.00300	0.00151	3.00	1.51
			ชุมชนบ้านพลง	3.61	1.71	0.00279	0.00134	2.79	1.34
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	2.97	1.64	0.00229	0.00128	2.29	1.28
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.51	1.87	0.00193	0.00146	1.93	1.46
			เมืองใหม่มาบตาพุด	1.86	1.45	0.00144	0.00114	1.44	1.14
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.69	1.45	0.00208	0.00114	2.08	1.14
			วัดมาบชะลูค	1.13	1.51	0.00087	0.00118	0.87	1.18
10	28	17 ก.พ. - 16 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตุ	2.29	1.27	0.00177	0.00099	1.77	0.99
			ชุมชนบ้านพลง	2.43	1.40	0.00188	0.00109	1.88	1.09
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	2.29	1.31	0.00177	0.00102	1.77	1.02
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.50	1.29	0.00193	0.00100	1.93	1.00
			เมืองใหม่มาบตาพุด	3.12	1.66	0.00241	0.00130	2.41	1.30
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	2.57	1.09	0.00198	0.00085	1.98	0.85
			วัดมาบชะลูค	2.09	1.05	0.00161	0.00082	1.61	0.82

ตารางที่ ข.9 การคำนวณความเข้มข้นของสาร BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีพาสซีฟ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ข้อมูล ที่	จำนวนวันที่ เก็บตัวอย่าง	วัน/เดือน/ปี ที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ	ปริมาณสาร Passive		mg/m^3		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				B(ng/h)	T(ng/h)	C _{air} of B	C _{air} of T	C _{air} of B	C _{air} of T
11	28	24 ก.พ. - 23 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตู	2.38	2.79	0.00184	0.00218	1.84	2.18
			ชุมชนบ้านพลง	2.02	1.52	0.00156	0.00119	1.56	1.19
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	1.97	2.19	0.00152	0.00171	1.52	1.71
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	2.55	2.45	0.00197	0.00191	1.97	1.91
			เมืองใหม่มาบตาพุด	1.93	1.88	0.00149	0.00147	1.49	1.47
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	1.86	1.76	0.00143	0.00137	1.43	1.37
			วัดมาบชะลูุด	1.79	2.16	0.00138	0.00169	1.38	1.69
12	28	2 มี.ค. - 30 มี.ค. 55	หมู่บ้านนพเกตู	2.02	2.58	0.00156	0.00201	1.56	2.01
			ชุมชนบ้านพลง	0.50	1.56	0.00038	0.00922	0.38	1.22
			โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพมาบตาพุด	0.98	1.62	0.00076	0.00127	0.76	1.27
			ศูนย์บริการสาธารณสุขบ้านตากวน	0.98	1.80	0.00076	0.00141	0.76	1.41
			เมืองใหม่มาบตาพุด	0.84	1.18	0.00065	0.00092	0.65	0.92
			โรงเรียนวัดหนองแฟบ	0.43	1.08	0.00033	0.00084	0.33	0.84
			วัดมาบชะลูุด	ND	1.13	ND	0.00088	ND	0.88

ND หมายถึง ตรวจวัดไม่พบ

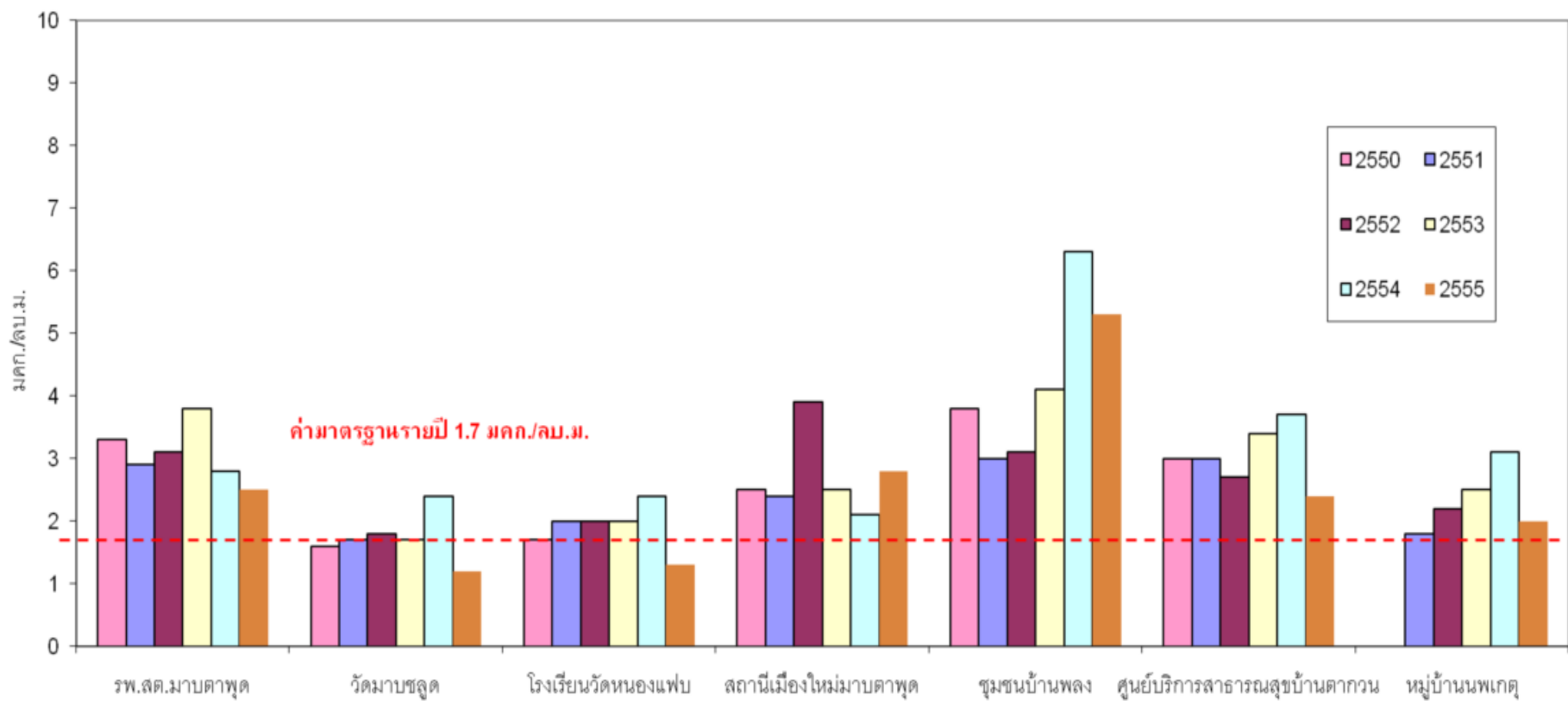
ตารางที่ ข.10 ค่าเฉลี่ยรายปีของเบนซินบริเวณพื้นที่รอบอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ปี 2550-2555

ปี	ค่าเฉลี่ย 1 ปี ของเบนซิน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
	รพ.สต. มาบตาพุด	วัดมาบชูด	โรงเรียน วัดหนองแฟบ	สถานีเมืองใหม่ มาบตาพุด	ชุมชนบ้านพลง	ศูนย์บริการสาธารณสุข บ้านตากวน	หมู่บ้าน นพเกตุ
2550	3.3	1.6	1.7	2.5	3.8	3.0	-
2551	2.9	1.7	2.0	2.4	3.0	3.0	1.8
2552	3.1	1.8	2.0	3.9	3.1	2.7	2.2
2553	3.8	1.7	2.0	2.5	4.1	3.4	2.5
2554	2.8	2.4	2.4	2.1	6.3	3.7	3.1
2555	2.5	1.2	1.3	2.8	5.3	2.4	2.0
ค่ามาตรฐาน	1.7						

 จำนวนตัวอย่าง ไม่ครบ 12 เดือน

 จำนวนตัวอย่าง ไม่ครบ 12 เดือน ขาดเดือน มีนาคม 2555

ที่มา : http://aqnis.pcd.go.th/VOCold/VOCs_maptaput_annual.htm , [22/04/2556]



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยรายปีของเบนซีน ระหว่าง ปี 2550-2555 พื้นที่รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

ที่มา : http://aqnis.pcd.go.th/VOCold/VOCs_maptaput_annual.htm , [22/04/2556]

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นายกิตติภาส นิ่งสูงเนิน

วัน เดือน ปีเกิด

3 กรกฎาคม 2523

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม พ.ศ. 2542

ระดับปริญญาตรี

ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย พ.ศ. 2546

ระดับปริญญาโท

ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการศึกษา

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี พ.ศ. 2552

ระดับปริญญาโท

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555

ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย

ทุนอุดหนุนสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ปีงบประมาณ 2552

ประวัติการทำงาน

ครูผู้ช่วย วิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อกุณปริสุทฺโธ พ.ศ. 2551-2552

ครูผู้ช่วย วิทยาลัยเทคนิคมาบตาพุด พ.ศ. 2552-2553

ครู คศ.1 วิทยาลัยเทคนิคมาบตาพุด พ.ศ. 2553-2555

ครู คศ.1 วิทยาลัยการอาชีพพล พ.ศ. 2555-ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 13 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2556

ข้าพเจ้า นายกิตติภาส นั่งสูงเนิน รหัสประจำตัว 53440202 เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา (✓) โท () เอก หลักสูตร วท.ม. สาขาวิชา เคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ อยู่บ้านเลขที่ 279 หมู่ที่ 1 ต.รอก/ชอย ถนน กุดจระเข้มหาใหญ่ ตำบลใหม่มาเพียง อำเภอ แวงใหญ่ จังหวัด ขอนแก่นรหัสไปรษณีย์ 40330 ขอโอนลิขสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญาให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี ผศ. ดร.วราวุธ เกิดสินชัย ตำแหน่ง คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำการค้นคว้าอิสระเรื่อง ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสาร BTEX ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ (อาจารย์ที่ปรึกษา) ผศ. ดร.ภณทิรา เกตุแก้ว ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในการค้นคว้าอิสระให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

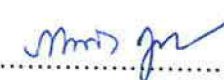
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำ หรือดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน หรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็น สิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปี นับจากวันลงนามใน ข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สิน ทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรร ผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้ เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจาก ทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ.2538

6. ในกรณีที่ผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้า ทำขึ้นโดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้ามีสิทธิได้รับการจัดสรร ผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ.2538

ลงชื่อ..... ..... ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นายกิตติภาส นังสูงเนิน)

ลงชื่อ..... ..... ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(ผศ. ดร.วรนุช เกิดสินธุ์ชัย)

ลงชื่อ..... ..... พยาน
(ผศ. ดร.กัญจิรา เกตุแก้ว)

ลงชื่อ..... ..... พยาน
(รศ. ดร.วินัย สมบูรณ์)