

สถานะของการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีพชนิดหลอดสำหรับตรวจวัด
สารกลุ่ม BTEX



นางสาวอัญชลี คัตรมี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชามลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

**CONDITIONS OF TUBE-TYPE PASSIVE SAMPLER
FOR BTEX MEASUREMENT**

Anchalee Katramee



**Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Environmental Pollution and Safety**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

สถานะของการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดสำหรับตรวจวัด
สารกลุ่ม BTEX

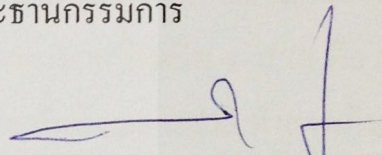
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



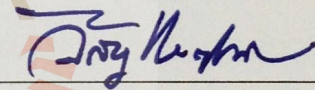
(ดร.อมรพล ช่างสุพรรณ)

ประธานกรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ)

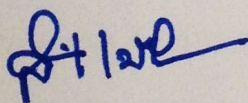
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รองศาสตราจารย์ ดร.วิสิทธิ์ แววสูงเนิน)

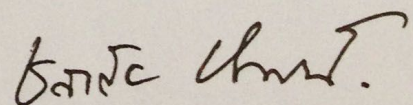
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ศาสตราจารย์ ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(อาจารย์ ดร.ชลาลัย หาญเจนลักษณ์)

คณบดีสำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์

อัญชลี คัตตรี : สภาวะของการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดสำหรับ
ตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX (CONDITIONS OF TUBE-TYPE PASSIVE SAMPLER FOR
BTEX MEASUREMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ, 164
หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะของการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้น
ในห้องปฏิบัติการสำหรับใช้ตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX โดยใช้ขวดไวอัล (ปริมาตร 10 มล. ความสูง
70 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มม.) เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ภายในบรรจุด้วย
ถ่านกัมมันต์ ชนิดเกรด ขนาด 20/40 เมช ทดสอบในกล่องทดลอง (Chamber) แบบปิด ขนาด 35 ซม.
x 40 ซม. x 30 ซม. ก่อนนำไปติดตั้งริมถนนในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาเพื่อประเมินอุปกรณ์
เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ เงื่อนไขการทดสอบในกล่องทดลองมี
การแบ่งชั้นความหนาของสารดูดซับในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเป็น 4 ส่วน คือ 0.5, 1.0,
1.5 และ 2.0 ซม. แต่ละส่วนบรรจุด้วยถ่านกัมมันต์ 650 มก. และกั้นด้วยแผ่นสำลี ทำการเก็บตัวอย่าง
ในกล่องทดลองแบบปิดเป็นเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX 3
ระดับ คือ ระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่พบในบรรยากาศทั่วไปของ
ประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ
พาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้น คือ ระดับความหนาของสารดูดซับ 3.0 ซม. และมีส่วนล่างหนา 0.5
ซม. สำหรับตรวจสอบการทะลุผ่านของการเก็บตัวอย่าง แรงกดที่ใช้ในการบรรจุสารดูดซับเท่ากับ
3,000 กรัม สำหรับการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX 24 ชั่วโมง ใน
บรรยากาศทั่วไปบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา คือ บริเวณห้า
แยกหัวรถไฟ แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย และสถานี
สูบน้ำเสียเทศบาลนครนครราชสีมา และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID พบปริมาณความเข้มข้นของ
เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ที่ตรวจวัดได้บริเวณห้าแยกหัว
รถไฟ อยู่ในช่วง ND-5.77, 0.69-12.89, ND-5.68, ND-10.01 และ ND-8.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ที่แยก
ถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง อยู่ในช่วง 0.32-13.09, 0.42-4.66, ND-4.27, ND-9.21 และ ND-
8.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ที่สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย อยู่ในช่วง 1.78-9.85, 1.87-8.55, ND-
7.61, ND-7.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ ND ตามลำดับ และที่สถานีสูบน้ำเสียเทศบาลนครราชสีมา อยู่ในช่วง
0.29-8.70, 0.62-8.95, ND, ND-7.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ ND ตามลำดับ

สาขาวิชามลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย
ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา อัญชลี คัตตรี
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นเรศ เชื้อสุวรรณ

ANCHALEE KATRAMEE : CONDITIONS OF TUBE-TYPE PASSIVE
SAMPLER FOR BTEX MEASUREMENT. THESIS ADVISOR : ASSOC.
PROF. NARES CHUERSUWAN, Ph.D., 164 PP.

BTEX/ VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS/ PASSIVE SAMPLER/
TUBE-TYPE PASSIVE SAMPLER

This study validates the laboratory made tube-type passive sampler for BTEX monitoring. Glass vials with screw caps (10 ml, 70 mm height, 20 mm ID) were used as the passive sampler devices packed with activated carbon, 20/40 mesh size. The passive samplers were tested in a closed chamber (35 cm x 40 cm x 30 cm) and in an urban setting of Nakhon Ratchasima. The passive samplers were filled with the activated carbon and separated into four layers 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 cm, contained 650 mg of the activated carbon in each layer, and was exposed in the closed chamber for 1, 3, 5 and 7 days at three concentrations (low, medium and high levels) of BTEX compounds, commonly found in the urban environment of Thailand. The results showed that the optimum conditions of the passive sampler were 3.0 cm depth of the activated carbon, with 0.5 cm of breakthrough layer, with the compaction strength of 3,000 g during packing. The conditions were good for 24-hr sampling. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m-Xylene, p-Xylene and o-Xylene at Hua-Rotfai intersection were ND-5.77, 0.69-12.89, ND-5.68, ND-10.01 and ND-8.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. At the intersection of Ratchadamnoen and Plo klang Roads were 0.32-13.09, 0.42-4.66, ND-4.27, ND-9.21 and ND-8.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. At the T-Junction of Mitraphap Road were 1.78-9.85, 1.87-8.55, ND-7.61, ND-7.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and ND, respectively. At

Nakhon Ratchasima Municipality Waste Pumping Station were 0.29-8.70, 0.62-8.95, ND, ND-7.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and ND, respectively.



School of Environmental Pollution and Safety

Academic Year 2016

Student's Signature อัครศักดิ์ ศักดิ์เมธี

Advisor's Signature [Signature]

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ให้ความกรุณา แนะนำ สั่งสอน และให้คำปรึกษาทั้งด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัยจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้การอบรม สั่งสอน และคำแนะนำในการแก้ปัญหาในการศึกษาวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ดร.อมรพล ช่างสุพรรณ ประธานกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.วิสิทธิ์ แวสูงเนิน กรรมการ ที่ให้คำแนะนำทางวิชาการ และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบคุณ บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ถ่านกัมมันต์สำหรับใช้เป็นสารดูดซับในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษา รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ชาย ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู สนับสนุน ส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

อัญชติ คัตรมี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ค
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 กรอบแนวคิดการทำวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย	5
2.1.1 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล (Non-Chlorinated VOCs or Non-Halogenated Hydrocarbons)	5
2.1.2 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล (Chlorinated VOCs or Halogenated Hydrocarbons)	5
2.2 สารกลุ่ม BTEX	6
2.3 แหล่งกำเนิดของสารกลุ่ม BTEX	7
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารกลุ่ม BTEX ในสิ่งแวดล้อม	9
2.5 ความเป็นพิษของสารกลุ่ม BTEX	10
2.5.1 เบนซีน (Benzene)	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1.1	ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity)	11
2.5.1.2	ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Chronic Toxicity)	12
2.5.2	โทลูอีน (Toluene)	13
2.5.2.1	ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)	14
2.5.2.2	ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)	14
2.5.3	เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	14
2.5.3.1	ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)	14
2.5.3.2	ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)	15
2.5.4	ไซลีน (Xylene: <i>o</i> -Xylene, <i>m</i> -Xylene, <i>p</i> -Xylene)	15
2.5.4.1	ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)	15
2.5.4.2	ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)	15
2.6	การกำหนดค่ามาตรฐานของสารกลุ่ม BTEX ที่อนุญาตให้มีได้ในบรรยากาศ.....	15
2.7	การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ.....	20
2.7.1	แบบแอคทีฟ (Active Sampling)	20
2.7.2	แบบพาสซีฟ (Passive Sampling)	21
2.8	ทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ.....	21
2.8.1	ทฤษฎีการซึมผ่าน (Permeation)	21
2.8.2	ทฤษฎีการแพร่ (Diffusion)	22
2.9	ส่วนประกอบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ	24
2.9.1	ส่วนเปิดรับแก๊สมลพิษ	24
2.9.2	ส่วนที่เป็นพื้นที่สำหรับเก็บสารดูดซับ (Absorption Chamber)	25
2.9.3	แผ่นตะแกรงสแตนเลส (Stainless Steel)	25
2.10	ชนิดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	25
2.10.1	ชนิดแผ่นหนีบ (Badge Type)	26
2.10.2	ชนิดหลอด (Tube Type)	26
2.11	ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ.....	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11.1	ลักษณะของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	29
2.11.2	ชนิดของสารดูดซับ.....	30
2.11.3	ความเร็วลมหรือกระแสลม.....	30
2.11.4	ความชื้น.....	30
2.11.5	ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	30
2.11.6	ความสูง	31
2.11.7	ลักษณะการติดตั้ง	31
2.12	หลักการดูดซับ.....	32
2.13	กลไกการดูดซับ	33
2.14	สารดูดซับ	34
2.14.1	กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์.....	38
2.14.2	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์.....	39
2.14.2.1	ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์	39
2.14.2.2	ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบน ผิวถ่านกัมมันต์	39
2.14.2.3	ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์	39
2.14.2.4	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย	39
2.14.2.5	อุณหภูมิ.....	39
2.14.2.6	ความชื้น	39
2.14.3	การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่จะกำหนดการดูดซับของถ่านกัมมันต์	39
2.15	การสกัดตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX	43
2.15.1	การใช้สารละลาย (Solvent Desorption)	43
2.15.2	การใช้ความร้อน (Thermal Desorption)	44
2.16	การวิเคราะห์ตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX	44
2.16.1	หลักการของแก๊สโครมาโทกราฟี	44
2.16.2	องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.16.3	สถานะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX.....	45
3	วิธีดำเนินการวิจัย	48
3.1	อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี.....	50
3.2	การเตรียมวัสดุสำหรับจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอด	52
3.3	สารดูดซับสำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX	53
3.3.1	การเตรียมถ่านกัมมันต์สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX	53
3.3.1.1	การคัดขนาดถ่านกัมมันต์	53
3.3.1.2	การตรวจวัดพารามิเตอร์ทางเคมีและทางกายภาพของถ่านกัมมันต์	54
3.3.2	การบรรจุสารดูดซับ (ถ่านกัมมันต์)	57
3.4	การเตรียมกล่องทดลอง (Chamber) สำหรับทดสอบการดูดซับในห้องปฏิบัติการ ..	61
3.5	การเตรียมสารละลายและสารละลายมาตรฐาน.....	63
3.6	การศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ.....	64
3.7	การประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไป	68
3.8	การวิเคราะห์ตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX	71
3.8.1	การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX.....	71
3.8.2	การตรวจสอบจุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ)	72
3.8.3	ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability)	72
3.9	การวิเคราะห์ข้อมูล	73
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	74
4.1	ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นสารดูดซับ	74
4.1.1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน.....	74

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.2	การวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์	77
4.1.3	การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์	80
4.1.4	การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรและการกระจายของรูพรุนของ ถ่านกัมมันต์	81
4.2	การทดสอบวิธีวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX	82
4.2.1	สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์ สารกลุ่ม BTEX.....	82
4.2.2	การตรวจสอบจุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ)	84
4.2.3	ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability)	85
4.2.4	การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ของสารกลุ่ม BTEX.....	86
4.3	การศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง แบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ	88
4.3.1	ระดับความเข้มข้น	88
4.3.2	ระดับความหนาของสารดูดซับ	93
4.3.3	ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง	96
4.3.4	การยืนยันสภาวะที่เหมาะสมของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ จัดทำขึ้นจากเงื่อนไขที่ได้จากการทดลอง.....	97
4.3.4.1	การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง.....	97
4.3.4.2	การทดลองเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไป ...	98
4.4	การประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดปริมาณ ความเข้มข้น ของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไป	101
4.4.1	การประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัด สารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ ในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา	101
4.4.2	การประยุกต์ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสำหรับเบนซีน ในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	105
5	บทสรุป.....	107

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1	สรุปผลการวิจัย.....	107
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	109
5.2.1	ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้ผลงานวิจัย	109
5.2.2	ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป.....	109
	รายการอ้างอิง.....	110
	ภาคผนวก.....	119
	ประวัติผู้เขียน	164

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารกลุ่ม BTEX	6
2.2	สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มสาร BTEX ที่ถูกปล่อยออกจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ	8
2.3	ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในสถานประกอบการของสารกลุ่ม BTEX	16
2.4	ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ	17
2.5	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารกลุ่ม BTEX	23
2.6	อัตราการดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์	25
2.7	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX	28
2.8	ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	32
2.9	เปรียบเทียบพื้นผิวและความพรุนของสารดูดซับที่ใช้สำหรับดูดซับสารกลุ่ม BTEX	34
2.10	สารดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย	35
2.11	เปรียบเทียบความจุของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย	37
2.12	ค่าความถี่ของการสั่นของหมู่ฟังก์ชันสารแต่ละชนิด	41
3.1	รายการอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา	50
3.2	ระดับความเข้มข้นผสมของสารกลุ่ม BTEX ที่ใช้ในกล้องทดลอง (Chamber)	63
3.3	การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์ สารกลุ่ม BTEX	72
3.4	ระดับความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน	73
4.1	พื้นที่ผิว ปริมาตรและการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับ	81
4.2	สถานะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX	82
4.3	จุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ) ของสารกลุ่ม BTEX	85
4.4	ค่าความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจวัดโดยใช้ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออนไนเซชัน	86
4.5	ความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

4.6	อัตราการดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอด	100
4.7	ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาเปรียบเทียบกับเขตชุมชนอื่นในประเทศไทย	103
4.8	ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนริมถนนสายหลักในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาเปรียบเทียบกับค่าเฝ้าระวัง 24 ชั่วโมง ของกรมควบคุมมลพิษ.....	104



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดการทำวิจัย..... 4
2.1	กระบวนการแพร่กระจายของมลสารตามกฎการแพร่ข้อที่หนึ่งของฟิกค์..... 23
2.2	(ก) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive Sampler) ชนิดแผ่นเหน็บ (Badge Type) และ (ข) ลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดแผ่นเหน็บ สำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย..... 26
2.3	(ก) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive Sampler) ชนิดหลอด (Tube Type) สำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย และ (ข) ลักษณะโครงสร้างการกระจายของสารในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive Sampler) ชนิดหลอด (Tube Type) 27
2.4	กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์ 38
2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (Wavenumber) กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared Spectrum 42
2.6	เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA 43
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 49
3.2	ลักษณะของขวด ไวอัลฟาเกลียวที่นำมาจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ 52
3.3	(ก) การคัดขนาดถ่านกัมมันต์ด้วยตะแกรงร่อน (ข) ตะแกรงร่อน 20 เมช (Endecotts, England) และ (ค) ตะแกรงร่อน 40 เมช (Retsch, Germany) 53
3.4	เตาเผา (Carbolite, UK) สำหรับให้ความร้อนจัดสารตกค้างภายในถ่านกัมมันต์ 54
3.5	โถดูดความชื้น (Kavalier, North America) 54
3.6	การนำถ่านกัมมันต์วางบนจานขนาดเล็กซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน 55
3.7	เครื่องทีจีเอ ขณะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน 56
3.8	ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่บดผสมกับโปรแทสเซียมโบรไมด์..... 56
3.9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ขณะวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์..... 57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 เครื่อง BET ขณะวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และการกระจายของรูพรุน ของถ่านกัมมันต์.....	57
3.11 การนำขวดไว้อัลฟาเกลียววางบนเครื่องซึ่งที่มีความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง	58
3.12 การชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องซึ่งที่มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง.....	59
3.13 การบรรจุถ่านกัมมันต์ในขวดไว้อัลฟาเกลียว.....	59
3.14 การใช้แท่งเหล็กกดอัดถ่านกัมมันต์	60
3.15 การนำแผ่นสำลิกั้นตามระดับชั้นความหนาของถ่านกัมมันต์	60
3.16 (ก) ลักษณะของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้น (ข) การเก็บอุปกรณ์ เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟใน โถดูดความชื้น	61
3.17 ลักษณะของกล่องทดลอง (Chamber) ที่ใช้ในการทดสอบการดูดซับ	61
3.18 การเตรียมสารละลายและสารละลายมาตรฐาน	64
3.19 การนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟวางในกล่องทดลอง เพื่อเก็บตัวอย่าง สารกลุ่ม BTEX	65
3.20 การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง	65
3.21 การนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างออกจากกล่องทดลอง	66
3.22 การนำสารดูดซับออกจากอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง.....	66
3.23 การเติมสารทำลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ เพื่อสกัดสารกลุ่ม BTEX ที่ถูกดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์.....	67
3.24 (ก) การเขย่าหลอดแก้วฟลาเกลียวด้วยเครื่องเขย่า (FinePCR, Korea) (ข) หลอดแก้ว ฟลาเกลียวถูกวางในตู้ดูดความชื้น เพื่อให้ถ่านกัมมันต์ตกตะกอน	67
3.25 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ด้วยเครื่อง GC/FID	68
3.26 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปบริเวณแยกถนนที่มี การจราจรคับคั่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา	69
3.27 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างกับอุปกรณ์ครอบเพื่อป้องกันการรบกวน จากกระแสลม.....	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.28 จุดเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่ง ในเขตเทศบาลนครราชสีมา (ก) จุดที่ 1 บริเวณห้าแยกหัวรถไฟ (ข) จุดที่ 2 แยกถนน ราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง (ค) จุดที่ 3 สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย (ง) จุดที่ 4 สถานีสูบน้ำเสีย (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ)	70
4.1 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักของสารที่หายไป (Weight Loss (%)) กับอุณหภูมิ (Temperature) สำหรับถ่านกัมมันต์ก่อนการดูดซับ แก๊สสารกลุ่ม BTEX.....	75
4.2 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักของสารที่หายไป (Weight Loss (%)) กับอุณหภูมิ (Temperature) สำหรับถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับ แก๊สสารกลุ่ม BTEX ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน (ก) ระดับความเข้มข้นต่ำ (ข) ระดับความเข้มข้นปานกลาง (ค) ระดับความเข้มข้นสูง.....	76
4.3 FT-IR Spectrums แสดงแบนด์เลขคลื่นของกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ก่อน การดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX	78
4.4 FT-IR Spectrums แสดงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊ส สารกลุ่ม BTEX ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน (ก) ระดับความเข้มข้นต่ำ (ข) ปานกลาง (ค) สูง.....	78
4.5 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อนการดูดซับแก๊ส สารกลุ่ม BTEX ที่กำลังขยาย (ก) 190 เท่า (ข) 350 เท่า	80
4.6 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊ส สารกลุ่ม BTEX ที่กำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 1,000 เท่า	81
4.7 โครมาโทแกรมของสารกลุ่ม BTEX ที่ยังไม่ทราบสภาวะที่เหมาะสม	83
4.8 โครมาโทแกรมของสารกลุ่ม BTEX ที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม	84
4.9 กราฟมาตรฐานของสาร (ก) เบนซีน (ข) โทลูอิน (ค) เอทิลเบนซีน (ง) เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ (จ) โอ-ไซลีน.....	87
4.10 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX เมื่อทำการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ก) 1 วัน (ข) 3 วัน (ค) 5 วัน และ (ง) 7 วัน.....	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX เมื่อทำการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นปานกลาง ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ก) 1 วัน (ข) 3 วัน (ค) 5 วัน และ (ง) 7 วัน.....	91
4.12 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX เมื่อทำการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นสูง ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ก) 1 วัน (ข) 3 วัน (ค) 5 วัน และ (ง) 7 วัน.....	92
4.13 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ	93
4.14 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ	94
4.15 ปริมาณความเข้มข้นของเอทิลเบนซีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ.....	94
4.16 ปริมาณความเข้มข้นของเอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีนแบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ ..	95
4.17 ปริมาณความเข้มข้นของโอ-ไซลีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ	96
4.18 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 1 วัน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ.....	97
4.19 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบภายในกล่องทดลอง ที่ระยะเวลา 1 วัน.....	98
4.20 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบในบรรยากาศทั่วไป ที่ระยะเวลา 1 วัน.....	99
4.21 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของ เทศบาลนครราชสีมาที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด	102
4.22 Boxplot ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนบริเวณประตูทางเข้า-ออกของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประตู 1, 2 และ 4.....	106

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BTEX	= Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene
VOCs	= สารอินทรีย์ระเหยง่าย
ppb	= ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	= ส่วนในล้านส่วน
ACGIH	= American Conference of Governmental Industrial Hygienist
OSHA	= Occupational Safety and Health Administration
NIOSH	= National Institute for Occupational Safety and Health
TLV	= Threshold Limiting Value
STEL	= Short-Term Exposure Limit
TWA	= Time Weighted Average
m ² /g	= ตารางเมตรต่อกรัม
cm ³ /g	= ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
ml/g	= มิลลิลิตรต่อกรัม
nm	= นาโนเมตร
µg/m ³	= ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ng/ml	= นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร
กก.	= กิโลกรัม
ซม.	= เซนติเมตร
มก.	= มิลลิกรัม
มล.	= มิลลิลิตร
มม.	= มิลลิเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene) เรียกรวมโดยย่อว่าสาร BTEX จัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs: Volatile Organic Compounds) สารกลุ่มนี้ใช้ในอุตสาหกรรมและเป็นองค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม จึงพบได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน (US. EPA, 2010; ODH, 2014)

ปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญชนิดหนึ่งในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากภาคการคมนาคมขนส่งและภาคอุตสาหกรรมเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ จากรายงานสถานการณ์สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในปี พ.ศ. 2556 ผลการตรวจวัดในกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล ขอนแก่น สงขลา ระยอง และเชียงใหม่ พบว่าพื้นที่ริมถนนและเขตพื้นที่อุตสาหกรรมเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายกระจายอยู่ในบรรยากาศมากกว่าพื้นที่ทั่วไป และภาพรวมทั้งประเทศพบว่า ค่าเฉลี่ยรายปีของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นสารเบนซีนบริเวณริมถนนมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 1.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) และพบว่ายานพาหนะเป็นสาเหตุหลักในการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2557; วรรณ เถาวกุล และคณะ, 2553; Lan and Binh, 2012) โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มนี้เมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้วสามารถกระจายสู่คน สัตว์ และพืชได้

สารกลุ่ม BTEX จัดเป็นสารที่มีอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หากมีการรับสัมผัสสารกลุ่มนี้เข้าสู่ร่างกายและเกิดการสะสมเป็นระยะเวลานาน เช่น สารเบนซีนเมื่อถูกซึมเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่ไขกระดูกและเยื่อไขกระดูก และเมื่อได้รับเป็นระยะเวลานานมีผลเสียต่อไขกระดูกและการสร้างเม็ดเลือดทั้งในคนและสัตว์ โดยหน่วยงานวิจัยด้านมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer: IARC) จัดให้สารเบนซีนอยู่ในกลุ่มที่ 1 คือเป็นสารก่อมะเร็งในคน เนื่องจากไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างเม็ดเลือดขาวมากกว่าปกติ ทำให้เกิดเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia) (IARC, 1987) และองค์การอนามัยโลกได้ประกาศกำหนดให้เบนซีนเป็นมลพิษที่ไม่มีระดับความปลอดภัย (No Safe Level) (WHO, 2000) ส่วนสารโทลูอินสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจและดูดซึมผ่านผิวหนัง ก่อให้เกิดความไม่สัมพันธ์กันของการเคลื่อนไหว และระบบประสาทสัมผัสไม่ดี

ซึ่งมีผลทำให้เกิดอุบัติเหตุหกล้มได้ง่าย นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง และผิวหนังอักเสบได้ สารเอทิลเบนซีนหากสัมผัสผ่านทางหายใจ ทำให้เกิดการระคายเคืองที่ลำคอ แน่นหน้าอก และกระบบประสาทส่วนกลาง เช่น เวียนศีรษะ หากสัมผัสกับผิวหนังหรือตา ทำให้เกิดการระคายเคืองได้ และสารไซลีนทำให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนังอย่างรุนแรง ผิวหนังอักเสบ และมีฤทธิ์กดระบบประสาท (CNS Depression) (ATSDR, 2014; US. EPA, 2013)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้เป็นส่วนประกอบในน้ำมันเชื้อเพลิง หากมีการใช้ในปริมาณที่สูงมากขึ้นอาจเพิ่มโอกาสในการรับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX และเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคของประชาชนได้สูงขึ้น โดยเฉพาะประชาชนที่มีอาชีพหรือทำกิจกรรมอยู่บริเวณริมถนน เช่น ตำรวจจราจร พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ มอเตอร์ไซด์รับจ้าง ผู้ประกอบอาชีพขายของริมถนน ประชาชนที่ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง รวมถึงประชาชนที่พักอาศัยอยู่ในชุมชนพื้นที่ใกล้ริมถนนที่มีจำนวนรถวิ่งผ่านจำนวนมาก นอกจากนั้นอาจทำให้เกิดปัญหาหมอกพิษในอากาศและมีปริมาณสารมลพิษสะสมที่เพิ่มมากขึ้นได้ในอนาคต จึงควรมีการตรวจวัดและเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง

การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศนั้น ทำได้โดยการวัดโดยตรงที่ต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ที่มักมีราคาแพง หรือการเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่ศึกษา แล้วนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ โดยการเก็บตัวอย่างอากาศสามารถทำได้ 2 แบบ คือ ก) การดูดอากาศโดยตรง หรือวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟ และ ข) อาศัยการแพร่ของโมเลกุลของสารจากความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ หรือวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ ซึ่งวิธีเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ มีข้อดีคือ เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ไม่ยุ่งยากหรือซับซ้อนในการใช้งาน และไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และสามารถนำไปติดตั้งได้ง่ายในพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์แบบแอคทีฟอาจไม่สามารถติดตั้งได้ นอกจากนี้ อุปกรณ์แบบพาสซีฟยังสามารถใช้เก็บอากาศได้หลายพื้นที่ในระยะเวลาเดียวกัน มีประโยชน์ในการให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ อุปกรณ์แบบพาสซีฟจึงเป็นที่นิยมใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ (Fridh and Stuart, 2014) และมีการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพและครอบคลุมการเก็บตัวอย่างสารมลพิษได้เพิ่มมากขึ้นด้วย สังกัดได้จากการออกแบบรูปร่างและลักษณะของอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ออกไปขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตและงานวิจัย รวมถึงวัตถุประสงค์ของการนำอุปกรณ์ไปใช้งานกับสารมลพิษที่สนใจศึกษา เช่น แบบหลอด (Tube) และแบบแผ่นเหน็บ (Badge) เป็นต้น

การศึกษานี้เห็นความสำคัญของปัญหาหมอกพิษทางอากาศจากสารในกลุ่ม BTEX ในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างที่ไม่เอื้ออำนวยให้หน่วยงานระดับพื้นที่เข้ามามีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังปัญหาจากปัญหาเรื่องเครื่องมือเก็บตัวอย่างและงบประมาณในการจัดหาจึงได้จัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ ที่สามารถจัดทำขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้งานอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้น

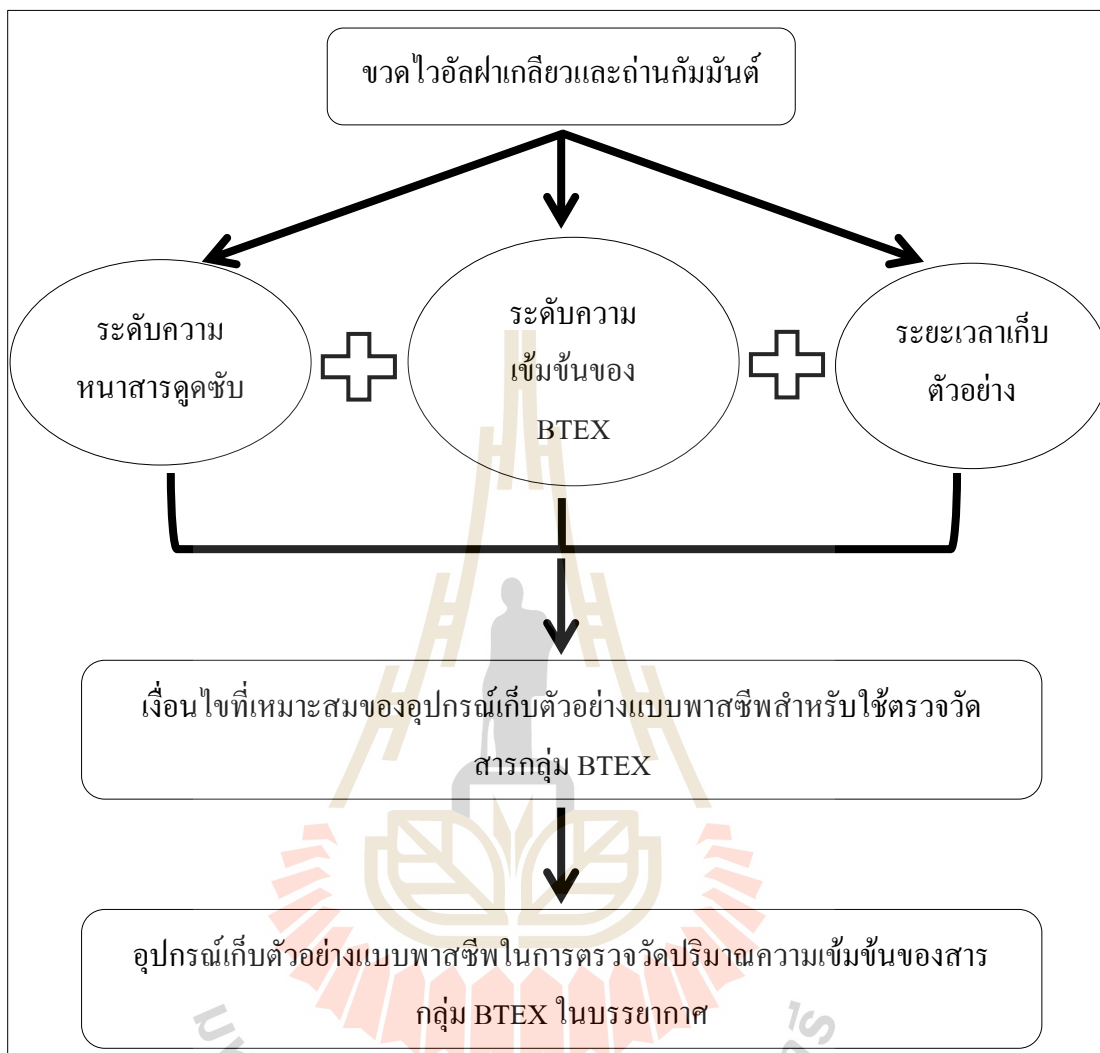
1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่สามารถจัดทำขึ้นได้เอง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ
- 1.2.3 เพื่อประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 การศึกษานี้มุ่งเน้นการจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่สามารถจัดทำขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการ จากวัสดุที่หาได้ง่ายภายในประเทศ ใช้ต้นทุนต่ำ มีขั้นตอนในการจัดทำและการนำไปใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน
- 1.3.2 ศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้น โดยทำการทดสอบการดูดซับในกล่องทดลองที่มีการตรวจวัดอุณหภูมิตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง เพื่อให้ได้อุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟที่สามารถนำไปใช้เป็นหนึ่งทางเลือกในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ
- 1.3.3 ประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้น โดยนำไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนภายในเทศบาลนครนครราชสีมา
- 1.3.4 วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดเฟลมไอออนไนซ์เซชัน และใช้สารทำลายคาร์บอนไดซัลไฟด์เป็นสารสกัดตามวิธีมาตรฐาน NIOSH method 1501

1.4 กรอบแนวคิดการทำวิจัย



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดการทำวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟที่สามารถจัดทำขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และราคาต้นทุนต่ำ สำหรับตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX

1.5.2 ทราบสถานะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ

1.5.3 สามารถนำอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการไปใช้เป็นหนึ่งทางเลือกในการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ได้

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) หมายถึง สารประกอบที่มีคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) เป็นองค์ประกอบหลักมีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555) สามารถแบ่งสารอินทรีย์ระเหยง่าย ออกตามลักษณะของโมเลกุล เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.1.1 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล (Non-Chlorinated VOCs or Non-Halogenated Hydrocarbons) ประกอบด้วย กลุ่มอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbons) เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Oils) แก๊สโซลีน (Gasoline) เฮกเซน (Hexane) สารทำละลายในอุตสาหกรรม (Industrial Solvents) และสารกลุ่มอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons) เช่น สารโทลูอีน (Toluene) เบนซีน (Benzene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไซลีน (Xylenes) และฟีนอล (Phenol) เป็นต้น

2.1.2 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล (Chlorinated VOCs or Halogenated Hydrocarbons) ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรม สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษสูงกว่าและเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารในกลุ่มที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทาน ยากต่อการสลายตัวในธรรมชาติ ทางกายภาพ หรือโดยทางวิธีเคมีทั่วไป มีความคงตัวสูงและสะสมได้นาน รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม หรือยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ สารในกลุ่มนี้ที่พบในสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เช่น 1,1,1,2-เตตระคลอโรอีเทน (1,1,1,2-Tetrachloroethane) ไตรคลอโรอีเทน (Trichloroethane) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) เป็นต้น

ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสารกลุ่ม BTEX จัดอยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons)

2.2 สารกลุ่ม BTEX

สาร BTEX เป็นชื่อย่อที่ใช้เรียกสารสี่ชนิดรวมกัน คือ สารเบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene) โดยไซลีนที่สำคัญมี 3 ไอโซเมอร์ (Isomers) คือ โอ-ไซลีน (*o*-Xylene) เอ็ม-ไซลีน (*m*-Xylene) และพี-ไซลีน (*p*-Xylene) สารกลุ่มนี้จัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจากเป็นสารกลุ่มที่มีความดันไอสูงสามารถระเหยสู่บรรยากาศได้ง่าย โดยสารกลุ่มนี้ถูกนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม จึงพบได้ในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันปิโตรเลียม โดยเฉพาะในน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน (US.EPA, 2010; ODH, 2014) จึงทำให้พบการแพร่กระจายของสารกลุ่มนี้ได้ในพื้นที่บริเวณริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งการแพร่กระจายของสารสู่บรรยากาศจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารกลุ่ม BTEX (ATSDR, 2004; US.EPA, 2013)

สมบัติทางกายภาพ และเคมี	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	โอ-ไซลีน	เอ็ม-ไซลีน	พี-ไซลีน
สูตรทางเคมี	C ₆ H ₆	C ₇ H ₈	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀
น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	78.11	92.14	106.17	106.17	106.17	106.17
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	80.1	110.6	136.2	144.4	139.1	138.4
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	5.5	-95	-94.4	-25.2	-47.9	13.3
ความหนาแน่น ที่ 15 °C (กรัมต่อมิลลิเมตร)	0.8787	0.8669	0.8670	0.8800	0.8640	0.8611
ความดันไอที่ 20 °C (มิลลิเมตรปรอท)	95.2	28.4	9.6	6.7	8.4	8.8
Log K _{ow} ที่ 20 °C	2.13	2.69	3.15	2.77	3.18	3.15
Half-Life (Photolysis)	13.4 วัน	3 ชม.	0.5–24 ชม.	15 ชม.	10 ชม.	18 ชม.
ความเป็นพิษ	ไม่มีพิษ	ไม่มีพิษ	ไม่มีพิษ	ไม่มีพิษ	ไม่มีพิษ	ไม่มีพิษ
Henry's Law Constant ที่ 25 °C (บรรยากาศ- ลูกบาศก์เมตร/โมล)	5.5x10 ⁻³	5.94x10 ⁻³	7.9x10 ⁻³	5.18x10 ⁻³	7.18x10 ⁻³	6.90x10 ⁻³

ข้อมูลจากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าสารกลุ่ม BTEX มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำอยู่ระหว่าง 78.11-106.17 กรัมต่อโมล และมีความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 6.7-95.2 มิลลิเมตรปรอท แสดงว่าสารกลุ่มนี้ ระเหยได้ง่าย

2.3 แหล่งกำเนิดของสารกลุ่ม BTEX

สารกลุ่ม BTEX เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม เช่น ในน้ำมันเบนซินจะพบสารเบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน โอ-ไซลีน เอ็ม-ไซลีน และพี-ไซลีน ร้อยละ 11, 26, 11, 12, 31 และ 9 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (Christensen and Elton, 1998) และจากข้อมูลองค์ความรู้เรื่องการควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิงของกรมธุรกิจพลังงานโดยสำนักความปลอดภัยธุรกิจน้ำมัน พบว่า ในไอระเหยของน้ำมันเบนซินมีองค์ประกอบของสารเบนซิน โทลูอิน และไซลีน (กระทรวงพลังงาน, 2550) สารกลุ่ม BTEX พบในพื้นที่ที่มีการจราจรติดขัดและหนาแน่น หรือถนนที่มีรถวิ่งผ่านเป็นจำนวนมาก เนื่องจากยานพาหนะเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญที่มีการปล่อยสารกลุ่ม BTEX ออกสู่สิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2557; วรรณ เลาวกุล และคณะ, 2550; Lan and Minh, 2013; Lan and Binh, 2012)

นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดของสารกลุ่ม BTEX จากไอเสียของยานพาหนะและไอระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น

Lan and Minh (2013) ตรวจวัดระดับสารกลุ่ม BTEX บริเวณริมถนน 17 สาย ในเขตพื้นที่นครโฮจิมิน พบว่ามลพิษจากการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดหลักของสารกลุ่ม BTEX บริเวณริมถนน โดยรถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่ปล่อยสารกลุ่ม BTEX มากที่สุด ปริมาณความเข้มข้นรายวันของสารเบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน เท่ากับ 56, 121, 21, 64 และ 23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

Yao et al. (2013) ศึกษาการปล่อยแก๊สมลพิษของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เอทานอล (E15) และน้ำมันเบนซิน (G95) เป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทยได้หวั่น โดยทดสอบในรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะที่มีเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 2 ชนิด คือ เครื่องยนต์แบบคาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) กับเครื่องยนต์แบบหัวฉีด (Fuel-Injection) ผลการศึกษาพบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มสาร BTEX ที่ถูกปล่อยออกจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในเครื่องยนต์และเชื้อเพลิงที่ใช้แตกต่างกัน คือ สารโทลูอิน มีค่าเท่ากับ 11.30 และ 13.80 มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร สำหรับเครื่องยนต์แบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีดที่ผสมเอทานอลในเชื้อเพลิง ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 30.84 และ 11.82 มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร สำหรับเครื่องยนต์แบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีดที่ใช้น้ำมันเบนซินไปเชื้อเพลิง ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มสาร BTEX ที่ถูกปล่อยออกจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ
(Yao et al., 2013)

สารมลพิษ (Pollutant)	ปัจจัยการปล่อยแก๊ส (Emission Factor) (มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร)			
	คาร์บูเรเตอร์ (Carburetor)		หัวฉีด (Fuel-Injection)	
	เบนซีน (G95)	เอทานอล (E15)	เบนซีน (G95)	เอทานอล (E15)
เบนซีน	17.53	6.23	8.93	6.88
โทลูอิน	30.84	11.30	13.80	11.82
เอทิลเบนซีน	3.77	0.88	4.89	4.19
เอ็ม,พี-ไซลีน	7.02	2.07	7.34	6.45
โอ-ไซลีน	4.91	1.64	4.59	3.94

วรรณิ เลาวกุล และคณะ (2553) ประเมินการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จากไอระเหยน้ำมันของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 และ 95 ในรถยนต์ขนาด 1,800 ซีซี จำนวน 2 ยี่ห้อ ๆ ละ 3 คัน โดยมีระยะการใช้งานอย่างน้อย 50,000-70,000 กิโลเมตร และ 100,000-140,000 กิโลเมตร และติดตั้งกล่องคักไอน้ำมัน โดยทำการทดสอบไอระเหยน้ำมันของรถยนต์ ในสภาวะการสูญเสียไอระเหยน้ำมันขณะเครื่องยนต์ร้อน (Hot Soak Loss) และสภาวะการสูญเสียไอระเหยน้ำมันในช่วงระหว่างวัน (Diurnal Loss) หรือสภาวะการสูญเสียไอระเหยน้ำมันจากถังน้ำมัน พบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลักจากไอระเหยน้ำมันของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 และ 95 ได้แก่ เพนเทน (Pentane) เฮกเซน (Hexane) ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) เอ็ม,พี-ไซลีน (*m,p*-Xylene) โอ-ไซลีน (*o*-Xylene) 1,3,5-ไตรเมทิลเบนซีน (1,3,5-Trimethylbenzene) 1,2,4-ไตรเมทิลเบนซีน (1,2,4-Trimethylbenzene) และ 1,2,3-ไตรเมทิลเบนซีน (1,2,3-Trimethylbenzene) โดยสภาวะการสูญเสียไอระเหยน้ำมันเมื่อจอดรถยนต์ขณะเครื่องร้อนจะมีสัดส่วนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงกว่าในสภาวะการสูญเสียไอระเหยน้ำมันจากถังน้ำมัน เพราะอุณหภูมิของรถยนต์ที่จอดขณะเครื่องร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ กล่าวคือ อุณหภูมิของเครื่องยนต์ประมาณ 65 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการระเหยได้ง่ายกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ นอกจากนี้ รถยนต์ที่มีระยะการใช้งานน้อย แต่ขาดการบำรุงรักษาซีล (Seal) ฝาปิดถังน้ำมันปล่อยให้มีการรั่วซึมจะทำให้มีปริมาณการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายและ

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงกว่ารถยนต์ที่มีระยะเวลาใช้งานมากกว่า แต่มีการดูแลรักษาซีล (Seal) ฝาปิดถังน้ำมันที่ดีไม่มีการรั่วซึมหรือมีการรั่วซึมที่น้อยกว่า

Muttamara et al. (1998) ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซิน และโทลูอินจากไอเสียของรถยนต์ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่ารถยนต์ที่ผลิตในปี ค.ศ.1990-1992 และปี ค.ศ. 1994-1995 มีการปล่อยสารเบนซินและโทลูอิน เท่ากับ 0.76-4.14, 0.89-6.26 และ 4.4-22.02, 12.04-44.75 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีอัตราการปล่อยสารเบนซินและโทลูอิน เท่ากับ 70.84-85.82, 354.15-729.00 และ 0.43-95.07, 2.15-475.35 มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร ตามลำดับ

จิตติมา รุ่งรัตนอุบล (2543) ได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอิน และไซลีนในน้ำมันเบนซินและในไอเสียจากรถจักรยานยนต์ เครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ จำนวน 44 คัน และอายุเครื่องยนต์แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ เครื่องยนต์ใหม่ (อายุน้อยกว่า 5 ปี) กลาง (อายุอยู่ในช่วง 5-10 ปี) และอายุเครื่องยนต์เก่า (อายุมากกว่า 10 ปี) ผลการศึกษาพบว่า รถจักรยานยนต์ ชนิดเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ปล่อยสารเบนซิน โทลูอิน และไซลีนในไอเสีย มากกว่าชนิด 4 จังหวะ ประมาณ 3-4 เท่า และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอิน และไซลีนในไอเสียจากรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ เครื่องยนต์เก่า มีค่าเท่ากับ 116.15, 261.73 และ 39.21 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ในขณะที่รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ เครื่องยนต์ใหม่ มีค่าเท่ากับ 11.74, 29.00 และ 7.59 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารกลุ่ม BTEX ในสิ่งแวดล้อม

สารกลุ่ม BTEX เป็นสารที่มีความดันไอสูง จึงทำให้สารกลุ่มนี้สามารถระเหยเข้าสู่อากาศได้ง่าย การแพร่กระจายของสารสู่อากาศจะขึ้นอยู่กับสมบัติของสาร ดังนี้

ค่า Henry's Law Constant, K_H (Volatility) เป็นสมบัติของสารเคมีที่แสดงถึงการแบ่งส่วนระหว่างแก๊สของเหลวที่อุณหภูมิและความดันคงที่ หรืออัตราส่วนของความดันไอสมดุลต่อการละลายของสาร ค่า Henry's Law Constant มักถูกนำไปใช้ในการอธิบายถึงการเคลื่อนที่ของสารจากของเหลวสู่อากาศ ซึ่งจะช่วยทำนายพฤติกรรมของสารประกอบอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม ถ้าค่า Henry's Law Constant สูง หมายถึงสารจะเคลื่อนที่เข้าสู่ส่วนที่เป็นอากาศได้มากกว่า (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551) สำหรับสารกลุ่ม BTEX มีค่า Henry's Law Constant จากสูงไปต่ำ ดังนี้ เอทิลเบนซิน > เอ็ม-ไซลีน > พี-ไซลีน > โทลูอิน > เบนซิน > โอ-ไซลีน

ค่าความดันไอของสาร (Vapor Pressure) ความดันไอของสารเป็นความดันในสถานะสมดุลของสารในสถานะแก๊สที่อุณหภูมิคงที่ แสดงถึงแนวโน้มในการระเหยของสารทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็งหรือของเหลว ถ้าสารมีค่าความดันไอสูงจะหมายถึง สารสามารถระเหยและอยู่ในสถานะแก๊สได้มาก โดยทั่วไปสารที่อยู่บนดินหรือในดิน น้ำ พืช หรือสัตว์ จะระเหยและเข้าสู่อากาศ

ได้ เนื่องจากสารมีความดันไอสูง สารกลุ่ม BTEX มีค่าความดันไอยู่ระหว่าง 6.7-95.2 มิลลิเมตรปรอท จัดเป็นกลุ่มที่มีค่าความดันไอสูง สามารถระเหยได้ดี ถูกดูดซับในดินได้น้อย (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551) และจากค่าความดันไอของสารที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ตามข้อมูลในตารางที่ 1.1 พบว่า ความดันของเบนซีน > โทลูอิน > เอทิลเบนซีน > พี-ไซลีน > เอ็ม-ไซลีน > โอ-ไซลีน ตามลำดับ

กระบวนการสลายตัวเนื่องจากแสงแดด (Photolysis) สารเคมีสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากพลังงานจากแสงอาทิตย์ เกิดการเปลี่ยนรูปด้วยแสง (Photo Transform) เกิดขึ้นได้ทั้งในอากาศ ดิน และน้ำ ผลของกระบวนการเปลี่ยนรูปโดยพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ปริมาณสารที่พบลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับอัตราการสลายตัวของสารเนื่องจากแสงแดดสามารถใช้กำหนดปริมาณของสารในสิ่งแวดล้อมได้ จากตารางที่ 1.1 พบว่าสารกลุ่ม BTEX มีค่าครึ่งชีวิตอยู่ระหว่าง 0.5 ชั่วโมง ถึง 13.4 วัน ดังนั้นจึงประเมินว่าสารกลุ่มนี้อาจสลายตัวจากกระบวนการสลายตัวเนื่องจากแสงแดดได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีค่าครึ่งชีวิตของสารน้อยกว่า 30 วัน (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551)

2.5 ความเป็นพิษของสารกลุ่ม BTEX

สารกลุ่ม BTEX มีฤทธิ์ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เป็นอันตรายต่อไขกระดูก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ระบบประสาท และเป็นสารก่อมะเร็ง ด้วยเหตุนี้หากมีการรับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX เข้าสู่ร่างกายและเกิดการสะสมเป็นระยะเวลานานอาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่สัมผัสได้ โดยเฉพาะประชาชนที่มีอาชีพหรือทำกิจกรรมอยู่บริเวณริมถนน เช่น ตำรวจจราจร พนักงานเก็บค่าผ่านทาง มอเตอร์ไซด์รับจ้าง เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย ผู้ประกอบการริมถนน ประชาชนที่ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง รวมถึงประชาชนที่พักอาศัยอยู่ใกล้ถนน มีโอกาสได้รับสัมผัสสารกลุ่ม BTEX ที่ปล่อยออกจากไอเสียของยานพาหนะได้สูง สาร BTEX สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ช่องทาง คือ ทางการหายใจ, การสัมผัสทางผิวหนัง และการกลืนกิน

ความเป็นพิษของสารกลุ่ม BTEX หากสัมผัสหรือได้รับสารปริมาณมากในช่วงระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute Effect) เช่น ทำให้ผิวหนังบริเวณที่สัมผัสเกิดการระคายเคือง ส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง และระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น แต่หากได้รับสารติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการสะสมและเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Chronic Effect) เช่น เป็นอันตรายต่อเซลล์เม็ดเลือดแดง อันตรายต่อไขกระดูก และทำให้เกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013) สารกลุ่ม BTEX แต่ละชนิดแสดงความเป็นพิษแตกต่างกัน ดังนี้

2.5.1 เบนซีน (Benzene)

เบนซีน เป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ และเป็นส่วนประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม ประชาชนส่วนใหญ่ได้รับเบนซีน โดยการหายใจเอาอากาศที่ปนเปื้อนเบนซีนเข้าไป โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น และบริเวณรอบสถานีบริการน้ำมัน โดยจากการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่า เบนซีนเมื่อดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่ไขมสันและเยื่อไขมสัน เป็นสารที่มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ต่ำ แต่จากการศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity) พบว่าการได้รับเบนซีนเป็นระยะเวลานานมีผลทำให้เกิดพิษต่อไขกระดูกและการสร้างเม็ดเลือดทั้งในคนและสัตว์ โดยหน่วยงานวิจัยด้านมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer: IARC) จัดให้เบนซีนอยู่ในกลุ่มที่ 1 คือ เป็นสารก่อมะเร็งในคน เนื่องจากไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างเม็ดเลือดขาวมากกว่าปกติ ทำให้เกิดเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia) ได้ (IARC, 1987)

2.5.1.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity)

การสัมผัสเบนซีนที่ระดับความเข้มข้นสูงโดยการหายใจส่งผลให้เกิดการกดของระบบประสาทส่วนกลาง หัวใจเต้นผิดจังหวะ ทำให้เซื่องซึม หน้ามืด ตาลาย หายใจเร็ว ปวดศีรษะ ใจสั่น มึนงง หมดสติ และเสียชีวิต เนื่องจากระบบการหายใจล้มเหลว ส่วนการสัมผัสทางการกินที่ระดับความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดการเดินโซเซ คลื่นไส้ อาเจียน ภาวะอาหารระคายเคือง ปวด อักเสบ ชีพจรเต้นเร็ว หายใจเร็ว หน้ามืด ตาลาย สลิมสลือ มึนเมา ชัก หมดสติ และเสียชีวิต (US.EPA, 2013) เนื่องจากระบบประสาทส่วนกลางล้มเหลว การสัมผัสทางการกินที่ระดับความเข้มข้นสูง แต่ไม่สูงจนกระทั่งถึงชีวิตจะทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ การมองเห็นถูกรบกวน เกิดอาการคล้ายตื่นตื่น ซีด หน้าแดง หายใจขัด ปวดศีรษะ ล้า และง่วง และการสัมผัสเบนซีนโดยตรงทางผิวหนัง อาจทำให้เกิดรอยแดง ถ้าสัมผัสซ้ำๆ เป็นระยะเวลานาน มีความสัมพันธ์กับการเกิดผิวหนัง เป็นเกล็ดอักเสบ หรือเกิดการติดเชื้อร่วมด้วย ถ้าเบนซีนสัมผัสกับดวงตาอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายกระจกตาได้ นอกจากนี้ มีการศึกษาพบว่า การสัมผัสเบนซีนที่ระดับความเข้มข้น 10,000,000-20,000,000 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbV) สามารถทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 1 นาที หรือคนที่สัมผัสเบนซีน ทางการหายใจที่ระดับความเข้มข้นสูง (20,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm)) เสียชีวิตภายใน 5-10 นาที และการสัมผัสเบนซีนที่ระดับความเข้มข้น 300,000-3,000,000 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbV) ทำให้มีเมาน เซื่องซึม มึนงง หน้ามืด วิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ และใจสั่น เนื่องจากเบนซีนส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง หรือที่ระดับความเข้มข้น 250-500 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ วิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ และการสัมผัสเบนซีนที่ระดับความเข้มข้น 60,000 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbV) ทำให้เกิดการระคายเคืองตา ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ ตลอดจนผลกระทบต่อระบบเลือด

หรือถ้าสัมผัสที่ระดับความเข้มข้น 3,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ทำให้เกิดการระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจ (กระทรวงสาธารณสุข, 2555)

2.5.1.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Chronic Toxicity)

ความเป็นพิษจากการสัมผัสเบนซีนที่ระดับความเข้มข้นต่ำเป็นระยะเวลานานจะส่งผลกระทบต่อเม็ดเลือด เช่น เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว หรือเกร็ดเลือดลดลง นำไปสู่ภาวะไขกระดูกฝ่อ (Aplastic Anemia) มะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukopenia) ระดับเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกร็ดเลือดต่ำ (Pancytopenia) และภาวะเกล็ดเลือดต่ำ (Thrombocytopenia) ระบบภูมิคุ้มกันลดลง และอาจมีอาการปวดศีรษะเล็กน้อย คลื่นไส้ เบื่ออาหาร และไม่สบายท้อง หากมีความเป็นพิษรุนแรงอาจเกิดความอ่อนเพลีย การมองเห็นไม่ชัดเจน และหายใจลำบาก นอกจากนี้เยื่อเมือก (Mucous Membranes) และผิวหนังอาจซีด เลือดไหลไม่หยุด ส่งผลให้เกิดจุดเลือดออกเป็นจุด ๆ เกิดจ้ำเขียวได้ง่าย เลือดกำเดาไหล เลือดออกตามไรฟัน หรือประจำเดือนมามาก นอกจากนี้ยังพบว่าหากมีการสัมผัสอย่างต่อเนื่องที่ระดับความเข้มข้นมากพอ อาจก่อให้เกิดอารมณ์ครื้นเครง (Euphoria) เติบโต และ โคม่า และโอกาสการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้นถ้าสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเบนซีนที่มากกว่า 20,000 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbV) (US.EPA, 2013)

การศึกษาความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายในหลายๆการศึกษา พบว่าการสัมผัสเบนซีนส่งผลกระทบต่อระบบหรืออวัยวะต่างๆ ได้แก่ เลือด ไชกระดูก ตา ระบบหายใจ หู และระบบหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (กระทรวงสาธารณสุข, 2555; US.EPA, 2013) โดยมีผลกระทบต่อสุขภาพดังนี้

ความเป็นพิษต่อไขกระดูก การสัมผัสเบนซีนก่อให้เกิดการกดไขกระดูกและทำลายไขกระดูกแบบสะสม ส่งผลต่อความผิดปกติของเลือด ได้แก่ ระดับเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกร็ดเลือดต่ำ ไชกระดูกฝ่อ (Aplastic Anemia) เม็ดเลือดขาวลดต่ำ (Granulocytopenia Lymphocytopenia) และมะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia) เป็นต้น โดยผลกระทบจะขึ้นอยู่กับปริมาณระยะเวลาการสัมผัส และระยะของวิวัฒนาการของเซลล์ต้นกำเนิด เนื่องจากเบนซีนส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อส่วนที่สร้างเม็ดเลือด หากมีการสัมผัสเบนซีนที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ หรือสัมผัสเป็นระยะเวลานานสามารถก่อให้เกิดมะเร็งของอวัยวะสร้างเม็ดเลือด ซึ่งภาวะเช่นนี้ เรียกว่า มะเร็งเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดที่เรียกว่า มะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดไมอีลอยด์ (Acute Myeloid Leukemia) ตลอดจนทำให้ส่วนประกอบที่สำคัญของเลือดลดลง เช่น เม็ดเลือดแดง นำไปสู่การเกิดโลหิตจาง (กระทรวงสาธารณสุข, 2555; US.EPA, 2013)

ความเป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง การสัมผัสเบนซีนมีผลต่อการกดระบบประสาทส่วนกลาง ระบบประสาทส่วนกลางถูกรบกวน ปวดศีรษะ มึนงง เติบโต การหายใจระคายเคือง หายใจลำบากและเร็ว เมื่อยล้า เหนื่อยชา คลื่นไส้ เป็นลม หมดสติ และหลอดเลือดหัวใจล้มเหลว (กระทรวงสาธารณสุข, 2555; US.EPA, 2013)

ความเป็นพิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน การสัมผัสเบนซีนมากเกินไปสามารถส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยเพิ่มโอกาสการติดเชื้อ เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันลดลงจึงทำให้การทำงานของภูมิคุ้มกันผิดปกติ และจากหลายๆการศึกษา พบว่าคนงานที่สัมผัสกับเบนซีนมีการสูญเสียเม็ดเลือดขาว โดยอาการที่บ่งบอกแนวโน้มการเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว ประกอบด้วย ม้ามโต การสูญเสียเม็ดเลือดขาวและองค์ประกอบอื่นๆของเลือด นอกจากนี้จำนวนของทีเซลล์ลิมโฟไซต์ (T-cell Lymphocyte) ลดลงในคนงานที่สัมผัสกับเบนซีน โทลูอิน และไซลีน แบบเรื้อรัง (กระทรวงสาธารณสุข, 2555; US.EPA, 2013)

ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ ผู้หญิงที่สัมผัสกับเบนซีนทางการหายใจที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ อาจส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ โดยก่อให้เกิดความบกพร่องเกี่ยวกับการเจริญพันธุ์ในผู้หญิง ได้แก่ มีประจำเดือนไม่ปกติ เนื่องจากขนาดของรังไข่เล็กลง และตั้งครรภ์ยาก เนื่องจากการบาดเจ็บของอวัยวะสืบพันธุ์ นอกจากนี้การศึกษาในสัตว์ทดลองที่ตั้งครรภ์ พบว่าเบนซีนส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของตัวอ่อนในครรภ์ รวมถึงน้ำหนักตัวแรกเกิดต่ำ การสร้างกระดูกของทารกช้ากว่าปกติ และไขกระดูกถูกทำลาย (กระทรวงสาธารณสุข, 2555; US.EPA, 2013)

ความเป็นพิษต่อพันธุกรรม เบนซีนเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมพบว่าผู้ที่สัมผัสกับเบนซีนมีโครโมโซมและจำนวนโครโมโซมผิดปกติ โดยการศึกษาทางชีวภาพได้มีการเสนอให้เบนซีนเป็นสารที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางยีน (Genotoxic) โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดการหักของดีเอ็นเอ (DNA) (กระทรวงสาธารณสุข, 2555; US.EPA, 2013)

ความเป็นพิษในรูปของสารก่อมะเร็ง เบนซีนเป็นสารก่อมะเร็งในคน การศึกษาทางระบาดวิทยาและกรณีศึกษา พบว่าการสัมผัสกับเบนซีนมีความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดไมอีลอยด์ (Acute Myeloid Leukemia) และจากหลายๆการศึกษา พบว่าการสัมผัสเบนซีนแบบสะสมเป็นเวลานานมีความสัมพันธ์กับอัตราการเสียชีวิตอันเนื่องมาจากมะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia Cancer) หรือมีความเสี่ยงสูงในการเกิดภาวะไขกระดูกฝ่อ (Aplastic Anemia) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กระทรวงสาธารณสุข, 2555; US.EPA, 2013)

2.5.2 โทลูอิน (Toluene)

โทลูอินเป็นองค์ประกอบในสูตรผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ สามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ การกินและซึมผ่านผิวหนัง เมื่อทดสอบความเป็นพิษ พบว่ามีความเป็นพิษเฉียบพลันสูงกว่าเบนซีนส่วนความเป็นพิษเรื้อรังไม่ก่อให้เกิดความมินงแบบรุนแรงหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือด แต่จะก่อให้เกิดความไม่สัมพันธ์กันของการเคลื่อนไหว (Impairment of Co-Ordination) และระบบประสาทสัมผัสไม่ดี ซึ่งมีผลทำให้เกิดการอุบัติเหตุหกล้มได้ง่าย นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง และผิวหนังอักเสบ (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.5.2.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)

ไอระเหยของโทลูอีนทำให้ระคายเคือง จมูก คอ และทางเดินหายใจ มีอาการไอ หลอดลมตีบ แน่นหน้าอก และปอดบวม น้ำ การสัมผัสที่ผิวหนังทำให้ผิวแห้ง แดง เกิดผื่นแพ้ และ ตุ่มน้ำขึ้น หากเข้าตาจะทำให้ระคายเคืองตา ถ้าอาการหนักอาจเกิดเยื่อตาขาวบวม (Conjunctival Hyperaemia) และกระจกตาบวมได้ (Corneal Edema) มีฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจเต้นผิด จังหวะ เป็นเหตุให้ผู้สัมผัสปริมาณสูงอาจเสียชีวิตแบบฉับพลันได้ (Sudden Death) มีฤทธิ์กด ประสาททำให้หงวซึม มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน ความรู้สึกตัวลดลง ชัก ความดันตก และหมดสติได้ การศึกษาทางระบาดวิทยา พบว่าการสัมผัสเสี่ยงดังร่วมกับโทลูอีนทำให้มีโอกาสเกิดประสาทรู เสื่อมจากเสี่ยงดังได้มากขึ้น (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.5.2.2 ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)

การสัมผัสในระยะยาว เช่น ในคนคอกาว หรือจากการทำงานที่ไม่มีการควบคุม สภาพแวดล้อมที่ดีพอจะทำให้มีอาการมึนเมา อ่อนเพลีย ปวดหัว วิงเวียน เบื่ออาหาร ความจำไม่ดี ความสามารถในการคิดคำนวณไม่ดี อาการทางสมองนี้สามารถเป็นอย่างถาวรได้ กล้ามเนื้ออ่อนแรง ตับเสื่อม ไตเสื่อม (Renal Tubular Acidosis) ระดับเกลือแร่ในเลือดผิดปกติ (Hypokalemia) และการ คั่งสุราจะทำให้การกำจัดโทลูอีนออกจากร่างกายทำได้น้อยลง ดังนั้นคนงานที่ทำงานสัมผัสโทลูอีน จึงไม่ควรดื่มสุรา เพราะจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดพิษโทลูอีนได้ (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.5.3 เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)

เอทิลเบนซีนใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยา สิ่งพิมพ์ สารกำจัดศัตรูพืช อุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมทั้งใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารเอทิลเบนซีนได้แก่ การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ควัน บุหรี่ รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยผลการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่าเอทิลเบนซีนทำให้เกิดมะเร็งที่ปอด ตับ และไต ซึ่งหน่วยงานวิจัยด้านมะเร็งนานาชาติ (IARC) จัดให้เอทิลเบนซีนอยู่ในกลุ่ม 2B คือเป็นสารที่มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (ATSDR, 2014; US. EPA, 2013)

2.5.3.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)

การสัมผัสผ่านทางหายใจ ทำให้เกิดการระคายเคืองที่ลำคอและอาการแน่น หน้าอก และกระบบประสาทส่วนกลาง เช่น เวียนศีรษะ หากสัมผัสกับผิวหนังหรือตา ทำให้เกิด การระคายเคืองของตา กรณีศึกษาในสัตว์ทดลองโดยให้สูดดมอย่างเฉียบพลันมีรายงาน พบว่ามีพิษ ต่อระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) ส่งผลกระทบต่อปอด และส่งผลกระทบต่อไตและตา (ระคายเคือง) (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.5.3.2 ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)

ทำให้ตับและไตทำงานผิดปกติความจำเสื่อม อ่อนล้า นอนไม่หลับ แขนและขาไม่มีแรง ปวดศีรษะ ผิวหนังแห้งและแตก เกิดการสั่นกระตุก (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.5.4 ไซลีน (Xylene: *o*-Xylene, *m*-Xylene, *p*-Xylene)

ไซลีนเกิดจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ ไซลีนส่วนใหญ่เข้าสู่ร่างกายโดยการดูดซึมผ่านทางผิวหนังและการหายใจ ความเป็นพิษเฉียบพลันรุนแรงกว่าเบนซีนและโทลูอีน โดยทำให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนังอย่างรุนแรง เมื่อเข้าสู่ปอดจะสามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ สำหรับการได้รับพิษแบบเรื้อรังจะมีอาการคล้ายคลึงกับอาการที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสแบบเฉียบพลัน คือมีอาการผิวน้ำหนักอึกเสบ แห้งเยื่อตาอึกเสบ สั่นกระตุก เป็นต้น (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.5.4.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)

ไซลีนเป็นตัวทำละลายที่ระเหยได้ดี การสัมผัสเข้าสู่ร่างกายจึงเกิดได้ดีทั้งทางการกิน ซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ โดยการสัมผัสที่ปริมาณสูงจะทำให้เกิดอาการต่อระบบการทำงาน และที่สำคัญคือ มีฤทธิ์กดระบบประสาท (CNS Depression) ทำให้วิงเวียน อาจกระวนกระวายหรือซึมลง เดินเซ ความจำไม่ดี คลื่นไส้ ถ้ารุนแรงมากอาจเกิดการหายใจ สับสน และทำให้โคม่าได้ อาจทำให้เกิดภาวะที่มีพีเอซในเลือดต่ำกว่าปกติ (Metabolic Acidosis) ระดับเกลือโพแทสเซียมในเลือดต่ำ (Hypokalemia) ระดับไบคาร์บอเนตในเลือดต่ำ (Hypobicarbonataemia) หรือระดับฟอสเฟตในเลือดต่ำ (Hypophosphataemia) อาจทำให้เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะอันจะนำไปสู่การเสียชีวิตได้ ทำให้ดับอึกเสบและไตวายเฉียบพลัน (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.5.4.2 ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)

การสัมผัสที่ผิวหนังระยะยาวจะทำให้เกิดผื่นแพ้ ตุ่มน้ำ ผิวลอก และเนื้อตาย การสูดดมระยะยาวจะทำให้เมาคล้ายคนดมกาว คือ อารมณ์ดีผิดปกติ (Euphoria) ความจำไม่ดี อารมณ์แปรปรวน อาจระคายเคืองทางเดินหายใจทำให้ไอบ่อย หลอดลมอึกเสบได้ หากได้รับไซลีนร่วมกับแอลกอฮอล์การกำจัดไซลีนออกจากร่างกายจะทำได้ช้าลง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ผู้ที่ทำงานสัมผัสสารนี้จึงไม่ควรดื่มสุราเป็นประจำจะทำให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นพิษไซลีนมากขึ้น (ATSDR, 2014; US.EPA, 2013)

2.6 การกำหนดค่ามาตรฐานของสารกลุ่ม BTEX ที่อนุญาตให้มีได้ในบรรยากาศ

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดค่ามาตรฐานเบนซีนในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 30 (พ.ศ.2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี (ประกาศในราชกิจจานุเบกษา)

นุเบกษา เล่มที่ 124 ตอนพิเศษ 143 ง วันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2550) ต้องไม่เกิน 1.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่องกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง พ.ศ. 2551 (ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 126 ตอนพิเศษ 13 ง) กำหนดค่ามาตรฐานเบนซีน ต้องไม่เกิน 7.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประเทศไทยยังไม่กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณการปนเปื้อนโทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน ในบรรยากาศทั่วไป

ประเทศญี่ปุ่นกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของเบนซีน โดยมีค่าเฉลี่ยรายปีไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Amagai et al., 2002) และในยุโรปกำหนดค่าให้มีค่าเท่ากับ 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และองค์การอนามัยโลกได้กำหนดค่าให้เบนซีนเป็นสารที่ไม่มียาระดับความปลอดภัย โดยกำหนดค่าเฉลี่ยของเบนซีนที่ปนเปื้อนในบรรยากาศเขตเมืองอยู่ระหว่าง 5-20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (WHO, 2000)

อย่างไรก็ตาม หน่วยงานด้านความปลอดภัยและสุขภาพในการประกอบอาชีพทั้งในประเทศไทยและสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่ามาตรฐานของสารกลุ่ม BTEX ที่อนุญาตให้มีได้ในบรรยากาศของสถานประกอบการ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 รวมถึงประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารในเวลา 24 ชั่วโมงของโทลูอินและไซลีนเท่ากับ 260 และ 870 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (Amagai et al., 2002)

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในสถานประกอบการของสารกลุ่ม BTEX

(“ประกาศกระทรวงมหาดไทย”, 2520; ACGIH, 2017; NIOSH, 2016; OSHA, 2016)

สารมลพิษ	ความเข้มข้นของสาร (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
	ไทย	ACGIH		OSHA		NIOSH	
	ค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ	TLV	STEL	TWA	STEL	TWA	STEL
เบนซีน	10	0.5	2.5	1	5	0.1	1
โทลูอิน	200	20	-	10	150	100	150
เอทิลเบนซีน	-	20	-	5	30	100	125
โอ-ไซลีน	100	100	150	100	150	100	150
เอ็ม-ไซลีน	100	100	150	100	150	100	150
พี-ไซลีน	100	100	150	100	150	100	150

งานวิจัยจากยุโรป อเมริกา เอเชีย และประเทศไทยมีรายงานปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มสาร BTEX ในบรรยากาศทั่วไปที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะในเขตพื้นที่เมืองแตกต่างกันไปตามพื้นที่และสภาพแวดล้อม โดยเบนซีนมีค่าค่อนข้างสูงในประเทศเวียดนาม (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ

สถานที่	ปริมาณความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						อ้างอิง
	เบนซีน	โทลูอีน	เอทิลเบนซีน	เอ็ม-ไซลีน	พี-ไซลีน	โอ-ไซลีน	
Antwerp, Belgium	2.5	9.5	1.6		3.4	1.3	Buczynska et al., (2009)
Zabrze, Poland	2.8	5.0	NA		3.5	1.2	Pyta, (2006)
Ioannina, Greece	11.3-40.5	19.7-101.1	NA		12.5-52.0		Pilidis et al., (2005)
Flnacora, Italy	3.3	10.8	NA	NA	14.5	NA	Santis et al., (2004)
Tempa	0.23	NA	NA	NA	NA	NA	Fridh and Stuart, (2014)
Paris, France	1.1-4.5	NA	NA	NA	NA	NA	Vardoulakis et al., (2005)
Christchurch Riccarton Road	12.1	31.8	5.4	28.1	NA	NA	Gunatilaka, (2003)
Manchester Street	7.2	21.8	3.8	19.0	NA	NA	

หมายเหตุ ND = Not Detected, NA = Not Analyzed

ตารางที่ 2.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ (ต่อ)

สถานที่	ปริมาณความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						อ้างอิง
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิล	เอ็ม-ไซ	พี-ไซ	โอ-ไซ	
			เบนซีน	ลีน	ลีน	ลีน	
Algiers, Algeria	27.1	39.2	6.3		19.2	7.6	Kerbachi et al., (2006)
Hat Yai,	1.0-5.4	4.3-80.3	NA		ND-66.7		Thammakhet et al., (2006)
Phuket							Worawit, (2012)
Phuket Town	ND-0.93	0.54-16.69	0.28-7.38		1.24-31.46		
Patong Beach	ND-0.55	0.84-17.74	0.28-3.98		1.82-19.26		
Bangkok							Pakanon, (2011)
Victory Monument	5.58-13.41	15.33-48.66	1.58-3.58	2.56-7.25	NA	2.21-8.64	
Din Dang Housing Authority	9.39-14.21	24.89-37.29	2.11-3.31	4.60-6.94	NA	3.38-4.94	
Siam Square	17.91-30.91	64.21-180.14	3.77-11.11	9.11-20.83	NA	6.21-13.28	
Hua Lampong	8.74-10.60	27.27-36.04	2.07-3.35	5.94-24.82	NA	2.56-4.25	
Railway Station							

หมายเหตุ ND = Not Detected, NA = Not Analyzed

ตารางที่ 2.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ (ต่อ)

สถานที่	ปริมาณความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						อ้างอิง
	เบนซีน	โทลูอีน	เอทิลเบนซีน	เอ็ม-ไซลีน	พี-ไซลีน	โอ-ไซลีน	
Hanoi (Street)							Truc and
Truong Chinh	65	62	15	43	22	NA	Kim Oanh,
Dien Bien Phu	30	38	9	26	13	NA	(2007)
Nguyen	123	87	24	56	30	NA	
Ho Chi Minh	87	NA	NA	NA	NA	NA	Lan and
Hanoi	52	NA	NA	NA	NA	NA	Binh,
Cantho	32	NA	NA	NA	NA	NA	(2012)
Danang	23	NA	NA	NA	NA	NA	
Hue	13	NA	NA	NA	NA	NA	Lan and
Vung Tau	12	NA	NA	NA	NA	NA	Binh,
Kuala Lumpur	48	NA	NA	NA	NA	NA	(2012)
Singapore	6.9	NA	NA	NA	NA	NA	
Nanjing	5.6	NA	NA	NA	NA	NA	
Kyoto	2.3	NA	NA	NA	NA	NA	
Osaka	2.1	NA	NA	NA	NA	NA	
Yokohama	1.13-2.38	1.23-8.95	0.12-0.88		0.23-0.46		Lee et al.,
Hong Kong	2.8-15.1	4.6-139.4	2.2-24.7		2.7-27.9		(2002)

หมายเหตุ ND = Not Detected, NA = Not Analyzed

2.7 การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ

การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย กลุ่มสาร BTEX ในบรรยากาศนั้นทำได้โดยการการวัดโดยตรง หรือเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่ศึกษาแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ การเก็บตัวอย่างอากาศสามารถทำได้ 2 แบบ ดังนี้

2.7.1 แบบแอคทีฟ (Active Sampling)

วิธีการนี้เป็นการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง เช่น ถังคานิสเตอร์ หรือใช้ปั๊มดูดอากาศให้ไหลผ่านภาชนะ เช่น ขวดหรือถุงสุญญากาศ รวมถึงหลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุสารดูดซับชนิดต่างๆ เพื่อเก็บตัวอย่างสารที่ต้องการตรวจสอบแล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

การเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟ มีข้อดี คือ ใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างไม่นาน แต่มีข้อเสีย คือ กรณีใช้ปั๊มดูดอากาศจำเป็นต้องใช้พลังงานและกระแสไฟฟ้า ทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้งและการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ต่าง ๆ รวมทั้งเครื่องมือมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ราคาแพง

2.7.2 แบบพาสซีฟ (Passive Sampling)

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเป็นอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างที่ถูกคิดค้นขึ้นและได้มีการจดสิทธิบัตรเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1927 โดย Gordon และ Lowe ในการติดตามตรวจสอบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้หลอดแก้วบรรจุสารละลายเกลือและพัลลาเดียมคลอไรด์ (Palladium Chloride) และใช้การเปลี่ยนสีเป็นตัวบอกระดับของคาร์บอนมอนอกไซด์ (Gordon and Lowe, 1927) แนวความคิดของ Gordon และ Lowe ถูกขยายผลต่อโดย Plantz et al. (1960) พัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเพื่อตรวจวัดไฮดราซีน (Hydrazine Unsymmetrical Dimethylhydrazine) และโมโนเมทิลไฮดราซีน (Monomethylhydrazine) โดยการทำปฏิกิริยาสารประกอบเหล่านี้กับสารประกอบที่ทำให้เกิดสี (Bidone) จนเกิดสีม่วง โดยสีที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการตรวจวัดและความเข้มข้นของสารในการตรวจวัด อย่างไรก็ตาม หลังจากที่มีการพัฒนาอุปกรณ์ในการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟที่อยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์การตรวจวัดกึ่งปริมาณ ในลำดับต่อมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในรูปแบบของอุปกรณ์การตรวจวัดเชิงปริมาณ (Quantitative Device) โดยใช้ทฤษฎีการแพร่ (Diffusion) และทฤษฎีการซึมผ่าน (Permeation) ชั้นอากาศที่หุุดนึ่งโดย Palmes and Gunnison (1973) ได้ทำการคิดค้นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการแพร่ของแก๊สเพื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ และงานวิจัยฉบับนี้ได้ถูกขยายผลต่อโดย Palmes และ Gunnison ในปี ค.ศ. 1976 ในการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ส่วนบุคคล ในปี ค.ศ. 1977 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สแบบแผ่นเหนียวถูกผลิตขึ้นในเชิงพาณิชย์สำหรับการใช้ในการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับ และในปี ค.ศ. 1990 การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแบบพาสซีฟได้มีการพัฒนามากขึ้น เช่น มีวิธีการ

ตรวจสอบการใช้งานได้ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายระดับ สารดูดซับที่ใช้มีความเฉพาะเจาะจงกับสารมลพิษที่ต้องการศึกษา และใช้การผ่านความร้อน (Thermal Desorption) ในการสกัดสารมลพิษ เพื่อสามารถตรวจวัดในระดับส่วนในพันล้านส่วน เป็นต้น หลังจากนั้นในปี ค.ศ.2011 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีผู้สนใจนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดแก๊สชนิดอื่นอย่างกว้างขวาง เช่น โอโซน เบนซีน แอมโมเนีย ฟอรัลดีไฮด์ เป็นต้น รวมทั้งมีการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนทั้งในดินและน้ำเพิ่มอีกด้วย (สุทัตสา วงศ์ราช, 2553)

การพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในช่วงผ่านมา ทำให้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟนี้มีหลายรูปแบบในปัจจุบัน วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟมีข้อดี ดังต่อไปนี้

- ก. วิธีการใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากหรือซับซ้อน
- ข. ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้ปั๊มในการเก็บตัวอย่าง
- ค. ปราศจากเสียงรบกวนจากการทำงานของปั๊ม
- ง. อุปกรณ์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
- จ. เคลื่อนย้ายสะดวก สามารถนำไปตรวจวัดหรือติดตั้งในสถานที่ต่างๆ ได้
- ฉ. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ
- ช. สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เหตุผลเหล่านี้ทำให้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟมีการใช้งานแพร่หลาย และนำมาใช้เพื่อตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของแก๊สมลพิษที่ปนเปื้อนในบรรยากาศ เช่น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอมโมเนีย ไอระเหยของกรดในตริก รวมถึงสารอินทรีย์ระเหยง่ายและแก๊สชนิดอื่นที่มีระดับความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ส่วนในพันล้านส่วน

2.8 ทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ

ทฤษฎีที่ใช้ออกแบบและการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ มี 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีการซึมผ่าน (Permeation) และทฤษฎีการแพร่ (Diffusion)

2.8.1 ทฤษฎีการซึมผ่าน (Permeation) ใช้การเคลื่อนที่ของแก๊สผ่านแผ่นเมมเบรน โดยการรับเข้าของแก๊สขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีและแผ่นเมมเบรน การรับเข้าของแก๊สเป็นฟังก์ชันกับค่าคงที่ของการซึมผ่านความเข้มข้นของแก๊สในบรรยากาศและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ทฤษฎีการซึมผ่านได้นำมาใช้ประโยชน์ในกรณีที่ต้องการตรวจวัดมลสารในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษ สารระเหยหรือแก๊สชนิดอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่กับแก๊สที่ต้องการตรวจวัด หรือเมื่อตัวกลางที่ใช้เป็นของเหลว การแยกเก็บแก๊สเฉพาะที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษกรอง สารเคมีที่ดูดจับ

บนกระดาษกรอง และสารดูดซับที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง โดยจะมีค่าการซึมผ่านสูงต่อแก๊สที่ทำการตรวจวัด แต่ไม่ซึมผ่านสารอื่นในบรรยากาศ (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

2.8.2 ทฤษฎีการแพร่ (Diffusion) ทฤษฎีการแพร่เป็นทฤษฎีที่กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารผ่านความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (Concentration Gradient) หรือการแพร่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ ในเงื่อนไขสภาวะคงตัว การเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเป็นการรับเข้าของมลสารที่ถูกควบคุมด้วยพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ และสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมลสาร โดยอัตราการเก็บตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การแพร่ พื้นที่หน้าตัด และความยาวของเส้นทางการแพร่ ซึ่งอธิบายได้จากกฎการแพร่ข้อที่หนึ่งของฟิค (Fick's First Law of Diffusion) ดังแสดงในสมการที่ (1) (Nollet, 2006) และรูปที่ 2.1 ที่แสดงกระบวนการแพร่กระจายของมลสารตามกฎการแพร่ข้อที่หนึ่งของฟิค

$$\frac{dM_i}{dT} = \left(\frac{D_i A}{L} \right) (C_{i_0} - C_i) \quad (1)$$

โดย M_i = มวลของสารประกอบ i ที่ถูกดูดซับอยู่บนสารดูดซับ (ไมโครกรัม)

T = ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (วินาที)

D_i = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารประกอบ i ในสารดูดซับ (ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

L = ความยาวของเส้นทางการแพร่ (Diffusion Path) ของสารประกอบ (เซนติเมตร)

C_{i_0} = ความเข้มข้นของสารประกอบ i ในบรรยากาศ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

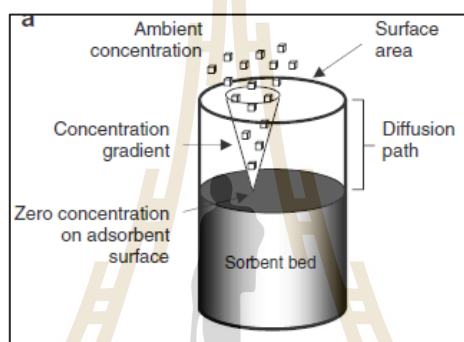
C_i = ความเข้มข้นของสารประกอบ i ในสารดูดซับ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

สมมติให้สารดูดซับทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ($C_i = 0$) ไม่มีความแปรปรวนของความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ จากสมการที่ (1) สามารถจัดเรียงสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (2)

$$C_{i_0} = \left(\frac{M_i}{T \times U_i} \right) \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) ถ้าทราบขนาดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (L/A) ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (T) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_i) สามารถหาค่าความเข้มข้นของมลสารได้ และยังสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ได้ด้วย (หรือใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ได้จากงานวิจัย

ที่ผ่านมา) ค่า L , A และ D_i ที่อยู่ในรูป $D_i A/L$ เรียกว่า อัตราการดูดซับ (Uptake Rate; U_i) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายหลายปัจจัยที่อาจเกี่ยวข้องกับสถานะของบรรยากาศที่จุดตรวจวัด โดยความเข้มข้นของสารบนผิวของสารดูดซับจะไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้นสารประกอบจะถูกเก็บสะสมในผิวของสารดูดซับจนกระทั่งอยู่ในสถานะอิมิตวาระหว่างภายใน (Inner) และภายนอก (Outer) แพร่มาถึงกัน ซึ่งความเข้มข้นของสารประกอบจะเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการดูดซับลดลง โดยการลดลงของอัตราการดูดซับเกิดจากการลดลงของผลต่างของความเข้มข้น ($C_{i0} - C_i$) ดังนั้นสมการที่ (2) ใช้สำหรับประเมินความเข้มข้นของสารประกอบในบรรยากาศที่มีการจำกัดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง เพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการดูดซับเริ่มต้น



รูปที่ 2.1 กระบวนการแพร่กระจายของมลสารตามกฎการแพร่ข้อที่หนึ่งของฟิกค์ (Ras et al., 2009)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่นำมาใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสาร สามารถใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณหรือใช้ค่าที่ได้จากการทดลองที่สถานะ 25 องศาเซลเซียส และความดันอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ที่ได้จากการสังเกตและจากการคำนวณของสารกลุ่ม BTEX

ตารางที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารกลุ่ม BTEX

(Danish EPA, 2002)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)
เบนซีน	0.093
โทลูอีน	0.085
เอทิลเบนซีน	0.076
เอ็ม-ไซลีน	0.069

ตารางที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารกลุ่ม BTEX (ต่อ)
(Danish EPA, 2002)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)
พี-ไซลีน	0.067
โอ-ไซลีน	0.073

2.9 ส่วนประกอบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ ประกอบด้วยส่วนที่เปิดรับแก๊สมลพิษและส่วนประกอบที่เป็นพื้นที่สำหรับเก็บสารดูดซับ มีหลักการทำงานโดยอาศัยหลักการแพร่ของโมเลกุลของแก๊สมลพิษผ่านส่วนประกอบที่เป็นช่องเปิดและแพร่ผ่านตะแกรงสแตนเลสโดยมีอัตราเก็บตัวอย่างคงที่ แก๊สมลพิษจะถูกจับด้วยสารดูดซับที่มีความจำเพาะเจาะจงกับสารที่ตรวจวัด ดังนั้นส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟมี 3 ส่วนหลัก ดังนี้

2.9.1 ส่วนเปิดรับแก๊สมลพิษ เป็นส่วนที่เป็นช่องเปิด เพื่อให้แก๊สมลพิษที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศแพร่ผ่านเข้าสู่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างตามกฎการแพร่ข้อที่หนึ่งของฟิกค์ (Fick's First Law of Diffusion) โดยขนาดพื้นที่หน้าตัดและความยาวของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟจะมีผลต่ออัตราการดูดซับ (Uptake Rate) ดังสมการที่ (3)

$$U = \frac{D_i A}{L} \quad (3)$$

โดย U = อัตราการดูดซับ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)
 D_i = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารประกอบ i ในสารดูดซับ
 (ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)
 A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)
 L = ความยาวของเส้นทางการแพร่ (Diffusion Path) ของสารประกอบ (เซนติเมตร)

ดังนั้นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีรูปแบบที่แตกต่างกันจะมีอัตราการดูดซับ (Uptake Rate) และประสิทธิภาพในการตรวจวัดแก๊สมลพิษที่แตกต่างกัน (สุทัสสา วงศ์ราช, 2553) ดังข้อมูลในตารางที่ 2.6 ที่แสดงให้เห็นอัตราการดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 2.6 อัตราการดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์
(MDHS 88, 1997)

สารอินทรีย์ระเหย	อัตราการดูดซับ (Uptake Rate) (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)			
	Drager ORSA-5	3M 3500/20	SKC 575-001	Radiello
เบนซีน	6.44	35.5	16.0	80
โทลูอิน	5.72	31.4	14.5	74
เอทิลเบนซีน	5.20	27.3	12.9	-
เอ็ม-ไซลีน	5.03	27.3	12.5	61
พี-ไซลีน	5.04	28.9	12.8	61
โอ-ไซลีน	5.45	27.3	11.9	61

2.9.2 ส่วนที่เป็นพื้นที่สำหรับเก็บสารดูดซับ (Absorption Chamber) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการบรรจุสารที่ใช้ในการดูดซับแก๊สมลพิษ โดยสารดูดซับจะแตกต่างกันตามชนิดของแก๊สมลพิษที่ต้องการตรวจวัด เช่น การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย อาจจะใช้ถ่านกัมมันต์ หรือ Tenax TA[®] เป็นสารดูดซับ เป็นต้น สำหรับวัสดุที่ใช้ทำส่วนที่เป็นพื้นที่สำหรับเก็บสารดูดซับอาจทำจากพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) แก้ว (Glass) หรือพอลิเอไมด์ (Polyamide) (Lan and Binh, 2012)

2.9.3 แผ่นตะแกรงสแตนเลส (Stainless Steel) เป็นส่วนประกอบที่ช่วยในการควบคุมอัตราการเก็บตัวอย่างให้คงที่ และใช้ในการป้องกันแมลงหรือฝุ่นละออง ซึ่งส่งผลกระทบต่อกรนำไปวิเคราะห์ โดยส่วนประกอบส่วนนี้อาจจะแตกต่างกันไปในแต่ละบริษัทที่ทำการผลิต อาจมีตะแกรงสแตนเลส (Stainless Steel Mesh) และกระดวยกรองเทฟลอน หรืออาจมีเพียงกระดวยกรองเท่านั้น อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟมีการผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศ เช่น อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสำหรับสารอินทรีย์ไอระเหยของยี่ห้อ SKC ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแผ่นเมมเบรนเคลือบด้วยสารละลายดูดซับ และอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟแบบหลอดซึ่งบรรจุสารดูดซับไอสารอินทรีย์ของยี่ห้อ Ogawa เป็นต้น (สุทศธา วงศ์ราช, 2553)

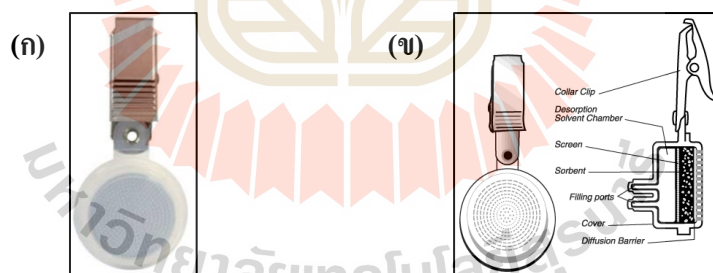
2.10 ชนิดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟมีการวิจัยและพัฒนาหลายชนิดเพื่อหาคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างอากาศให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผลของวิธีมาตรฐานมากที่สุด รวมทั้งสามารถนำอุปกรณ์ไปตรวจวัดยังสถานที่ต่าง ๆ ได้ทั้งในเขตชุมชนที่มีการจราจรหนาแน่น

และเขตชนบทที่มีปริมาณของสารมลพิษต่ำ การพัฒนาลักษณะรูปร่างของตัวอุปกรณ์ขึ้นอย่าง ต่อเนื่อง ถ้าอุปกรณ์มีรูปร่างที่แตกต่างกันจะทำให้อัตราการเก็บตัวอย่างและประสิทธิภาพในการ ตรวจวัดแก๊สมลพิษแตกต่างกันตามไปด้วย เมื่อแบ่งชนิดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟตาม ลักษณะรูปร่างสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ชนิดแผ่นเหน็บ (Badge Type) กับชนิดหลอด (Tube Type) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.10.1 ชนิดแผ่นเหน็บ (Badge Type)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แผ่นไมโครพอร์ส (Microporus Membrane) ในการแยกสิ่งเจือปนออก ก่อนที่สารตัวอย่างจะเข้าไปถูกจับด้วยสารดูดซับ ซึ่งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดแผ่นเหน็บมีความยาว ของเส้นทางการแพร่ (Diffusive Path Length) สั้น มีอัตราการดูดซับ (Uptake Rate) สูง เนื่องจากมี พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ (Cross-Sectional Area) กว้าง สอดคล้องกับคำนิยามของอัตรา การดูดซับที่กำหนดไว้ คือ อัตราการดูดซับมีสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัดและแปรผกผันกับ ความยาวของเส้นทางการแพร่ และความเร็วลมมีผลต่ออุปกรณ์ชนิดนี้น้อยกว่าชนิดหลอด (Tube Type) โดยหลักการทำงานในการเก็บตัวอย่างอากาศอาศัยการแพร่กระจายของโมเลกุลแก๊สจากความ เข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ แก๊สถูกดูดซับด้วยสารดูดซับ อุปกรณ์ชนิดนี้มีความไวในการเก็บ อากาศสูงเมื่อเทียบกับชนิดหลอด (Nolle, 2006) ในรูปที่ 2.2 แสดงรูปร่าง และ โครงสร้างของ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดแผ่นเหน็บที่มีขายในเชิงพาณิชย์

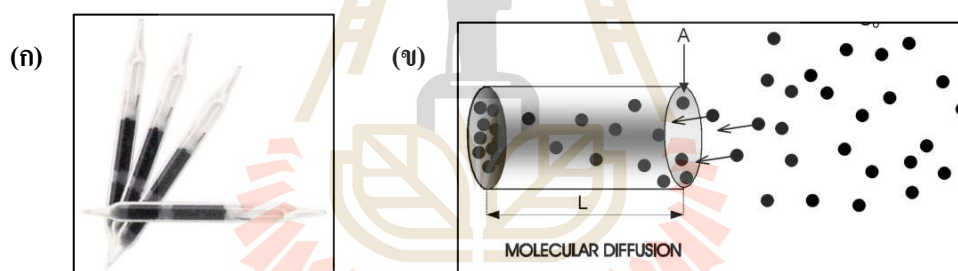


รูปที่ 2.2 (ก) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive Sampler) ชนิดแผ่นเหน็บ (Badge Type) และ (ข) ลักษณะ โครงสร้างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดแผ่นเหน็บ สำหรับตรวจวัด สารอินทรีย์ระเหยง่าย (SKC Inc., 2014)

2.10.2 ชนิดหลอด (Tube Type)

มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก (Tubular) ภายในบรรจุสารดูดซับ โดยอุปกรณ์ชนิดนี้นิยม นำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ ซึ่งใช้ปั๊มดูดอากาศในการเก็บตัวอย่าง และได้รับความนิยม ในการนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน

และมีความถูกต้องสูงกว่าชนิดแผ่นเหน็บ (Van Reeve et al., 1998) รวมทั้งวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดสามารถหาได้ง่าย ราคาต่ำ และขั้นตอนในการทำไม่ยุ่งยากซับซ้อนเมื่อเทียบกับชนิดแผ่นเหน็บที่ต้องอาศัยเครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่น แม่พิมพ์ หรือเครื่องกลึงช่วยในการสร้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างให้เป็นไปตามโครงร่างที่กำหนด มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า หลักการทำงานในการเก็บตัวอย่างอากาศของอุปกรณ์ชนิดนี้อาศัยการแพร่กระจายของโมเลกุลแก๊สในบรรยากาศโดยรอบอุปกรณ์จากความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ แก๊สถูกดูดซับด้วยสารดูดซับที่บรรจุอยู่ภายในหลอดเก็บตัวอย่าง ซึ่งอัตราการดูดซับแก๊สมลพิษของอุปกรณ์ชนิดหลอดถูกควบคุมโดยความยาวของเส้นทางการแพร่ (Diffusive Path Length) และพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ (Cross-Sectional Area) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดหลอดมีความยาวของเส้นทางการแพร่สูง มีพื้นที่หน้าตัดแคบ ทำให้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดหลอดนี้มีความไวในการเก็บอากาศต่ำกว่าเมื่อเทียบกับชนิดแผ่นเหน็บ โดยมีความยาวของเส้นทางการแพร่เป็น L และมีพื้นที่หน้าตัดของทรงกระบอก (พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่) เป็น A ซึ่งสัดส่วนระหว่าง $L : A$ ที่มีค่าเป็น $7 : 1$ จะช่วยลดผลของความเร็วลมที่มีต่ออัตราการดูดซับได้ (Nollet, 2006) (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 (ก) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive Sampler) ชนิดหลอด (Tube Type) สำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย และ (ข) ลักษณะโครงสร้างการกระจายของสารในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive Sampler) ชนิดหลอด (Tube Type) (SKC Inc., 2014)

นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟที่นิยมใช้ในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ทั้งที่มีขายในเชิงพาณิชย์และที่สร้างขึ้นมาเอง ซึ่งมีขนาดและวัสดุที่ใช้ในการผลิตที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

ชนิด	ขนาด	สารดูดซับ	วัสดุที่ใช้ ผลิต	เครื่องมือ วิเคราะห์	อ้างอิง
Ultra I (Badge Type)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง 3.5 ซม. หน้า 1.5 ซม.	Tenax TA, Chromosorb106, Anasorb GCB1, Carbopack X	พาสติกโพลี เอทิลีน	Thermal Desorption, GC-FID	SKC. Inc., (2014)
SKC 575 Series (Badge Type)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง 3.5 ซม. หน้า 1.5 ซม.	575-001: Charcoal, 350 mg 575-002: Anasorb, 747, 500 mg 575-003: Anasorb 727, 300 mg	ไนลอน (Nylon)	Solvent Desorption, GC-FID	SKC. Inc., (2014)
Lanwatsu (Badge Type)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ภายนอก 30 มม. ภายใน 26 มม. หน้า 9 มม.	Activated Charcoal, 220 mg	พาสติกโพลี เอทิลีน	Solvent Desorption, GC-FID	Lan and Binh, (2012)
OVM Samplers 3520, 3500 (Badge Type)	พื้นที่หน้าตัด ~ 7.07 ตร.ซม. ระยะเวลาแพร่ ~ 1 ซม.	Permeable Membrane, Activated Charcoal Pad, 180 mg	พลาสติก	Solvent Desorption, GC-FID	Partyka et al., (2007)
TOPAS (Badge Type)	พื้นที่หน้าตัด 5.25 ตร.ซม.	Tenax	อะลูมิเนียม	Thermal Desorption, GC-MS	Partyka et al., (2007)
Analyst (Badge Type)	ขนาด 20 x 20 มล.	Activated Charcoal, 400 mg	แก้วรูป ทรงกระบอก	Solvent Desorption, GC-FID	Partyka et al., (2007)

ตารางที่ 2.7 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX (ต่อ)

ชนิด	ขนาด	สารดูดซับ	วัสดุที่ใช้ผลิต	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
Radiello (Tube Type)	ยาว 50 มม. หนา 1.75 มม.	Activated Charcoal, 530 ± 30 mg (30-50 Mesh)	พลาสติก โพลี เอทิลีน	Solvent or Thermal Desorption, GC-FID or MS	Radiello.Inc, (2012)
ORSA-5 (Tube Type)	-	Activated Charcoal, 300-400 mg	-	Solvent Desorption, GC-FID	Partyka et al., (2007)
Perkin-Elmer (Tube Type)	90 x 6.3 x 5.0 มล.	Tenax TA, Tenax GR, Carbopack B, Chromosorb 106	-	Thermal Desorption, GC-MS or FID	Partyka et al., (2007)
Laboratory- Built Passive Sampler (Tube Type)	67.6 x 10.6 มล.	Tenax TA, 75 mg	ขวดแก้วฝา เกลียว ขนาด 10 มล.	Thermal Desorption, GC-FID	Thammakhet et al., (2006)
Radiello (Tube type)	ยาว 50 มม. หนา 16 มม.	Carbograph 4, 300 mg (40-60 Mesh)	พลาสติก โพลี เอทิลีน	Thermal Desorption, GC-MS & FID	Pennequin- Cardinal et al., (2005)
Lab-Made Passive Sampler (Tube Type)	62.8 x 11.0 มม.	Cow Bone, 250 mg	ขวดแก้วฝา เกลียว	Solvent Desorption, GC-MS	วิทยา ทาลา, (2555)

2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

2.11.1 ลักษณะของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ความยาวของอุปกรณ์มีผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจวัด โดยอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่มีขนาดสั้นจะช่วยลดความผันผวนของอากาศภายในอุปกรณ์เก็บอากาศได้ (Ayer et al., 1998) อุปกรณ์ชนิดหลอดมีความแข็งแรง ทนทาน และมีความถูกต้องสูงกว่าชนิดแผ่นเหน็บ (Van Reeuwij et al., 1998) ส่วนอุปกรณ์ชนิดแผ่นเหน็บมีความไวในการเก็บอากาศและอัตราการดูดซับสูงกว่าชนิดหลอด (Nollet, 2006)

2.11.2 ชนิดของสารดูดซับ สารดูดซับจะเป็นวัสดุขนาดเล็กที่มีรูพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับ สารดูดซับที่นิยมนำมาใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊ส ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ โครโมซอร์บ (Chromosorbs[®]) เทเน็กซ์ (Tenax[®]) คาร์โบแทรพ (Carbotrap[®]) และคาร์โบแพค (Carbopak[®]) เป็นต้น การเลือกใช้สารดูดซับในการเก็บตัวอย่างแก๊สนั้นจะต้องพิจารณาคุณสมบัติของสารดูดซับแต่ละชนิด เช่น ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุประเภทไม่มีขั้วจึงดูดซับสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วได้มากกว่าสารที่มีขั้ว เป็นต้น (Varshney et al., 2003) และงานวิจัยของ กิตติภาส นังสูงเนิน (2555) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าว 4 ชนิด เพื่อใช้ในการดูดซับสารกลุ่ม BTEX ด้วยวิธีเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดอนุภาค 20-100 Mesh มีค่าเลขไอ โอดีน เท่ากับ 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

2.11.3 ความเร็วลมหรือกระแสลม ความเร็วลมมีผลต่อการแพร่กระจายของแก๊สและทำให้เกิดความปั่นป่วนซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์แบบพาสซีฟในตำแหน่งที่เหมาะสม เช่น ติดตั้งไว้บริเวณที่มีกำบัง เพื่อลดผลกระทบจากแรงลม หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันลมเป็นกำบังขณะทำการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ การลดความปั่นป่วนของกระแสลมหรือปรับอัตราการไหลของอากาศโดยใช้แผ่นตาข่ายเสตนเลสเพิ่มเข้าไปในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Yoshika et al., 2008)

2.11.4 ความชื้น อากาศมีความชื้นสูงจะเพิ่มโอกาสของการทะลุผ่านของตัวถูกดูดซับมากขึ้น (พัชรี วีระพจนานันท์, 2543)

2.11.5 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างตั้งแต่ 24 ชั่วโมงจนถึง 1 เดือน โดยงานวิจัยของ Bush et al. (2001) อ้างโดย Varshney et al. (2003) ทำการศึกษาระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 สัปดาห์เปรียบเทียบกับ 4 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลา 2 สัปดาห์ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐานเคมีลูมินเนสเซนซ์มากกว่า 4 สัปดาห์ เนื่องมาจากการสลายตัวของสารเคมีที่ใช้ในการดักจับมลสาร

Varshney et al. (2003) รายงานค่าเฉลี่ยของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ทำกรเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และ 2 สัปดาห์เปรียบเทียบกับกรเก็บตัวอย่างต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าการเก็บตัวอย่าง 1 และ 2 สัปดาห์ให้ผลที่ถูกต้องมากกว่าการเก็บตัวอย่าง 4 สัปดาห์

วรวิทย์ วงศ์นิรามย์กุล (2555) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ขายในเชิงพาณิชย์ โดย

ทำการศึกษาผลของปริมาณสาร BTEX ต่อประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง พบว่าการเก็บตัวอย่างใน สัปดาห์ที่ 1 ปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ แตกต่างอย่างมากกับปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีขายเชิงพาณิชย์ และความแตกต่างมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 โดยสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณสาร BTEX แตกต่างจากที่ตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเชิงพาณิชย์ ไม่เกินร้อยละ 15

Nollet (2006) อธิบายเกี่ยวกับปัจจัยด้านระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์เก็บ ตัวอย่างแบบพาสซีฟต่อปริมาณสารกลุ่ม BTEX ที่สกัดได้จากสารดูดซับ พบว่าระยะเวลาในการเก็บ ตัวอย่างระยะสั้น (4, 7 และ 14 วัน) ปริมาณสารกลุ่ม BTEX ที่สกัดได้มีปริมาณสูง เนื่องจากอัตราการ ดูดซึมลดลงน้อย ส่วนระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างมากกว่า 28 วัน จะให้ปริมาณสารกลุ่ม BTEX ที่สกัดได้ไม่แตกต่างกัน

Pennequin-Cardinal et al. (2005) ศึกษาปัจจัยด้านระยะเวลาที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่าง ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ยี่ห้อ Radiello สำหรับตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX โดยระยะเวลา เก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษาแบ่งเป็น 1, 3, 7 และ 14 วัน พบว่าอัตราการเก็บตัวอย่างของเบนซีน โทลู อีน เอทิลเบนซีน และไซลีน มีค่าลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 14 วัน

2.11.6 ความสูง การติดตั้งอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ระดับความสูงต่าง ๆ มีผลต่อการเก็บ ตัวอย่างอากาศ โดยงานวิจัยทั่วไปติดตั้งที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.5-2.0 เมตร ห่างจากริมถนน อย่างน้อย 1.5 เมตร และห่างจากผนังอาคารประมาณ 1.5-2.0 เมตร (Roadman et al., 2003)

2.11.7 ลักษณะการติดตั้ง การติดตั้งอุปกรณ์แบบพาสซีฟ (Passive Sampler) โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แนวนระดับหรือแนวนอนกับแนวดิ่งหรือแนวตั้ง พบว่าการติดตั้งแบบให้ทิศทางของอากาศ ไหลเข้า-ออกในแนวนระดับหรือแนวนอนให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับวิธีมาตรฐานเคมีลูมิเนส เซนซ์มากกว่าแนวดิ่งหรือแนวตั้ง (สุนทรี ศิริรัตน์ประภา, 2555)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟดัง ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

ปัจจัย งานวิจัย	ระยะเวลา เก็บตัวอย่าง	ความ เข้มข้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	ความ เร็วลม	ลักษณะ อุปกรณ์	สารดูด ซับ
กิตติภาส นิ่งสูงเนิน, (2555)	✓	-	-	-	-	-	✓
วรวิทย์ วงศ์นิรามย์กุล, (2555)	✓	-	-	-	-	-	-
ภัสพร เฉลิมรัมย์, (2551)	✓	-	-	-	-	✓	-
ศิวพันธุ์ ชูอินทร์, (2550)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
เกรียงไกร ตั้งประเสริฐ สุข, (2546)	✓	-	-	✓	-	-	-
Martin et al., (2014)	✓	-	✓	-	✓	✓	-
Walgraeve et al., (2011)	✓	-	✓	✓	-	-	-
Pennequin-Cardinal et al., (2005)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-

2.12 หลักการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการแยกสารองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส โดยให้สารละลายหรือแก๊สสัมผัสกับตัวดูดซับ เมื่อมีการสัมผัสกันจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างผิวของตัวดูดซับกับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นนี้ต้องมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับด้วยตัวเองจึงจะทำให้กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นได้ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ และขนาดของรูพรุนในตัวดูดซับ เป็นต้น กระบวนการดูดซับจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนตัวดูดซับใกล้เข้าสู่ภาวะอิ่มตัว ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับจึงลดลงตามเวลา จนในที่สุดการดูด

ชั้นจะเข้าสู่สถานะสมดุล ซึ่งเป็นจุดที่ความสามารถในการดูดซับหมดไป สำหรับกระบวนการดูดซับสารแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551; พลัฎฐ์ โสภณากิจโกศล, 2544)

ขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่อยู่ในของไหลเคลื่อนที่ไปยังพื้นผิวด้านนอกของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่จากผิวด้านนอกเข้าไปในโพรงช่องว่างของตัวดูดซับ (Pore Diffusion) ซึ่งจะเกิดการดูดซับขึ้นก็ต่อเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีรูปร่างเหมาะสมกับลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกาะติดที่พื้นผิวภายในโพรงช่องว่างของตัวดูดซับ การดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายใน โพรงช่องว่าง เพราะภายในโพรงช่องว่างมีปริมาณพื้นที่ผิวที่ทำให้เกิดการดูดซับได้มาก

2.13 กลไกการดูดซับ

การแยกสารองค์ประกอบที่ต้องออกจากสารละลายที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส จะต้องเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับสารองค์ประกอบนั้น ซึ่งกลไกการดูดซับของสารดูดซับที่บรรจุในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ คือการดูดซับทางกายภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ ซึ่งแรงนี้มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้นสารองค์ประกอบจะยึดเกาะแน่นบนผิวของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือแก๊สที่ควบแน่นนั้นจะสามารถซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอของสารองค์ประกอบนั้นก็ตาม การดูดซับแบบนี้สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ โดยที่ไม่ต้องใช้พลังงานในการกระตุ้น และให้ความร้อนออกมาเล็กน้อย แต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวทั้งหมดของตัวดูดซับ จึงทำให้มีปริมาณการดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับสูงมาก ทั้งนี้เมื่อลดความดันของระบบหรือเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เนื่องจากตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ ปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า การคาย (Desorption) ซึ่งเป็นวิธีการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551; พลัฎฐ์ โสภณากิจโกศล, 2544)

2.14 สารดูดซับ

สารดูดซับ (Adsorbent) หมายถึง สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับ ในขณะที่สารที่ถูกดูดซับจะเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) โดยตัวถูกดูดซับแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกระจายบนผิวหรือเกิดแรงดึงดูดกับสารดูดซับได้ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ รวมถึงโครงสร้างทางกายภาพของสารดูดซับ เช่น พื้นที่ผิว (Surface Areas) และขนาดความพรุน (Porous Size) ของสารดูดซับ ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวและความพรุนของสารดูดซับที่ใช้สำหรับดูดซับสารกลุ่ม BTEX

(Prado et al., 1996; Ottaviani et al., 2002)

สารดูดซับ (Adsorbent)	พื้นที่ผิว (Surface Areas) (m ² /g)	ความพรุน (Total Micro Porous Volume) (ml/g)
Activated Charcoal	1250	341
Tenax TA [®]	26	6.7
Carbograph 1	76	0.7
Carbograph 4	129	0.5

ข้อมูลในตารางที่ 2.9 พบว่าถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวและความพรุนสูงสุดเมื่อเทียบกับสารดูดซับชนิดอื่น และเป็นสารดูดซับที่เหมาะสมกับวิธีการสกัดโดยใช้สารละลาย (Solvent Desorption) และคาร์โบกราฟ 4 (Carbograph 4) เป็นสารดูดซับที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีสกัดแบบผ่านความร้อน (Thermal Desorption) เนื่องจากมีขนาดความพรุนน้อย แต่มีพื้นที่ผิวสูง (Prado et al., 1996)

สารดูดซับแต่ละชนิดจะมีความเฉพาะเจาะจงสำหรับกลุ่มของสารเคมีหรือแก๊สที่แตกต่างกัน ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.10 ดังนั้น สารดูดซับชนิดหนึ่งจึงไม่สามารถที่จะใช้ดูดซับสารเคมีหรือแก๊สได้ทุกกลุ่ม การเลือกใช้สารดูดซับในการเก็บตัวอย่างแก๊สนั้นจะต้องพิจารณาคุณสมบัติของสารดูดซับแต่ละชนิดด้วย

ตารางที่ 2.10 สารดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Stanetzek et al., 1996)

สารดูดซับ (Adsorbent)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่างแก๊สที่ถูกดูดซับ (Substance)
Activated Charcoal	>400	ตัวทำละลาย (Solvent) เช่น สารเบนซีน โทลูอิน ไชลีน เป็นต้น และสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 2 ,3 ,4 อะตอม แต่ไม่เหมาะสำหรับการสกัดโดยใช้ความร้อน (Thermal Desorption) เนื่องจากโลหะอาจเป็นตัวกระตุ้นการย่อยสลายสารที่ต้องการวิเคราะห์
Tenax TA	350	สารกลุ่มอะโรมาติกและอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ยกเว้นสารเบนซีน สารฮาโลเจนไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ สารอัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ เป็นต้น
Tenax GR	350	สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารฮาโลเจนไฮโดรคาร์บอน เช่น สาร PAHs และ PCBs
Carbopack B	>400	สารกลุ่มอะโรมาติกและอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เช่น คีโตน แอลกอฮอล์ สารอัลดีไฮด์ เป็นต้น
Carbotrap	>400	สารกลุ่มอะโรมาติกและอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน
Chromosorb 102	250	สารฟีนอล และสารฮาโลเจนไฮโดรคาร์บอน
Chromosorb 106	250	สารกลุ่มอะโรมาติกและอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สารฮาโลเจนไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ สารอัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ เป็นต้น
Porapak Q	250	สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารไคคอล เอสเทอร์
Porapak N	180	สารไนไตรด์ อะซิโตนไนไตรด์ และโพรพิโอนไนไตรด์

นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเลือกสารดูดซับในการเก็บตัวอย่างอากาศ เช่น วิธีการที่ใช้ในการสกัดสารปนเปื้อนจากสารดูดซับ ซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธี คือ การสกัดด้วยสารละลาย (Solvent Desorption) กับการสกัดด้วยความร้อน (Thermal Desorption) โดยสารดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโดยการใช้น้ำสารละลาย คือ สารดูดซับที่เป็นของแข็ง เช่น ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากสารละลายที่ใช้สกัด (คาร์บอนไดออกไซด์) สามารถเข้าแทนที่โมเลกุลอื่น ๆ จากถ่านกัมมันต์ ทำให้ประสิทธิภาพการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่ทำได้ดี และคาร์บอนไดออกไซด์ (CS₂) เป็นสารละลายที่มีขนาดการดูดซับสูง เป็นสารที่ถูกแนะนำให้ใช้ในการสกัดสำหรับถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขี้ (MDHS 88, 1997; Nollet, 2006) ส่วนสารดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโดยการใช้น้ำความร้อน (Thermal Desorption) เช่น เทเน็กซ์ (Tenax), โครโมซอร์บ (Chromosorb 106), คาร์โบแพกบี (Carboack B), ถ่านแกรไฟต์ (Graphitized Carbons) เป็นต้น (Nollet, 2006)

การศึกษาครั้งนี้ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับสำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีความจุสูง มีปฏิกิริยาเชิงเร่งสูง มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีสมบัติในการดูดซับสารชนิดต่าง ๆ ได้ดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) เหมาะกับการเก็บตัวอย่างในระยะเวลาอันยาวนานมากกว่า 24 ชั่วโมงขึ้นไป โดยไม่มีผลกระทบจากการแพร่แบบย้อนกลับ และเหมาะกับการสกัดโดยการใช้น้ำสารละลาย (Solvent Desorption) ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุดิบจากธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีถลุงถ่านจนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous Carbon) ชนิดหนึ่ง โครงสร้างมีความเป็นผลึก (Crystallites) โดยส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบซึ่งแตกต่างจากแกรไฟต์ ประกอบด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซีนหรือกลุ่มของคาร์บอนอะตอมที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม และเนื่องจากที่พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่น ๆ ได้ เช่น อะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจน ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งในกระบวนการคาร์บอนในเซชันและการกระตุ้นจะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป การที่มีอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนโดยเกิดพันธะเคมีจะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชัน (Functional Groups) หมู่ฟังก์ชันที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อย ๆ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด เช่น หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl), ฟีนอลิก ไฮดรอกซิล (Phenolic Hydroxyl), ควิโนน (Quinonoid), แลคโตส (Normal Lactone) และคาร์บอกซิลิกแอนไฮไดรด์ (Carboxylic Acid Anhydride) และจากคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความแตกต่างจากถ่านชนิดอื่น เช่น ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551; รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556) ในตารางที่ 2.11 แสดงปริมาณความจุของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่แบ่งประเภทตามการถูกดูดซับ คือ ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ได้ง่าย ปานกลาง และดูดซับยาก

ตารางที่ 2.11 เปรียบเทียบความจุของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย
(Shepherd, 2001)

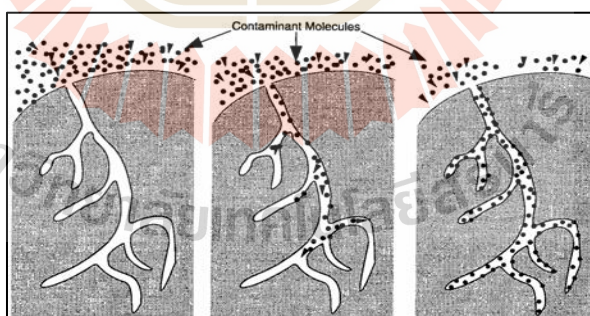
ประเภทการ ถูกดูดซับ	สารอินทรีย์ระเหยง่าย	น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	จุดเดือด (เซลเซียส)	ความจุของ ถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)
ดูดซับง่าย	ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene)	123	211	51
ดูดซับง่าย	เตตระคลอโรอีเทน (Tetrachloroethane)	166	147	40
	เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	165	121	35
	สไตลีน (Styrene)	104	145	25
	ไซลีน (Xylene)	106	138	21
	โทลูอิน (Toluene)	92	111	20
	เบนซีน (Benzene)	78	80	12
ปานกลาง	เฮกเซน (Hexane)	86	68	7
	เมทิล เอทิลคีโตน (Methyl Ethylketone)	72	80	4
	เมทิล เอทิลคลอไรด์ (Methyl Ethylchloride)	84	40	2
ดูดซับยาก	อะซิโตน (Acetone)	58	56	0.8
	ไวนิลคลอไรด์ (Vinylchloride)	62	neg 14	0.7
	คลอโรอีเทน (Chloroethane)	64	12	0.5
	มีเทน (Methane)	16	neg 161	0.0003

จากตารางที่ 2.11 จะพบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดเดือดสูงจะถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกดูดซับได้ง่าย ซึ่งเบนซีน โทลูอิน และไซลีนจัดอยู่ในประเภทสารที่ถูกดูดซับได้ง่ายด้วยถ่านกัมมันต์

2.14.1 กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์

การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นการดึงโมเลกุลหรือสารแขวนลอยซึ่งอยู่ในสถานะของเหลว สารละลาย หรือแก๊สให้เกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ จัดเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายมวลสารจากของเหลว สารละลาย หรือแก๊สมายังบริเวณผิวของของแข็ง ซึ่งโมเลกุลหรือสารแขวนลอยที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นรูพรุนซึ่งเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551; พลัญญ์ โสภณากิจ โสภณ, 2544) ซึ่งกลไกในการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ มีขั้นตอนดังนี้

- โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปยังถ่านกัมมันต์โดยการแพร่กระจายไปเกาะบนผิวรอบนอกของถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก)
- โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแทรกตัวผ่านฟิล์มออกซีไฮเดรต (Oxyhydrate Film) ซึ่งเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ที่อยู่รอบผิวถ่านกัมมันต์ ซึ่งฟิล์มนี้จะยอมให้โมเลกุลสารซึมผ่านเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข)
- โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ตกลงไปในโพรงช่องว่างภายในของถ่านกัมมันต์ และเกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มาก ทำให้ดูดซับได้มากขึ้น และโมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดเหนี่ยวกับผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยการดูดซับทางกายภาพ ทำให้ตัวถูกดูดซับไม่หลุดจากถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ค)



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.4 กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551; พลัญญ์ โสภณากิจ โสภณ, 2544)

2.14.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์

2.14.2.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ขนาดของถ่านกัมมันต์เป็นส่วนสัมพันธ์กับอัตราการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับ สูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีช่องว่างหรือโพรงภายในจำนวนมากจะสามารถดูดซับสารได้ดี (พลักฐ์ โสภณาภิจ โสภณ, 2544)

2.14.2.2 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลของสารจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะติดบนผิวถ่านกัมมันต์ สารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนจะละลายน้ำได้ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำอย่างเหนียวแน่น ทำให้สารนี้เกิดการดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้ยาก (พลักฐ์ โสภณาภิจ โสภณ, 2544)

2.14.2.3 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์ มีความสำคัญอย่างมากต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในช่องว่างหรือโพรงของถ่านกัมมันต์ ซึ่งการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารและถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงทำให้สารขนาดเล็กนี้ถูกดูดเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อน จากนั้นสารขนาดใหญ่จึงจะถูกดูดเข้าสู่รูพรุนเป็นลำดับต่อมา (พลักฐ์ โสภณาภิจ โสภณ, 2544)

2.14.2.4 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลาย โดยสารละลายที่มีความเป็นกรดจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะเกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี ทำให้ถ่านมีรูพรุนลดลง

2.14.2.5 อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์เป็นส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของการผ่านทะลุ หมายความว่าอัตราการทำปฏิกิริยาจะสูงขึ้นที่อุณหภูมิสูง

2.14.2.6 ความชื้น ไอรระเหยของน้ำจะถูกดูดซับด้วยสารดูดซับที่มีขั้ว (Polar Sorbents) จึงเพิ่มความเป็นไปได้หรือเพิ่มโอกาสของการผ่านทะลุของตัวถูกดูดซับ ดังนั้นถ้าความชื้นมีมากขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของการผ่านทะลุ

2.14.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่จะกำหนดการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ในการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานจำเป็นต้องวัดพารามิเตอร์ที่จะกำหนดการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้งาน ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่

ก. พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (Specific Surface Area) การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์สามารถกระทำได้โดยการหาปริมาณแก๊สใน ไดรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ คือ เครื่องบีอีที (BET Surface

Area Pore Size and Pore Volume Distribution Analyzer) โดยปกติถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวตั้งแต่ 600-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; Hidayu et al., 2013)

ข. ขนาดรูพรุน (Pore Size) การวัดขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทำโดยการใช้อุปกรณ์จุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ซึ่งขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร ปริมาตร 0.2-0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม มีพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม รูพรุนชนิดนี้มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับมากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกว่า การกระจายตัวของรูพรุน (Pore Size Distribution) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของสารดูดซับที่มีขนาดรูพรุนขนาดเล็ก เช่น ซีโอไลต์ (Zeolite) (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; IUPAC, 1985)

รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนประมาณ 2-50 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดรูพรุนขนาดกลาง ได้แก่ ซิลิกาเจล อะลูมินาเจล และตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; IUPAC, 1985)

รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; IUPAC, 1985)

ค. กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ (Functional Group) เป็นการทดสอบหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์ เพื่อนำมาพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งาน เนื่องจากกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสถานะในการกระตุ้น การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงต้องคำนึงถึงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์เป็นสำคัญ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ คือ เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้เทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (Infrared Light) ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารโดยพิจารณาจากพลังงานที่สารดูดกลืน (Absorption) หรือปลดปล่อยออกมา (Transmission) เพื่อใช้ในการสั่น (Vibration) ของโมเลกุลในรูปแบบต่าง ๆ โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรดอยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wavenumber) ประมาณ 12800-10 ต่อเซนติเมตร และเนื่องจากรังสีอินฟราเรดมี

พลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้น ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.12 ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (Wavenumber) กับ Transmittance เรียกว่า FT-IR Spectrums ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556)



ตารางที่ 2.12 ค่าความถี่ของการสั่นของหมู่ฟังก์ชันสารแต่ละชนิด

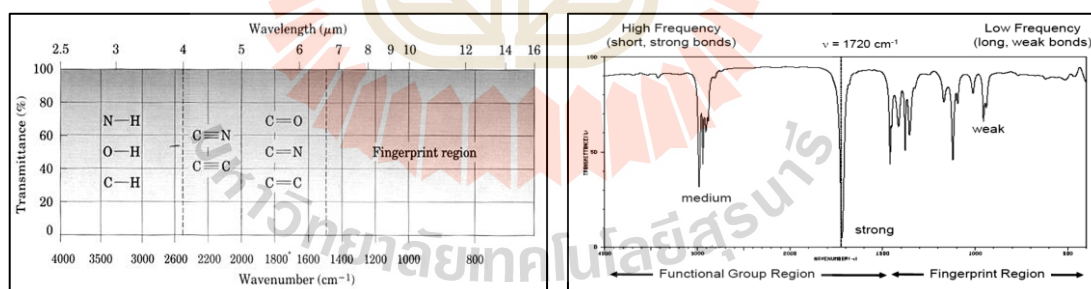
(Saka, 2012; Cazetta, 2013; Ochemonline, 2011)

Functional Group Class	Band Position (cm ⁻¹)	Intensity of Absorption
Alkanes, Alkyl groups :		
C-H	2850-2960	Medium to Strong
Alkenes :		
C-H	3020-3100	Medium
C=C	1640-1680	Medium
Alkynes :		
C-H	3300	Strong
Alkynes :		
C≡C	2000-2500	Medium
Alkyl halides :		
C-Cl	600-800	Strong
C-Br	500-600	Strong
C-I	500	Strong
Alcohols :		
O-H	3400-3650	Strong, Broad
Alcohols :		
C-O	1050-1150	Strong

ตารางที่ 2.12 ค่าความถี่ของการสั่นของหมู่ฟังก์ชันสารแต่ละชนิด (ต่อ)

(Saka, 2012; Cazetta, 2013; Ochemonline, 2011)

Functional Group Class	Band Position (cm ⁻¹)	Intensity of Absorption
Aromatics :		
	3030-3100	Weak
	1660-2000	Weak
	1450-1600	Medium
Amines :		
N-H	3300-3500	Medium
C-N	1020-1250	Medium
Carbonyl Compounds :		
C=O	1670-1780	Strong
Carboxylic Acids :		
O-H	2500-3100	Strong, Very Broad
Nitriles :		
C≡N	2210-2260	Medium

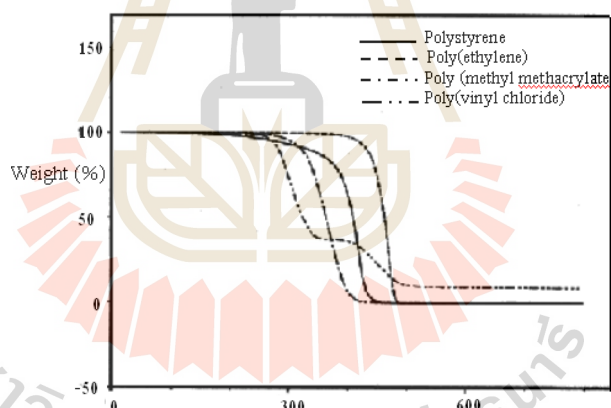


รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (Wavenumber) กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า

Infrared Spectrum (Saka, 2012; Cazetta, 2013; Ochemonline, 2011)

ง. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัตถุต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (Thermobalance) เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง

สภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือการระเหยของน้ำ การตกผลึก (Crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (Decomposition) การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) เป็นต้น ในการวิเคราะห์ตัวอย่างตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน ในระหว่างการวิเคราะห์อุณหภูมิของตัวอย่างซึ่งอยู่ในบรรยากาศปกติหรือแก๊สเฉื่อยจะถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกบันทึกเป็นเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่าง และอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.6 โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด การสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกของการวิเคราะห์ หรือที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดจากการระเหยของน้ำหรือตัวทำละลาย แต่ที่อุณหภูมิสูงมักเกิดจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ ข้อมูลเหล่านี้ทำให้ทราบเกี่ยวกับความเสถียรต่ออุณหภูมิของพอลิเมอร์ เทคนิคนี้ยังมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาสารที่ระเหย หรือสารเติมแต่งที่ใส่ลงไปในพอลิเมอร์อีกด้วย



รูปที่ 2.6 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA

2.15 การสกัดตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

การสกัดแก๊สผสมพิษออกจากสารดูดซับหรือเรียกว่าการคาย (Desorption) แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการใช้ความร้อน (Thermal Desorption) กับการใช้สารละลาย (Solvent Desorption) ซึ่งวิธีการสกัดเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สผสมพิษจากสารดูดซับขึ้นอยู่กับสารดูดซับที่ใช้ในขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง และความต้องการความแม่นยำของการวิเคราะห์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.15.1 การใช้สารละลาย (Solvent Desorption) เป็นเทคนิคการสกัดสารกลุ่ม BTEX จากสารดูดซับโดยการใช้สารเคมีทำละลาย นิยมนำมาใช้กับสารดูดซับที่เป็นของแข็ง เช่น ถ่านกัมมันต์

มีความจุสูงและมีปฏิกิริยาเชิงเร่งสูง ส่วนสารละลายที่นิยมนำมาใช้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CS_2) ซึ่งเป็นสารละลายที่มีขนาดการดูดซับสูง เป็นสารที่ถูกแนะนำให้ใช้ในการสกัดสำหรับถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขี้ (MDHS 88, 1997; Nollet, 2006) ข้อเสียของคาร์บอนไดออกไซด์ คือมีความเป็นพิษ อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ทำการทดลองได้ นอกจากนี้เทคนิคนี้มีความไวต่ำในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจากการลดสัดส่วนระดับความเข้มข้นสูงของตัวอย่างลง

2.15.2 การใช้ความร้อน (Thermal Desorption) เป็นเทคนิคการสกัดสารกลุ่ม BTEX จากสารดูดซับ โดยการใช้ความร้อนและการไหลของแก๊สเฉื่อย ซึ่งไม่ต้องใช้สารเคมีทำละลาย เมื่อตัวดูดซับได้รับความร้อนจะเกิดการคายการดูดซับทำให้เกิดการสกัดแก๊สออกมาและแก๊สที่ได้จะถูกส่งไปยังเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีซึ่งมีคอลัมน์ที่จะแยกสารกลุ่ม BTEX แต่ละชนิดและทำการตรวจวัดโดยตัวตรวจวัดชนิดต่าง ๆ ข้อเสียคือ มีค่าใช้จ่ายสูง (ภคนนท์ พรหมสุวรรณ, 2553)

2.16 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะมีความสามารถแยกและวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อนและยังให้ผลที่ตรง รวดเร็วกว่า ลิกวิดโครมาโทกราฟี และเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ง่าย และกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ปานกลาง (Semi-Volatile Organic Compounds) แก๊สโครมาโทกราฟีมีเทคนิคในการวิเคราะห์ 2 วิธี คือ การใช้เฟสคงที่ (Stationary Phase) เป็นของแข็ง เรียกว่า Gas Solid Chromatography (GSC) และการใช้เฟสคงที่ (Stationary Phase) เป็นของเหลว เรียกว่า Gas Liquid Chromatography (GLC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากกว่า และทั้งสองวิธีนี้มีเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) เป็นแก๊ส แก๊สโครมาโทกราฟีใช้ได้กับสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ ณ อุณหภูมิของคอลัมน์เท่านั้น ดังนั้นวิธีการของแก๊สโครมาโทกราฟีจึงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารประกอบอินทรีย์เท่านั้น เพราะสารประกอบอินทรีย์สามารถกลายเป็นไอได้ง่าย ดังนั้นจะไม่ใช้แก๊สโครมาโทกราฟีกับสารประกอบอินทรีย์ เพราะสารประกอบอินทรีย์ไม่สามารถกลายเป็นไอได้ในอุณหภูมิปกติของคอลัมน์ และวิธีแก๊สโครมาโทกราฟีสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ (Purnell, 1962)

2.16.1 หลักการของแก๊สโครมาโทกราฟี ใช้เทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ สำหรับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เฟสคงที่ คือ สารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่ คือ แก๊สเฉื่อย เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

สารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส และส่วนแก๊สของสารผสมจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สฮีเลียม ซึ่งภายในคอลัมน์จะเกิดการแยกสารผสม (Separation) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary Phase) และสารผสม ทั้งนี้ในการแยกสารผสมให้เป็นสารเชิงเดี่ยวนั้นอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด โครงสร้างของสาร และสมบัติทางเคมีในการทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ซึ่งหลังจากที่สารแต่ละชนิดถูกแยกเป็นส่วนๆจะเคลื่อนที่อยู่ภายในคอลัมน์ในเวลาที่แตกต่างกัน จากนั้นสารเชิงเดี่ยวแต่ละชนิดจะผ่านเข้าสู่อุปกรณ์วัดสัญญาณ (Detector) และแปรผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram) ซึ่งสารเชิงเดี่ยวแต่ละสารจะมีระยะเวลาที่อยู่ในคอลัมน์ (Retention Time, RT) เฉพาะตัว ในการวิเคราะห์ผลจะนำพื้นที่ใต้พีก (Peak) ของแต่ละสารมาคำนวณผลเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ก็จะทราบปริมาณของสารตัวอย่างได้ (Purnell, 1962)

2.16.2 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.16.2.1 Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่องและระเหยเป็นไอก่อนที่จะเข้าสู่คอลัมน์ (Column) อุณหภูมิที่เหมาะสมของอินเจกเตอร์ (Injector) ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ไม่ทำให้สารสลายตัว (Purnell, 1962)

2.16.2.2 Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์ (Column) และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ (Column) ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิของโอเวน (Oven) มี 2 แบบ คือ Isocratic Temperature จะใช้อุณหภูมิเดียวตลอดการวิเคราะห์ และแบบ Gradient Temperature จะสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิได้ในระหว่างการวิเคราะห์ มักนิยมใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (Wide Boiling Range) ทำให้โครมาโทแกรม (Chromatogram) ที่ได้ มี Peak Shape ไม่ Broad และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ (Purnell, 1962)

2.16.2.3 Detector คือ ส่วนที่ใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีในตัวอย่างและมีสารตัวอย่างชนิดที่ต้องการศึกษาปริมาณเท่าใด ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องตรวจจับสารกลุ่ม BTEX ชนิดเฟลมไอออไนซ์เซชัน (Flame Ionization Detector) เนื่องจากเหมาะสำหรับตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compounds) เพราะสารประกอบอินทรีย์ทุกตัวสามารถเกิดการไอออไนซ์ (Ionization) ได้ในเปลวไฟ ทำให้เกิดกระแสของไอออนที่สามารถสะสมอยู่ระหว่างขั้วที่มีประจุตรงข้าม 2 ขั้วได้ตามปริมาณของไอออน (Purnell, 1962)

2.16.3 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX

ปริมาณสารกลุ่ม BTEX ที่ได้จากอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟมีปริมาณค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่ม BTEX จากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในสภาวะต่างๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้นี้มีความถูกต้องแม่นยำ โดยรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

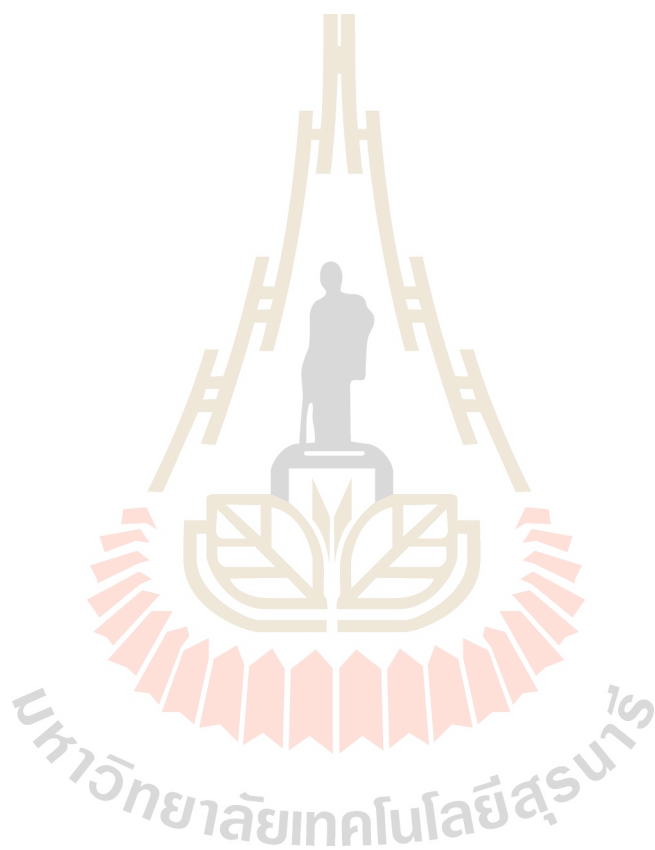
วรวิทย์ วงศ์นิรมัยกุล (2555) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดเฟรมไอออไนเซชัน (GC-FID) และสภาวะของการเตรียมตัวอย่างแบบ Inline โดยใช้เครื่องคายการดูดซับด้วยความร้อน (Thermal Desorption Unit) เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสม คือ ประสิทธิภาพการแยกกันของพีคของสารอินทรีย์แต่ละชนิด ค่าการตอบสนอง และระยะเวลาในการวิเคราะห์สั้น ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิสำหรับส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection Port) 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตัวตรวจวัด (FID Detector) 150 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม 6 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 35 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 30 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้นที่ 45 องศาเซลเซียส เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 1 นาที อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 100 องศาเซลเซียส เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิสุดท้าย 1 นาที

กิตติภัส นิ่งสูงเนิน (2555) กำหนดสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแฮดสเปซและเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดเฟรมไอออไนเซชัน (GC-FID) สำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX โดยกำหนดอุณหภูมิของตู้อบแฮดสเปซที่ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 1 นาที อุณหภูมิของส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection Port) และอุณหภูมิตัวตรวจวัด 180 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม 2 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 400 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 40 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส เวลาที่คงที่ไว้ 3 นาที อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 180 องศาเซลเซียส เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิสุดท้าย 1 นาที

Lan and Binh (2012) กำหนดสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดเฟรมไอออไนเซชัน (GC-FID) สำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX จากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ คือ อัตราการไหลของแก๊สดำพา 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้นที่ 35 องศาเซลเซียส เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 16 นาที อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ถึงอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ถึง 160 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และจากอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ถึง 220 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 220 องศาเซลเซียส เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิสุดท้าย 5 นาที

วิญญู จิตสัมพันธเวช และคณะ (2550) ทำการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสาร BTEX จากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของเครื่องโครมาโทกราฟี โดยตั้งอุณหภูมิสำหรับส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection Port) และอุณหภูมิตัว

ตรวจวัด (FID Detector) ที่ 200 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 350 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของไฮโดรเจน 60 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 3 นาที อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 110 องศาเซลเซียส

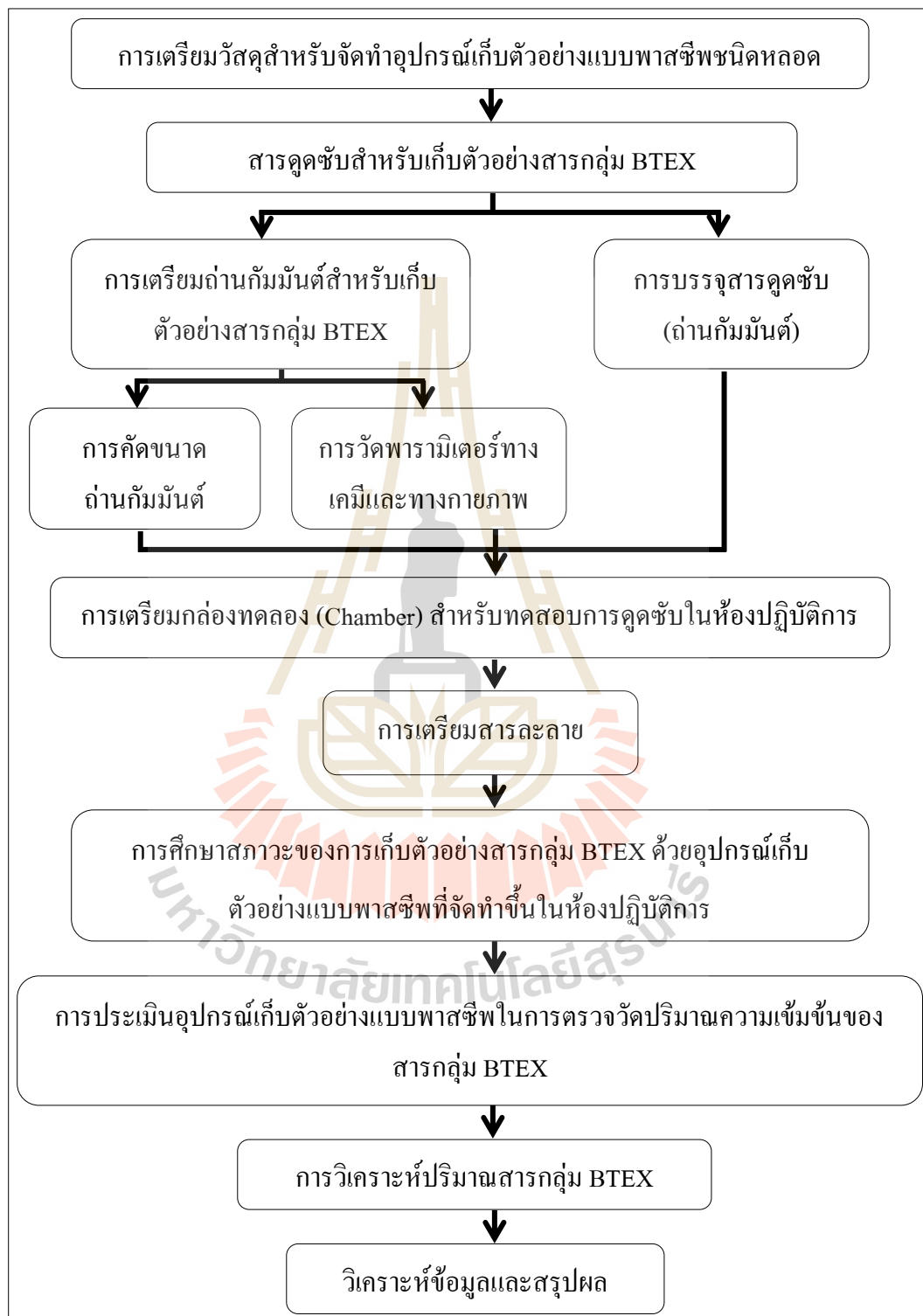


บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาสภาวะของการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดสำหรับตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX เป็นการจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่สามารถจัดทำขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการจากวัสดุที่ใช้ต้นทุนต่ำและหาได้ง่ายภายในประเทศ รวมทั้งมีขั้นตอนในการจัดทำและการนำไปใช้งานไม่ยุ่งยาก วิธีการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการเตรียมวัสดุสำหรับจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดและการเตรียมสารดูดซับที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จากนั้นทำการทดลองเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง (Chamber) ที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่สามารถนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในสิ่งแวดล้อมที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะในเขตพื้นที่เมืองได้ แล้วนำไปสู่การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดเฟลมไอออนไนซ์เซชัน และใช้สารทำลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ในการสกัดสารกลุ่ม BTEX จากสารดูดซับ (GC/FID-Solvent Desorption) ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับการศึกษาค้างนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	อุปกรณ์/เครื่องมือ	จำนวน	การใช้งาน
1	ไมโครปิเปต		เตรียมสารละลายที่มีปริมาตรน้อย
	- ขนาด 20 ไมโครลิตร (Nichiryo Le, Japan)	1	
	- ขนาด 100 ไมโครลิตร (Mettler Toledo, USA)	1	
	- ขนาด 1000 ไมโครลิตร (Nichiryo Le, Japan)	1	
	- ขนาด 5000 ไมโครลิตร (Nichipet Ex, Japan)	1	
2	ขวดวัดปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร	24	เตรียมสารละลายมาตรฐาน
3	บีกเกอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร	30	บรรจุสารละลาย
4	หลอดแก้วฝาเกลียว		บรรจุสารดูดซับขณะนำออกจาก
	- ขนาด 10 มิลลิลิตร	30	ตัวอย่างเพื่อสกัดด้วยสารทำละลาย
	- ขนาด 50 มิลลิลิตร	20	
5	ขวดไวอัลฝาเกลียว (Vials)		อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ
	- ขนาด 10 มิลลิลิตร	24	ชนิดหลอด
6	ขวดไวอัล ขนาด 2 มิลลิลิตร	100	บรรจุสารละลายตัวอย่าง
7	ไมโครไซริงค์ ขนาด 10 ไมโครลิตร	1	ฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าเครื่อง GC-FID
8	กรวยแก้ว	1	ถ่ายเทสารดูดซับ
9	ช้อนตักสาร	1	ตักถ่านกัมมันต์
10	ถ้วยกระเบื้อง	4	ใส่ถ่านกัมมันต์ขณะนำเข้าเตาเผา
11	ขวดพีพีอี ขนาด 1,000 มิลลิลิตร	1	บรรจุถ่านกัมมันต์
12	แท่งเหล็ก	1	กดอัดสารดูดซับ

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

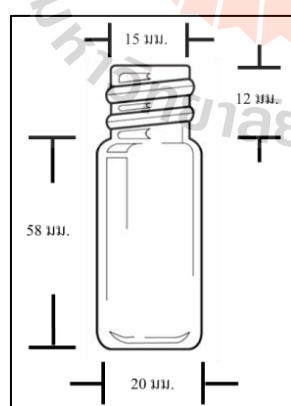
ลำดับ	อุปกรณ์/เครื่องมือ	จำนวน	การใช้งาน
13	สำลี	1 ถุง	กั้นระหว่างชั้นความหนาของสารดูดซับ
14	ถ่านกัมมันต์ ขนาด 20/40 เมช (คาร์บอนกัมมันต์, ประเทศไทย)	1 กก.	สารดูดซับ
15	เครื่องเขย่าสาร (Vortex) (FinePCR, Korea)	1	ผสมสารทำลายกับสารดูดซับให้เข้ากันอย่างทั่วถึง เพื่อช่วยในการสกัดสารมลพิษ
16	เครื่องชั่ง - ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, USA) - ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, Germany)	1 1	ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์
17	โถดูดความชื้น	1	เก็บสารดูดซับและอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง เพื่อดูดความชื้น
18	กล่องอะคริลิก ขนาดความกว้าง 35 ซม. ยาว 40 ซม. สูง 30 ซม.	1	กล่องทดลองการดูดซับในห้องปฏิบัติการ
19	ซิลิโคน	1	อุดรอยต่อกล่องอะคริลิก
20	เทอร์โมมิเตอร์ แบบแท่งแก้ว - ขนาด 30 องศาเซลเซียส - ขนาด 15 องศาเซลเซียส	1 1	วัดอุณหภูมิขณะทำการทดลอง
21	ตะแกรงร่อน (Sieve) - ขนาด 20 เมช (Endecotts, England) - ขนาด 40 เมช (Retsch, Germany)	1 1	คัดขนาดถ่านกัมมันต์
22	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Agilent 7890A, USA)	1	วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX
23	เบนซีน 99.5% (Arcos, USA)	10 มล.	สารละลายมาตรฐาน
24	โทลูอีน 99.5% (Arcos, USA)	10 มล.	สารละลายมาตรฐาน
25	เอทิลเบนซีน 99.8% (Arcos, USA)	10 มล.	สารละลายมาตรฐาน

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์/เครื่องมือ	จำนวน	การใช้งาน
26	เอ็ม-ไซลีน 99.5% (Arcos, USA)	10 มล.	สารละลายมาตรฐาน
27	โอ-ไซลีน 99.5% (Arcos, USA)	10 มล.	สารละลายมาตรฐาน
28	พี-ไซลีน 99.5% (Arcos, USA)	10 มล.	สารละลายมาตรฐาน
29	คาร์บอนไดซัลไฟด์ 99.5% (Carlo Erba, France)	3,000 มล.	สารทำละลาย

3.2 การเตรียมวัสดุสำหรับจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอด

วัสดุที่ใช้ในการจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ขวดไวอัลฟาเกลียว (Vials) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ขนาดความสูง 70 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.2) เนื่องจากขวดแก้วทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ทนความร้อนสูง ทนความเย็นจัดได้ดี ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่บรรจุ รวมทั้งเป็นวัสดุที่หาได้ภายในห้องปฏิบัติการ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้งโดยคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลง มีน้ำหนักเบา ราคาประหยัด และที่สำคัญมีขั้นตอนไม่ยุ่งยากในการนำไปใช้เก็บตัวอย่าง โดยเปิดฝาขวดเมื่อต้องการติดตั้งอุปกรณ์ในจุดตรวจวัดเพื่อเก็บตัวอย่างอากาศ และปิดฝาขวดเมื่อระยะเวลาการเก็บตัวอย่างครบตามกำหนด หลักการทำงานในการเก็บอากาศอาศัยหลักการแพร่ของโมเลกุลของแก๊สมลพิษผ่านปากขวดและถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่บรรจุไว้ภายในขวดไวอัล



รูปที่ 3.2 ลักษณะของขวดไวอัลฟาเกลียวที่นำมาจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

3.3 สารดูดซับสำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

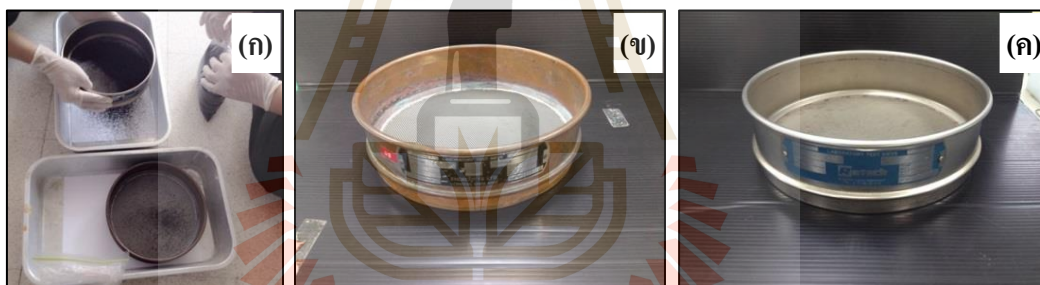
สารดูดซับที่บรรจุภายในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ใช้สำหรับเก็บแก๊สสารกลุ่ม BTEX คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ชนิดเกรด ที่มีขายในเชิงพาณิชย์ ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด ซึ่งก่อนนำสารดูดซับไปใช้งานมีขั้นตอนการเตรียมและการบรรจุถ่านกัมมันต์ โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

ถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับก่อนนำไปใช้งานมีการคัดเลือกขนาดและตรวจวัดลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการศึกษา

3.3.1.1 การคัดขนาดถ่านกัมมันต์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ร่อนด้วยตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 20 และ 40 เมช (ถ่านกัมมันต์ต้องผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช แต่ต้องไม่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช) เพื่อคัดให้ได้ขนาด 20/40 เมช (รูปที่ 3.3)



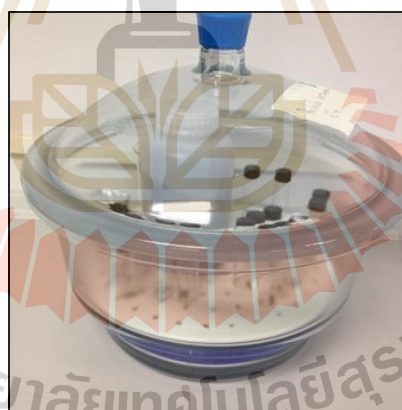
รูปที่ 3.3 (ก) การคัดขนาดถ่านกัมมันต์ด้วยตะแกรงร่อน (ข) ตะแกรงร่อน 20 เมช (Endecotts, England) และ (ค) ตะแกรงร่อน 40 เมช (Retsch, Germany)

2) นำถ่านกัมมันต์ที่มีขนาด 20/40 เมช ใสลงในถ้วยกระเบื้องทนความร้อนและนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่ครอบคลุมจุดเดือดของสารกลุ่ม BTEX เพื่อให้แน่ใจได้ว่าก่อนนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ดูดซับแก๊ส จะไม่มีสาร BTEX ตกค้างอยู่ภายในถ่าน (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 เตาเผา (Carbolite, UK) สำหรับให้ความร้อนจัดสารตกค้างภายในถ่านกัมมันต์

3) นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผาไล่สารตกค้างใส่ในขวดพีอีพร้อมปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปเก็บในโถดูดความชื้น (รูปที่ 3.5) และชั่งถ่านกัมมันต์ปริมาณ 10 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดไวอัล เพื่อนำไปตรวจวัดพารามิเตอร์ทางเคมีและทางกายภาพด้วยเครื่องมือวิเคราะห์



รูปที่ 3.5 โถดูดความชื้น (Kavalier, North America)

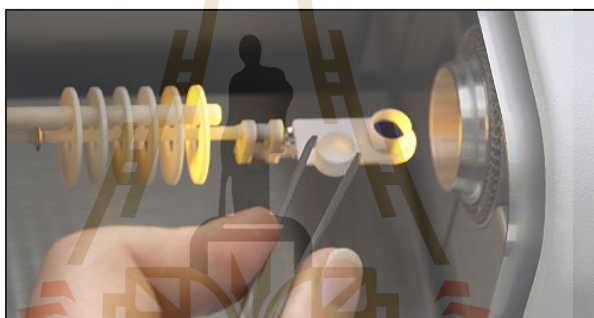
3.3.1.2 การตรวจวัดพารามิเตอร์ทางเคมีและทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์ทางเคมีและทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ก) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric) ข) กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ (Functional Group) ค) ลักษณะพื้นที่ผิว และรูพรุน (Pore Size) ง) พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (Specific Surface Area) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน

เครื่องทีจีเอ รุ่น TGA/DSC1 Star System (Mettler Toledo, USA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (Thermobalance) ขั้นตอนในการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

1) นำถ่านกัมมันต์ประมาณ 5-10 มิลลิกรัม วางบนจานขนาดเล็กซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง (รูปที่ 3.6) โดยทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและอยู่ในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 30 มิลลิตรต่อ นาที ระหว่างการวิเคราะห์ อุณหภูมิของตัวอย่างจะถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับการศึกษากครั้งนี้ใช้อัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ช่วงอุณหภูมิ 35-900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6 การนำถ่านกัมมันต์วางบนจานขนาดเล็กซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน

2) ข้อมูลการวิเคราะห์ถูกบันทึกเป็นเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถ่านกัมมันต์และอุณหภูมิ (รูปที่ 3.7) โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด



รูปที่ 3.7 เครื่องทีจีเอ ขณะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน

ข) การวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ (Functional Group) ด้วยเครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) รุ่น T27/Hyp2000 (Bruker, USA) โดยใช้ความละเอียด 4 ต่อเซนติเมตร ช่วงการบันทึก 4000-800 ต่อเซนติเมตร และใช้เทคนิคการบดผสมผงถ่านกัมมันต์กับ โพรแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วอัดเป็นแผ่นบาง ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่บดผสมกับ โพรแทสเซียมโบรไมด์

ค) การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JSM-6010 LV (JEOL, USA) (รูปที่ 3.9) โดยใช้วิธีการโปรยถ่านกัมมันต์ลงบนสตัดป์และเคลือบด้วยทองจากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ขณะวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ง) การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องบีอีที (BET Surface Area Pore Size and Pore Volume Distribution Analyze) รุ่น BELSORP MINI II (BELSORP, Japan) (รูปที่ 3.10) โดยให้ถ่านกัมมันต์มีการดูดซับหรือคายแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส และทำการไล่แก๊สในถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.10 เครื่อง BET ขณะวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์

3.3.2 การบรรจุสารดูดซับ (ถ่านกัมมันต์)

การบรรจุสารดูดซับภายในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX มีการทดสอบระดับความหนาของสารดูดซับที่เหมาะสมกับเงื่อนไขของการเก็บตัวอย่าง แบ่งระดับความลึกออกเป็น 4 ส่วน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ซม. โดยอ้างอิงจากระดับความลึกของอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟที่มีขายเชิงพาณิชย์ที่มีความลึกระหว่าง 0.9-1.5 ซม. (SKC Inc., 2014; Lan and Binh, 2012; Partyka et al., 2007) แต่ละส่วนกั้นด้วยแผ่นสำลึบอัดที่วัดตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขวด 20 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันสารดูดซับไหลรวมกันขณะนำออกมาสกัด ขั้นตอนการบรรจุสารดูดซับมีดังต่อไปนี้

1) นำขวดโวลแฟกเกลียวที่ใช้เป็นวัสดุในการจัดทำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ที่มีขนาดความลึก 70 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร ล้างทำความสะอาดและอบไล่ความชื้น

2) แบ่งระดับความลึกของขวดโวลแฟกเกลียวออกเป็น 4 ส่วน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ซม.

3) นำขวดโวลแฟกเกลียววางบนเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง (รูปที่

3.11)



รูปที่ 3.11 การนำขวดโวลแฟกเกลียววางบนเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

4) ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขั้นตอน 3.3.1 (การเตรียมถ่านกัมมันต์สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX) ปริมาณ 650 มิลลิกรัม ด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 การชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

5) เทถ่านกัมมันต์ลงในขวดไวอัลฟาเกลียวที่ละส่วนตามระดับความลึก 0.5 ซม. (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 การบรรจุถ่านกัมมันต์ในขวดไวอัลฟาเกลียว

6) ใช้แท่งเหล็กซึ่งมีน้ำหนัก 18.36 กรัม กดลงบนถ่านกัมมันต์ที่ละส่วน จำนวน 3 รอบ โดยแรงกดน้ำหนักแท่งเหล็กแต่ละครั้งประมาณ 2,000 กรัม ทำซ้ำจนครบตามระดับความลึกทั้ง 4 ส่วน (รูปที่ 3.14)



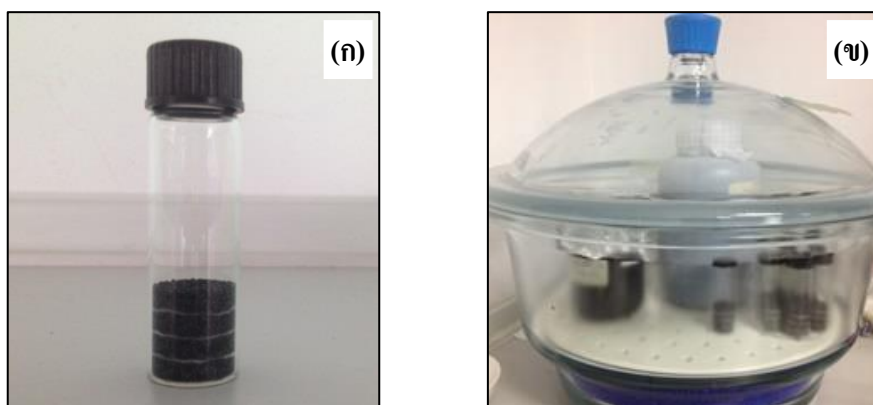
รูปที่ 3.14 การใช้แท่งเหล็กกดอัดถ่านกัมมันต์

7) ใช้แผ่นสำลิกั้นถ่านกัมมันต์ในแต่ละส่วนเพื่อป้องกันถ่านกัมมันต์ไหลรวมกันขณะนำออกมาสกัด โดยใช้แท่งเหล็กกดสำลีเพื่ออัดให้แน่นอีกครั้งจำนวน 3 รอบ น้ำหนักที่กดประมาณ 200-300 กรัม (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.15 การนำแผ่นสำลิกั้นตามระดับชั้นความหนาของถ่านกัมมันต์

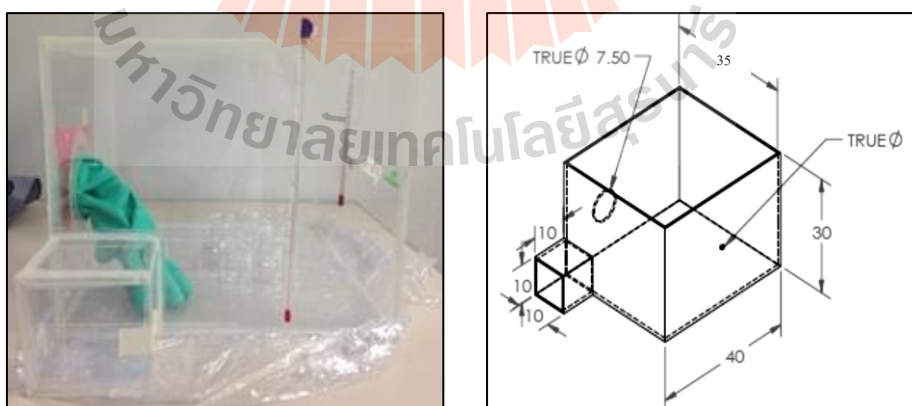
8) ทำการบรรจุถ่านกัมมันต์จนครบทั้ง 4 ส่วน จากนั้นปิดปากขวดไว้อัลฟาเกลียวด้วยฝาปิดและนำไปเก็บใน โถดูดความชื้นเพื่อรอการนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 (ก) ลักษณะของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้น (ข) การเก็บอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในโถดูดความชื้น

3.4 การเตรียมกล่องทดลอง (Chamber) สำหรับทดสอบการดูดซับในห้องปฏิบัติการ

กล่องทดสอบการดูดซับออกแบบให้สามารถนำตัวอย่างเข้าและออกได้สะดวกและลดการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ทำจากแผ่นอะคริลิกชนิดใส มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 35 ซม. ยาว 40 ซม. สูง 30 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งก่อนนำไปใช้ในการทดลองมีการฉีดซิลิโคนบริเวณรอยต่อของกล่อง เพื่อป้องกันการรั่วไหลของแก๊สขณะทำการทดลอง จากนั้นติดตั้งโมมิเตอร์แบบแท่งแก้วทั้งภายในและภายนอกกล่อง เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิขณะทำการทดลอง



รูปที่ 3.17 ลักษณะของกล่องทดลอง (Chamber) ที่ใช้ในการทดสอบการดูดซับ

การเตรียมระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง (Chamber) ขั้นตอนนี้เป็น การสร้างเงื่อนไขให้มีสารกลุ่ม BTEX ที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ เพื่อทดสอบระยะเวลาและระดับความเข้มข้นที่สารดูดซับสามารถทำงานได้เหมาะสม ระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง โดยอ้างอิงจากผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Pakanon, 2011; Thammakhet et al., 2006) โดยระดับความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ แสดงในตารางที่ 3.2 สำหรับวิธีการเตรียมระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ทั้ง 3 ระดับมีขั้นตอนและวิธีการเหมือนกัน โดยรายละเอียดแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

1) นำสารเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวที่ระดับความเข้มข้นตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.2 โดยเริ่มจากระดับความเข้มข้นสูงใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปิดปากบีกเกอร์ด้วยแผ่นพาราฟินและกระดาษฟรอย เพื่อป้องกันการระเหย

2) นำบีกเกอร์ที่มีสารกลุ่ม BTEX ที่ระดับความเข้มข้นสูงใส่ในกล่องทดลองที่เตรียมไว้ โดยเปิดแผ่นพาราฟินออกเพื่อให้สารกลุ่ม BTEX ระเหยออกมาภายในกล่องทดลอง

3) วัดระดับความเข้มข้นของแก๊สภายในกล่องทดลอง โดยนำขวดไวอัลฝาเกลียวที่มีขนาดความสูง 70 มิลลิลิตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิลิตร บรรจุถ่านกัมมันต์ที่ระดับความหนา 0.5 เซนติเมตร (ปริมาตร 650 มล.) วางในกล่องทดลอง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปิดฝาขวดและนำออกจากกล่องทดลองแล้วนำสารดูดซับออกมาสกัดด้วยตัวทำละลายคาร์บอน ไดซัลไฟด์นำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ด้วยเครื่อง GC/FID เพื่อให้ทราบระดับความเข้มข้นตามที่ต้องการ โดยวัดจนกว่าระดับความเข้มข้นจะคงที่

4) เมื่อระดับความเข้มข้นภายในกล่องทดลองคงที่ นำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นวางในกล่องเพื่อทำการทดลองในสภาวะต่างๆ ได้แก่ ระดับความหนาของสารดูดซับ และระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

5) ทำการทดลองตามขั้นตอน 1) - 3) สำหรับการเตรียมระดับความเข้มข้นปานกลาง และระดับความเข้มข้นต่ำ

6) วัดระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ภายในกล่องทดลองทุกครั้งก่อนเริ่มทำการทดลอง

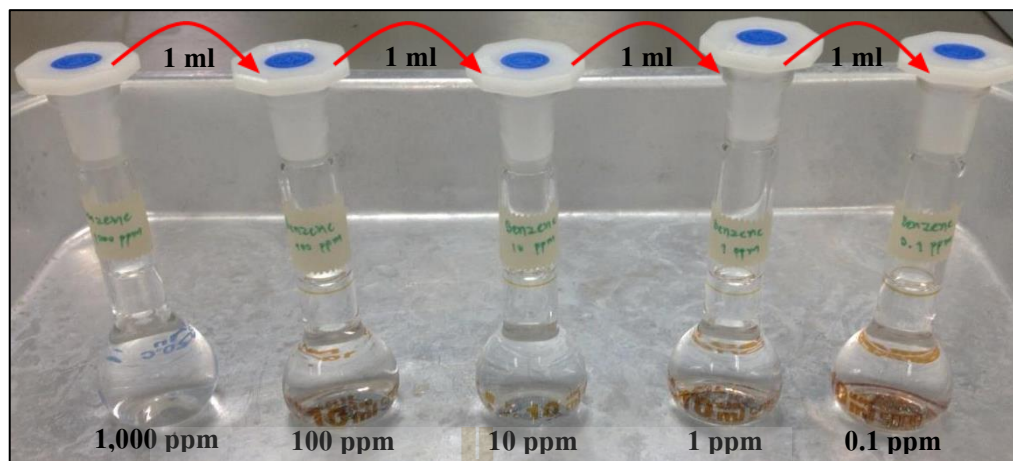
ตารางที่ 3.2 ระดับความเข้มข้นผสมของสารกลุ่ม BTEX ที่ใช้ในกล่องทดลอง (Chamber)

(Pakanon, 2011; Thammakhet et al., 2006)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	ระดับความเข้มข้น (นาโนกรัมกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
เบนซีน	2-6	10-15	20-25
โทลูอิน	6-10	15-20	30-35
เอทิลเบนซีน	3-5	7-10	13-15
เอ็ม-ไซลีน, พี-ไซลีน	5-7	9-11	15-17
โอ-ไซลีน	3-5	7-9	11-13

3.5 การเตรียมสารละลายและสารละลายมาตรฐาน

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณค่อนข้างต่ำในระดับ ส่วนในพันล้านส่วน ดังนั้นการเตรียมสารละลายทำได้ด้วยการเจือจางจากสารละลาย Stock การเตรียม Stock สารละลายของสารเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ทำได้โดยการเตรียมที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm โดยบีเปิดสารละลายบริสุทธิ์ปริมาตร 11 ไมโครลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์ และเตรียม Stock สารละลายที่ระดับความเข้มข้น 100, 10, 1 และ 0.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรด้วยการเจือจางจากสารละลาย Stock ตามลำดับ และเจือจางสารละลายจาก Stock สารละลายที่ระดับความเข้มข้น 0.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (100 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) ของสารเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน สำหรับใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายในกล่องทดลอง (Chamber) โดยถ่ายสารละลาย Stock ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ทำการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 7 ระดับ คือ ระดับความเข้มข้น 1, 5, 10, 15, 20, 30 และ 40 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และระดับความเข้มข้นสำหรับใส่ในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 2-35 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร รูปที่ 3.18 แสดงการเตรียมสารละลายและสารละลายมาตรฐาน

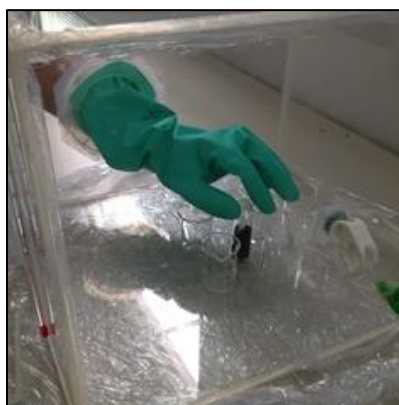


รูปที่ 3.18 การเตรียมสารละลายและสารละลายมาตรฐาน

3.6 การศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่มีระบบระบายอากาศ และมีการตรวจวัดระดับอุณหภูมิขณะทำการทดลอง สภาวะที่ศึกษาประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ระดับความหนาของถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นสารดูดซับ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ซม. ระดับความเข้มข้นของสาร แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ, ปานกลาง, สูง และระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 1, 3, 5, 7 วัน โดยการทดลองเพื่อศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ เริ่มจากระดับความเข้มข้นสูง ปานกลาง และระดับต่ำ ตามลำดับ และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเริ่มจาก 1, 3, 5, 7 วัน ตามลำดับ เพื่อป้องกันระดับความเข้มข้นภายในกล่องทดลองคลาดเคลื่อน ขณะนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างออกมาวิเคราะห์ รายละเอียดขั้นตอนในการทดลองมีดังต่อไปนี้

1) นำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นวางในกล่องทดลองที่เตรียมระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ไว้ (รูปที่ 3.19) เริ่มจากระดับความเข้มข้นสูง จำนวน 3 ขวด ได้แก่ ขวดเก็บตัวอย่าง จำนวน 2 ขวด และขวดควบคุมจำนวน 1 ขวด



รูปที่ 3.19 การนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟวางในกล่องทดลอง เพื่อเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

2) เปิดฝาขวดเก็บตัวอย่างเพื่อเริ่มเก็บแก๊สสารกลุ่ม BTEX ยกเว้นขวดควบคุมไม่ต้องเปิดฝา (รูปที่ 3.20)



รูปที่ 3.20 การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง

- 3) กำหนดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเริ่มจาก 1 วัน และตามด้วย 3, 5, 7 วัน ตามลำดับ
- 4) บันทึกเวลา วัน เดือน ปี อุณหภูมิและความชื้นที่เริ่มเก็บตัวอย่าง
- 5) ปิดฝาขวดเก็บตัวอย่างเมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด พร้อมบันทึกเวลา วัน เดือน ปี อุณหภูมิและความชื้น
- 6) นำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างออกจากกล่องทดลอง (รูปที่ 3.21) เพื่อนำไปสกัด



รูปที่ 3.21 การนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างออกจากกล่องทดลอง

7) นำสารดูดซับออกจากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ละส่วนใส่ลงในหลอดแก้วฝาเกลียว (รูปที่ 3.22) โดยทำในตู้ดูดอากาศ



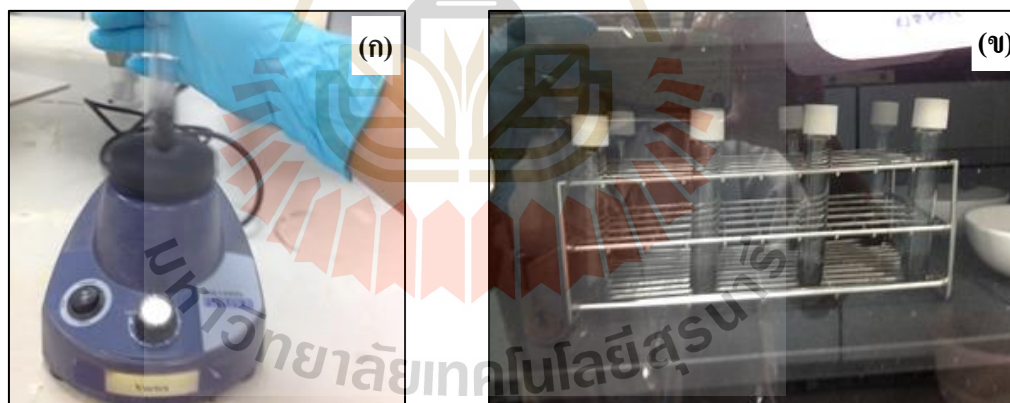
รูปที่ 3.22 การนำสารดูดซับออกจากอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

8) เติมสารทำลายคาร์บอนไดออกไซด์ 1.5 มิลลิลิตร ลงบนสารดูดซับที่ละส่วน (รูปที่ 3.23)



รูปที่ 3.23 การเติมสารทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ เพื่อสกัดสารกลุ่ม BTEX ที่ถูกดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์

9) เขย่าหลอดแก้วฝาเกลียวด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer) เพื่อให้เกิดการผสมกัน ระหว่างสารทำละลายกับสารดูดซับ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ในตู้ดูดความชื้นเพื่อให้ถ่านกัมมันต์ ตกตะกอน (รูปที่ 3.24)



รูปที่ 3.24 (ก) การเขย่าหลอดแก้วฝาเกลียวด้วยเครื่องเขย่า (FinePCR, Korea) (ข) หลอดแก้วฝาเกลียวถูกวางในตู้ดูดความชื้น เพื่อให้ถ่านกัมมันต์ตกตะกอน

10) ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัดใส่ลงในขวดไว้อัลขนาด 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ด้วยเครื่อง GC/FID (รูปที่ 3.25) โดยฉีดสารละลายปริมาณ 2 ไมโครลิตร



รูปที่ 3.25 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ด้วยเครื่อง GC/FID

11) นำถ่านกัมมันต์ไปตรวจวัดพารามิเตอร์ทางเคมีและทางกายภาพหลังการดูดซับ ได้แก่ ขนาดรูพรุน (Pore size) และกลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ เพื่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดรูพรุนและหมู่ฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์หลังการดูดซับแก๊ส และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารต่ออุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับข้อมูลก่อนการดูดซับ

12) เก็บตัวอย่างซ้ำ 2 ซ้ำ (ทุกระดับความเข้มข้นและทุกระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง)

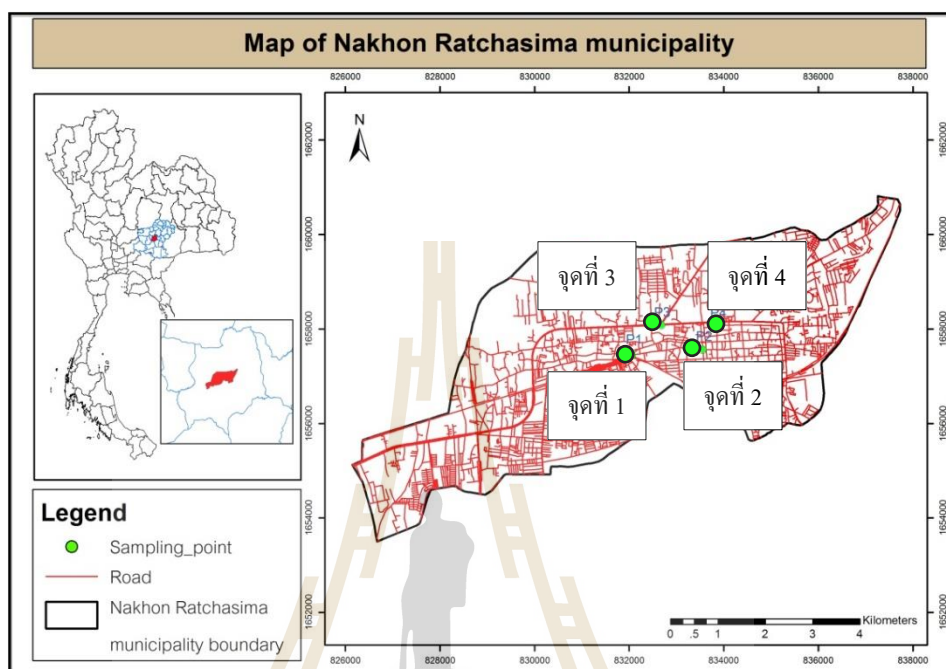
13) ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นระดับสูงให้ครบทุกระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ (1, 3, 5, 7 วัน)

14) จากนั้นปรับระดับความเข้มข้นในกล่องทดลองเป็นระดับปานกลาง และระดับต่ำตามลำดับ และทำการทดลองตามขั้นตอน 1)-13)

3.7 การประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไป

นำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการไปใช้ในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ เพื่อประเมินการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง โดยนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างติดตั้งบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (รูปที่ 3.26) จำนวน 4 จุด คือ จุดที่ 1 บริเวณห้าแยกหัวรถไฟ จุดที่ 2 แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง จุดที่ 3 สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย และจุดที่ 4 สถานีสูบน้ำเสียว (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ) โดยรูปที่ 3.27 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างกับอุปกรณ์ครอบเพื่อป้องกันการรบกวนจากกระแสลม และรูปที่ 3.28 แสดงลักษณะการติดตั้งที่จุด

เก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 1.5-2.0 เมตรจากระดับพื้นดิน ในระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 เมตร จากนั้นนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารกลุ่ม BTEX



รูปที่ 3.26 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา



รูปที่ 3.27 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างกับอุปกรณ์ครอบเพื่อป้องกันการรบกวนจากกระแสลม



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.28 จุดเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่ง
 ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ก) จุดที่ 1 บริเวณห้าแยกหัวรถไฟ (ข) จุดที่ 2 แยก
 ถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง (ค) จุดที่ 3 สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย
 (ง) จุดที่ 4 สถานีสูบน้ำเสีย (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ)



(ง)

รูปที่ 3.28 จุดเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่ง ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ก) จุดที่ 1 บริเวณห้าแยกหัวรถไฟ (ข) จุดที่ 2 แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง (ค) จุดที่ 3 สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย (ง) จุดที่ 4 สถานีสูบน้ำเสีย (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ) (ต่อ)

3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX

การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำในห้องปฏิบัติการ เมื่อครบตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษาต้องนำสารดูดซับที่บรรจุอยู่ภายในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไปสกัดหาปริมาณความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีรุ่น Agilent 7890A ชนิดเฟลมไอออไนเซชัน คอลัมน์แบบแคปิลารี ชนิด HP-624 ขนาดความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม 1.80 ไมครอน ซึ่งก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่างต้องทำการตรวจสอบความใช้ได้ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีก่อน โดยการทดสอบหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX การตรวจสอบจุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ) และการตรวจสอบความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) เพื่อช่วยให้ทราบถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดของเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้อย่างละเอียดในการศึกษามีดังต่อไปนี้

3.8.1 การทดสอบหาสถานะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี สำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX

การกำหนดสถานะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี สำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX ใช้เกณฑ์การพิจารณาเลือกสถานะที่เหมาะสมจากการให้สัญญาณการตอบสนองสูง และการแยกกันของพีคของสารกลุ่ม BTEX ชัดเจน (High Resolution) รายละเอียดการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม

BTEX

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์	ช่วงการศึกษา
อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม (มิลลิลิตร/นาที)	1-6
อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน (มิลลิลิตร/นาที)	30-40
อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (มิลลิลิตร/นาที)	300-400
อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน (มิลลิลิตร/นาที)	25-30
อุณหภูมิของส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection Port) (องศาเซลเซียส)	160-250 0:100
โหมด Splitless	
ปริมาณตัวอย่าง (ไมโครลิตร)	1-5
อุณหภูมิคอลัมน์	
- อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	30-60
- เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น (นาที)	0-5
- อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส/นาที)	3-20
- อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	90-220
- เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิสุดท้าย (นาที)	0-5
อุณหภูมิตัวตรวจวัด (องศาเซลเซียส)	200-300

3.8.2 การตรวจสอบจุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ)

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบโดยตรวจสอบจุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ) เพื่อให้ทราบปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ ค่า LOQ สามารถตรวจสอบได้จากการฉีดสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX ที่ระดับความเข้มข้น 1 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง เข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ค่า LOQ มีค่าประมาณ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หากตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มีปริมาณความเข้มข้นต่ำกว่าค่า LOQ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะไม่รายงานค่าเชิงปริมาณ โดยจะใช้คำว่า “ไม่สามารถตรวจพบ” หรือ “ND” (Not Detected) แทน

3.8.3 ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability)

ความสามารถในการวัดซ้ำเป็นวิธีการในการแสดงถึงความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดที่แสดงถึงระดับความใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดซ้ำหลายๆ

ครั้งในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยการวัดทั้งหมดอยู่ภายใต้วิธีการวัด เครื่องมือวัด ผู้ทำการวัด และสภาพแวดล้อมเดียวกัน ซึ่งการตรวจสอบความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถทำได้โดยการนิตสารละลายมาตรฐานของสารกลุ่ม BTEX ที่ความเข้มข้น 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 7 ครั้ง เข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และประเมินค่าการวัดซ้ำได้จากค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์หรือค่าความแม่นยำในการทดลอง (Relative Standard Deviation; %RSD) โดยระดับของความแม่นยำขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ระดับความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน
(วิลาวัลย์, 2544)

ระดับความเข้มข้น	ระดับความแม่นยำ (%RSD)		
	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
Trace Analysis (ระดับ ppm)	0.1-1	1-10	10-35
Ultra-Trace Analysis (ระดับ ppb, ppt)	1-10	10-35	>35
มากกว่าระดับ ppm	0.01-0.1	0.1-1	1-10

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS[®] รุ่น 17.0 ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล การแจกแจงของข้อมูลและค่าต่ำสุดหรือสูงสุดที่ผิดปกติของข้อมูล ด้วยคำสั่ง ANOVA, Outlier และโปรแกรม Microsoft Excel for Windows[®] ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลรวมของข้อมูล และค่าต่ำสุด-สูงสุดของข้อมูล เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

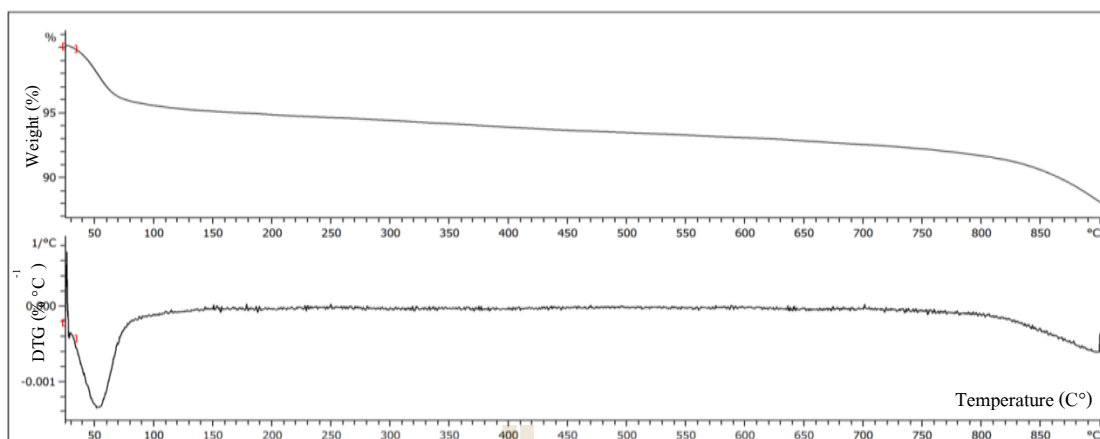
การศึกษานี้ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่มีถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับ โดยเก็บตัวอย่างอากาศและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารกลุ่ม BTEX ผลการศึกษาแบ่งเป็น 4 ประเด็น

4.1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นสารดูดซับ

การศึกษานี้ใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ชนิดเกรด ผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว ขนาด 20/40 เมช เป็นสารดูดซับที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการสำหรับเก็บแก๊สสารกลุ่ม BTEX ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด ถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างได้ผ่านการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน การวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ (Functional Group) การวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ผิวและลักษณะรูพรุน (Pore Size) ของถ่านกัมมันต์ รวมถึงการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (Specific Surface Area) ผลการศึกษาที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

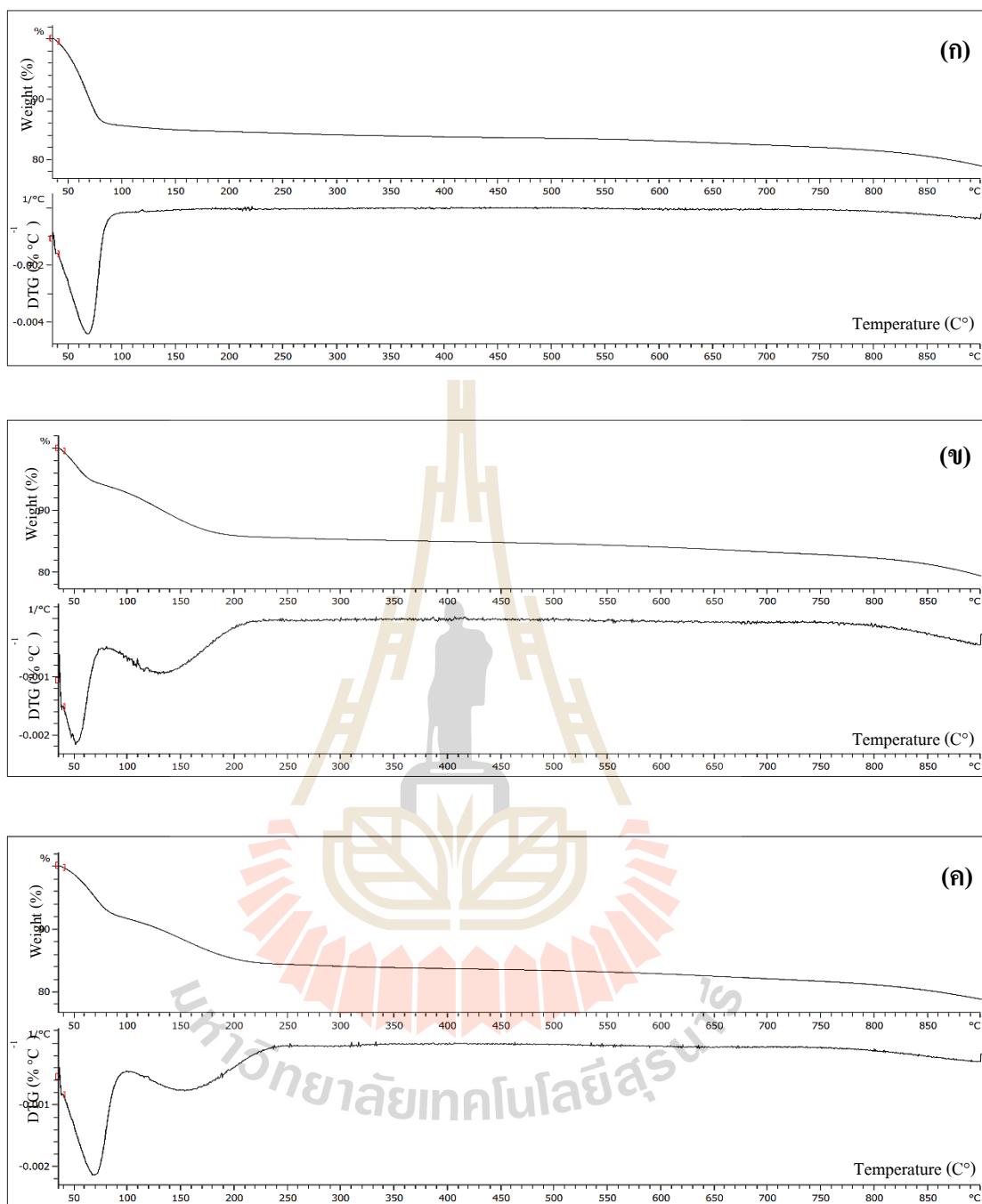
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยคุณสมบัติทางความร้อน

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องทีจีเอ พบว่าถ่านกัมมันต์ก่อนนำไปเก็บตัวอย่าง มีการหายไปของน้ำหนักอย่างรวดเร็วประมาณ 0.34 มิลลิกรัม จากน้ำหนักเริ่มต้น 6.75 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 5 ของน้ำหนักที่หายไป ในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิระหว่าง 35-70 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.1) คาดว่าการหายไปของน้ำหนักรวดเร็วในช่วงแรกเป็นการหายไปของไอน้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายในถ่านกัมมันต์ และช่วงอุณหภูมิ 100-800 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักหายไปอีกเล็กน้อยประมาณร้อยละ 1 แสดงให้เห็นว่าลักษณะภายในของถ่านกัมมันต์ก่อนนำไปดูดซับแก๊สมีความชื้นหรือสารตกค้างอยู่ภายในถ่านกัมมันต์ต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผู้วิจัยได้นำถ่านกัมมันต์ไปเผาที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อขจัดความชื้นและสิ่งตกค้างภายในถ่านกัมมันต์ก่อนนำมาใช้ในการดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX



รูปที่ 4.1 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักของสารที่หายไป (Weight Loss (%)) กับอุณหภูมิ (Temperature) สำหรับถ่านกัมมันต์ก่อนการดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX

สำหรับการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊สในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างนานที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ คือ 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ โอ-ไซลีน ระดับต่ำ เท่ากับ 2-11, 6-10, 3-5, 5-7 และ 3-5 ng/ml ตามลำดับ ระดับปานกลาง เท่ากับ 10-15, 15-20, 7-10, 9-11 และ 7-9 ng/ml ตามลำดับ และระดับสูง เท่ากับ 20-25, 30-35, 13-15, 15-17 และ 11-13 ng/ml ตามลำดับ พบว่าระดับความเข้มข้นต่ำ (รูปที่ 4.2 (ก)) ให้ผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไม่แตกต่างกับก่อนการดูดซับ โดยพบการหายไปของน้ำหนักเฉพาะช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิระหว่าง 35-70 องศาเซลเซียส น้ำหนักหายไปประมาณร้อยละ 14 หรือประมาณ 1.51 มิลลิกรัม และช่วงอุณหภูมิ 70-800 องศาเซลเซียสน้ำหนักของสารหายไปเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระดับความเข้มข้นปานกลาง (รูปที่ 4.2 (ข)) และระดับความเข้มข้นสูง (รูปที่ 4.2 (ค)) มีการหายไปของน้ำหนักถ่านกัมมันต์หลังการดูดซับอย่างชัดเจน โดยการหายไปของน้ำหนักแบ่งเป็นสองช่วง คือช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิระหว่าง 35-70 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปประมาณร้อยละ 7-8 หรือประมาณ 0.65-1.78 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นการหายไปของน้ำหนักของไอน้ำหรือความชื้น ช่วงที่สองอุณหภูมิระหว่าง 70-200 องศาเซลเซียส เป็นการหายไปของน้ำหนักของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Saka, 2012) น้ำหนักที่หายไปประมาณร้อยละ 7.27-7.29 หรือประมาณ 0.64-1.52 มิลลิกรัม และช่วงอุณหภูมิ 200-800 องศาเซลเซียสน้ำหนักหายไปเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.2 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักของสารที่หายไป (Weight Loss (%)) กับอุณหภูมิ (Temperature) สำหรับถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน (ก) ระดับความเข้มข้นต่ำ (ข) ระดับความเข้มข้นปานกลาง (ค) ระดับความเข้มข้นสูง

ดังนั้น ถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้งานมีความสามารถในการดูดซับไอระเหยของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศปิดที่ทำการทดสอบในกล่องทดลองได้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยการให้ความร้อนได้ชัดเจนเมื่อทำการดูดซับไอระเหยของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีนที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 10-25, 15-35, 7-15, 9-17 และ 7-13 ng/ml ตามลำดับ

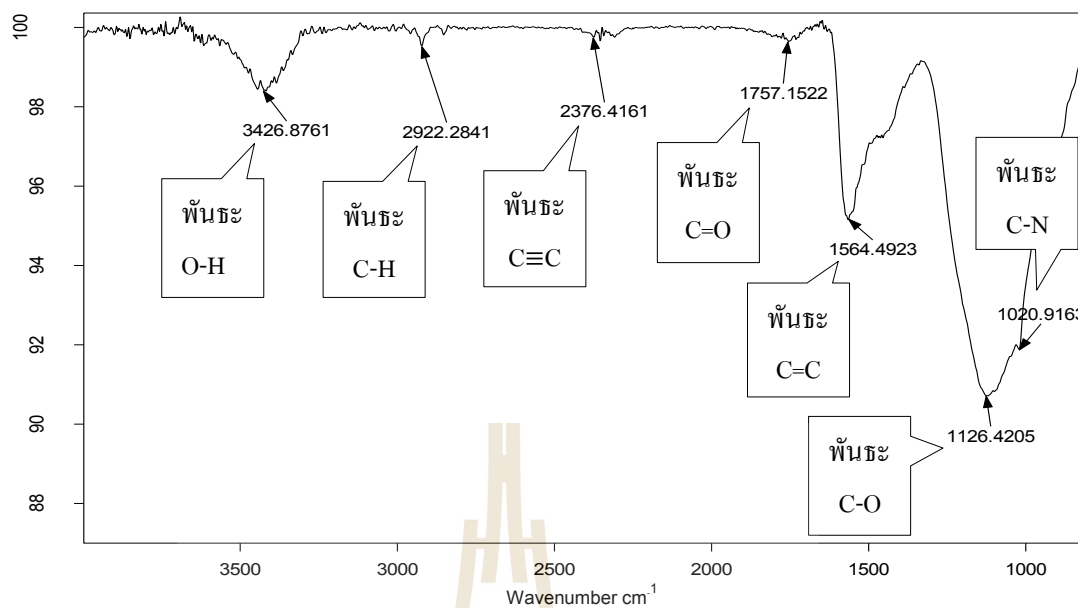
4.1.2 การวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ก่อนการดูดซับ พบว่า มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก หมู่ฟังก์ชันที่พบบนผิวของถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 4.3) จำแนกตามตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก (Saka, 2012; Cazetta, 2013; Ochemonline, 2011) มีดังนี้

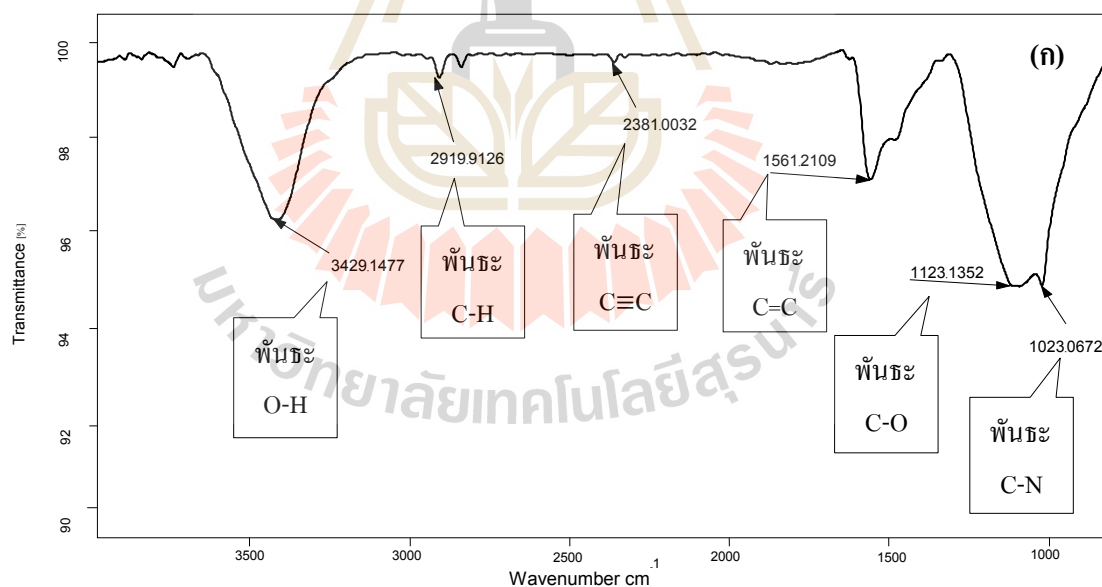
- เลขคลื่น 3400-3650 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ O-H ของหมู่แอลกอฮอล์
- เลขคลื่น 2850-2960 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ C-H ของหมู่แอลเคน
- เลขคลื่น 2000-2500 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ $C\equiv C$ ของหมู่แอลกิน
- เลขคลื่น 1670-1780 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ $C=O$ ของหมู่คาร์บอนิล
- เลขคลื่น 1450-1600 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ $C=C$ ในวงอะโรมาติก
- เลขคลื่น 1050-1150 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ C-O ของหมู่แอลกอฮอล์
- เลขคลื่น 1020-1250 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ C-N ของหมู่เอลิฟาคิกเอมีน

การที่ถ่านกัมมันต์มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้ดี (Stanetzek et al., 1996) ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ก่อนการใช้งานแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้ดูดซับแก๊สของสารกลุ่ม BTEX ได้

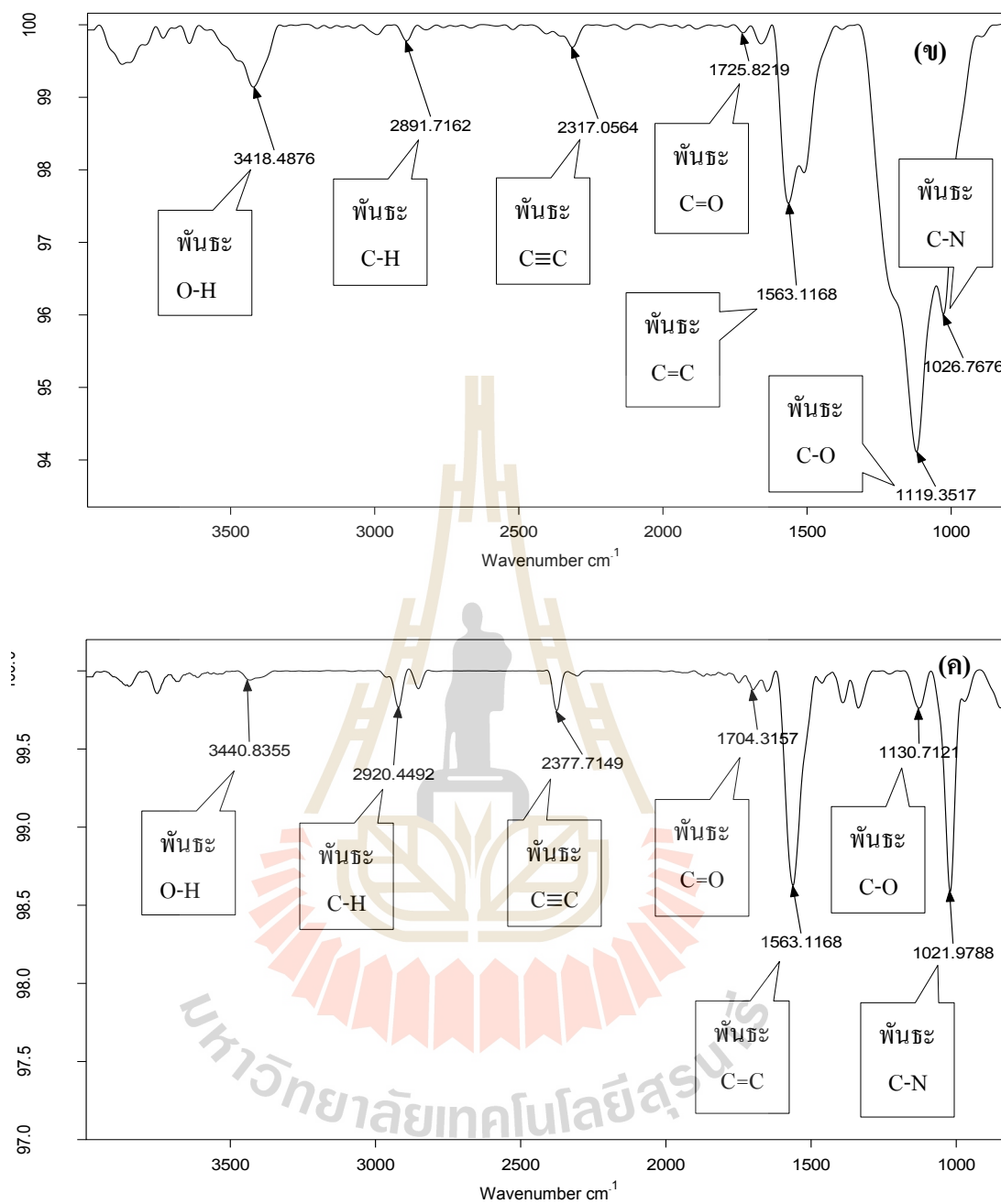
สำหรับการวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊สของสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง และสูง (รูปที่ 4.4 (ก)-(ค)) มีเลขคลื่นในช่วงที่เป็นการสั่นของพันธะที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งไม่แตกต่างจากหมู่ฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ก่อนการดูดซับ แต่ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับแก๊สที่ระดับความเข้มข้นปานกลางและสูง (รูปที่ 4.4 (ข) และ (ค)) ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีนและโอ-ไซลีน อยู่ในช่วง 10-25, 15-35, 7-15, 9-17 และ 7-13 ng/ml ตามลำดับ พบการเปลี่ยนแปลงของเลขคลื่นช่วง 1450-1600 ต่อเซนติเมตร ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ $C=C$ ในวงอะโรมาติกมีการสั่นชัดเจนมากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการดูดซับ แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX ได้



รูปที่ 4.3 FT-IR Spectrums แสดงแบนด์เลขคลื่นของกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ก่อนการดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX



รูปที่ 4.4 FT-IR Spectrums แสดงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้น (ก) ต่ำ (ข) ปานกลาง (ค) สูง

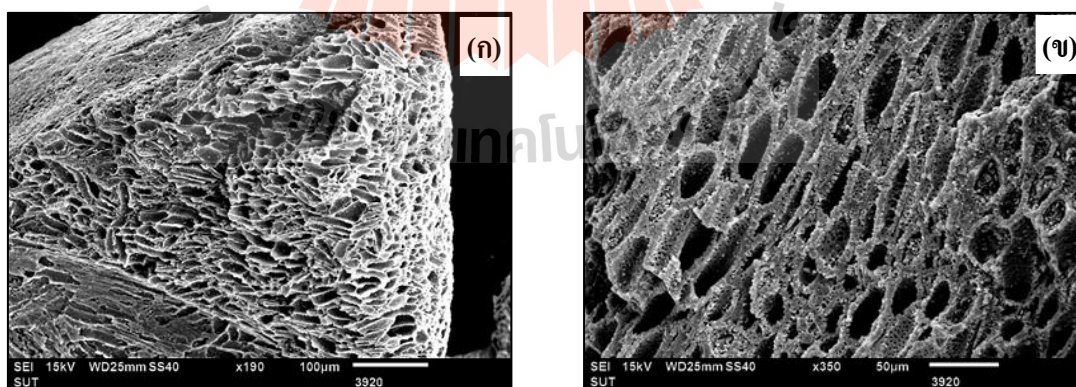


รูปที่ 4.4 FT-IR Spectrums แสดงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้น (ก) ต่ำ (ข) ปานกลาง (ค) สูง (ต่อ)

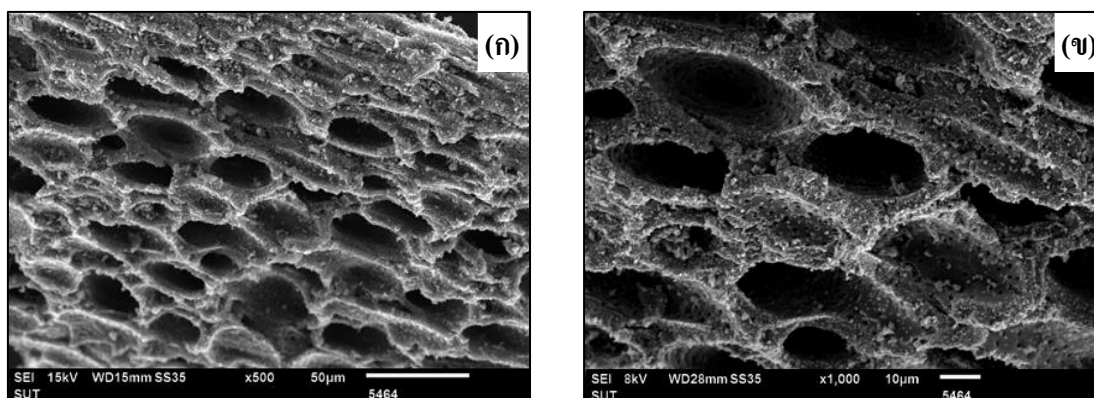
4.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับสารกลุ่ม BTEX ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ผลการวิเคราะห์ก่อนการดูดซับแก๊ส (รูปที่ 4.5 (ก)-(ข)) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีความพรุนและมีรูพรุนหรือช่องว่างภายในจำนวนมากอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งมีทั้งรูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) ที่มีรัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) ที่มีรัศมีรูพรุน 2-50 นาโนเมตร และรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ที่มีรัศมีรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร (IUPAC, 1985) รูพรุนขนาดเล็กมีความสามารถในการดูดซับสูงกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; IUPAC, 1985)

ผลการวิเคราะห์ขนาดรูพรุนและลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง (Chamber) ผู้วิจัยได้เลือกถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับแก๊สที่ใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง และสูง โดยปริมาณความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ระดับต่ำ เท่ากับ 2-11, 6-10, 3-5, 5-7 และ 3-5 ng/ml ตามลำดับ ระดับปานกลาง เท่ากับ 10-15, 15-20, 7-10, 9-11 และ 7-9 ng/ml ตามลำดับ และระดับสูง เท่ากับ 20-25, 30-35, 13-15, 15-17 และ 11-13 ng/ml ตามลำดับ (รูปที่ 4.6 (ก)-(ข)) พบว่ารูปจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของรูพรุนภายหลังจากการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ เนื่องจากสารกลุ่ม BTEX ที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้อยู่ในสถานะแก๊ส



รูปที่ 4.5 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อนการดูดซับแก๊สสารกลุ่ม BTEX ที่กำลังขยาย (ก) 190 เท่า (ข) 350 เท่า



รูปที่ 4.6 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแก๊ส สารกลุ่ม BTEX ที่กำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 1,000 เท่า

4.1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรและการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์

เครื่องบีอีที (BET Surface Area Pore Size and Pore Volume Distribution Analyzer) ให้ผลการวิเคราะห์ดังข้อมูลในตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับมีประมาณ 1,032 ตารางเมตรต่อกรัม เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยทั่วไป ซึ่งอยู่ในช่วง 600-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; กิตติภาส นั่งสูงเนิน, 2555; Hidayu et al., 2013) และพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีความพรุนหรือมีช่องว่างภายใน และมีรูพรุนขนาดเล็กที่รัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร ปริมาตรรูพรุน 0.2-0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม กระจายอยู่จำนวนมาก เหมาะสำห้มนำมาใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหยและมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารกลุ่ม BTEX สูง (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; กิตติภาส นั่งสูงเนิน, 2555; IUPAC, 1985)

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิว ปริมาตรและการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับ

พื้นที่ผิว (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	เส้นผ่าน ศูนย์กลางรูพรุน (nm)	รัศมีรูพรุน (nm)	การกระจายของ รูพรุน (nm)
1,032	0.4435	1.7182	0.8591	1.21

ดังนั้น เมื่อทราบลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับในการศึกษาครั้งนี้แล้ว ในลำดับถัดไปถ่านกัมมันต์จึงถูกนำไปบรรจุในอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

แบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการสำหรับนำไปใช้ในการดูดซับไอระเหยของสารกลุ่ม BTEX และนำไปสกัดด้วยสารทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์แล้วฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ซึ่งก่อนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมหรือความใช้ได้ของเครื่องมือและวิธีทดสอบที่ใช้ในการทดลองก่อน

4.2 การทดสอบวิธีวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX

การทดสอบเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX การตรวจสอบจุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ) และการตรวจสอบความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX

การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีรุ่น Agilent 7890A ชนิดตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออนไนเซชัน โดยใช้คอลัมน์แบบแคปิลารี ชนิด HP-624 ขนาดความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม 1.80 ไมครอน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เกณฑ์การพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการให้สัญญาณการตอบสนองสูง และการแยกกันของพีคของสารกลุ่ม BTEX ชัดเจน (High Resolution) ผลการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.2

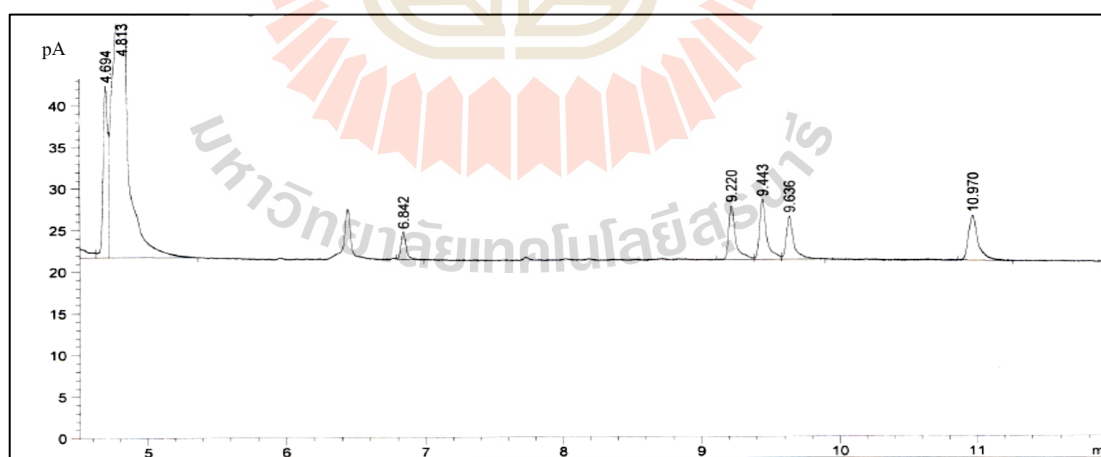
ตารางที่ 4.2 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์	สภาวะที่เหมาะสม
อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม (มิลลิลิตร/นาที)	2.5
อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน (มิลลิลิตร/นาที)	30
อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (มิลลิลิตร/นาที)	300
อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน (มิลลิลิตร/นาที)	30
อุณหภูมิของส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection Port) (องศาเซลเซียส)	200
โหมด Splitless	0:0.75
ปริมาณตัวอย่าง (ไมโครลิตร)	2
อุณหภูมิคอลัมน์	
- อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	35

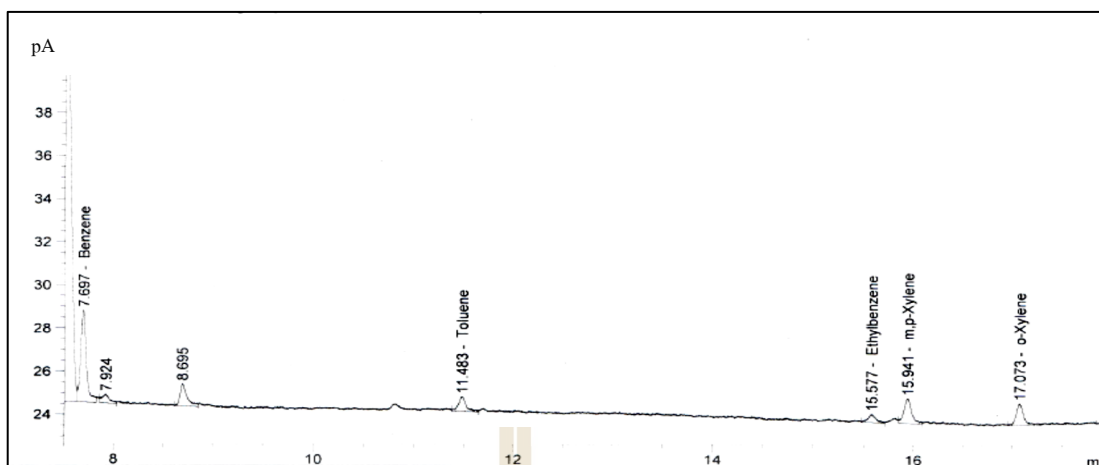
ตารางที่ 4.2 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX
(ต่อ)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์	สภาวะที่เหมาะสม
อุณหภูมิคอลัมน์ (ต่อ)	
- เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น (นาทีก)	2
- อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส/นาทีก)	4
- อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	110
- เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิสุดท้าย (นาทีก)	1
อุณหภูมิตัวตรวจวัด (องศาเซลเซียส)	250

การวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี มีสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 21.75 นาทีต่อตัวอย่าง การแยกสารเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และโอ-ไซลีนเกิดขึ้นที่เวลา 7.7, 11.4, 15.5 และ 17.0 นาที ตามลำดับ สำหรับเอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีนออกมาพร้อมกันที่ 15.9 นาที รูปที่ 4.7 แสดงโครมาโทแกรมของสารกลุ่ม BTEX ที่ยังไม่ทราบสภาวะที่เหมาะสมและรูปที่ 4.8 แสดงโครมาโทแกรมของสารกลุ่ม BTEX ที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้



รูปที่ 4.7 โครมาโทแกรมของสารกลุ่ม BTEX ที่ยังไม่ทราบสภาวะที่เหมาะสม



รูปที่ 4.8 โครมาโทแกรมของสารกลุ่ม BTEX ที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม

4.2.2 การตรวจสอบจุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ)

การฉีดสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX ที่ระดับความเข้มข้น 1 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง เข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า จุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (LOQ) โทลูอินสูงสุดที่ 1.61 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และเอทิลเบนซีน มีค่า LOQ ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.28 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.3 ดังนั้น ปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออไนเซชันที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถวิเคราะห์หาสารกลุ่ม BTEX ได้ มีค่าอยู่ในช่วง 1.28-1.61 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์จะไม่รายงานค่าเชิงปริมาณของสารกลุ่ม BTEX หากตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มีปริมาณความเข้มข้นต่ำกว่าค่า LOQ โดยจะใช้คำว่า “ไม่สามารถตรวจพบ” หรือ “ND” (Not Detected) แทน

ตารางที่ 4.3 จุดต่ำสุดที่รายงานผลได้ (Limit of Quantitative; LOQ) ของสารกลุ่ม BTEX

จำนวนการฉีดตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร)				
	เบนซีน	โทลูอีน	เอทิลเบนซีน	เอ็ม-ไซลีน, พี-ไซลีน	โอ-ไซลีน
1	1.80	0.59	1.37	1.61	0.98
2	1.71	0.91	1.75	1.93	0.96
3	1.48	0.50	1.15	2.72	1.42
4	2.25	1.38	1.41	1.32	1.04
5	1.06	0.49	2.35	1.47	1.74
6	1.35	0.72	1.37	1.79	0.85
7	2.55	1.37	1.42	1.83	1.55
8	0.90	0.71	2.12	1.84	1.81
9	2.03	0.78	2.18	2.71	1.47
10	1.48	2.19	1.29	2.55	2.40
ค่าเฉลี่ย	1.66	0.96	1.64	1.98	1.42
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.52	0.54	0.43	0.51	0.48
LOQ (3xSD)	1.55	1.61	1.28	1.52	1.45

4.2.3 ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability)

ความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออนไนเซชันที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ทำการทดสอบโดยวัดสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 7 ครั้ง ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยค่าความสามารถในการวัดซ้ำประเมินจากค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์หรือค่าความแม่นยำในการทดลอง (Relative Standard Deviation; %RSD) และผลการตรวจสอบพบว่า ระดับความแม่นยำ (%RSD) สำหรับการวิเคราะห์ในระดับความเข้มข้นส่วนในพื้นล้านส่วนในการตรวจวัด เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเท่ากับ 5.21, 5.33, 6.43, 7.63 และ 7.30 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) ซึ่งเป็นค่าระดับความแม่นยำระดับสูง คืออยู่ในช่วง 1-10 % (วิลาวัลย์, 2544) ดังนั้น วิธีการทดสอบที่ใช้จึงมีความแม่นยำเพียงพอในการหาปริมาณสารกลุ่ม BTEX

ตารางที่ 4.4 ค่าความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจวัดโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออไนเซชัน

จำนวนการฉีดตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร)				
	เบนซีน	โทลูอีน	เอทิลเบนซีน	เอ็ม-ไซลีน, พี-ไซลีน	โอ-ไซลีน
1	12.14	8.51	12.21	11.52	7.28
2	11.79	9.86	10.35	10.80	7.46
3	10.88	9.81	11.53	10.95	7.72
4	11.04	9.89	12.21	10.99	7.57
5	11.44	9.12	12.66	11.76	8.12
6	10.44	9.27	11.49	12.58	8.08
7	11.71	9.47	11.46	13.14	8.99
ค่าเฉลี่ย	11.35	9.42	11.70	11.68	7.89
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.59	0.50	0.75	0.89	0.58
%RSD	5.21	5.33	6.43	7.63	7.30

4.2.4 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ของสารกลุ่ม BTEX

ระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ใช้ในการทดลองอ้างอิงจากผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX มีปริมาณค่อนข้างต่ำถึงระดับส่วนในพันล้านส่วน เช่น

Pakanon, (2011) พบปริมาณเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ในบรรยากาศบริเวณป้ายรถประจำทางที่ศูนย์การค้าสยามกรุงเทพมหานครในช่วง 5.61-9.68, 17.05-47.83, 1.00-2.95, 2.10-4.80 และ 1.43-3.06 ppb ตามลำดับ และที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิเท่ากับ 1.76-4.20, 4.07-12.92, 0.42-0.95, 0.59-1.67 และ 0.51-1.99 ppb ตามลำดับ

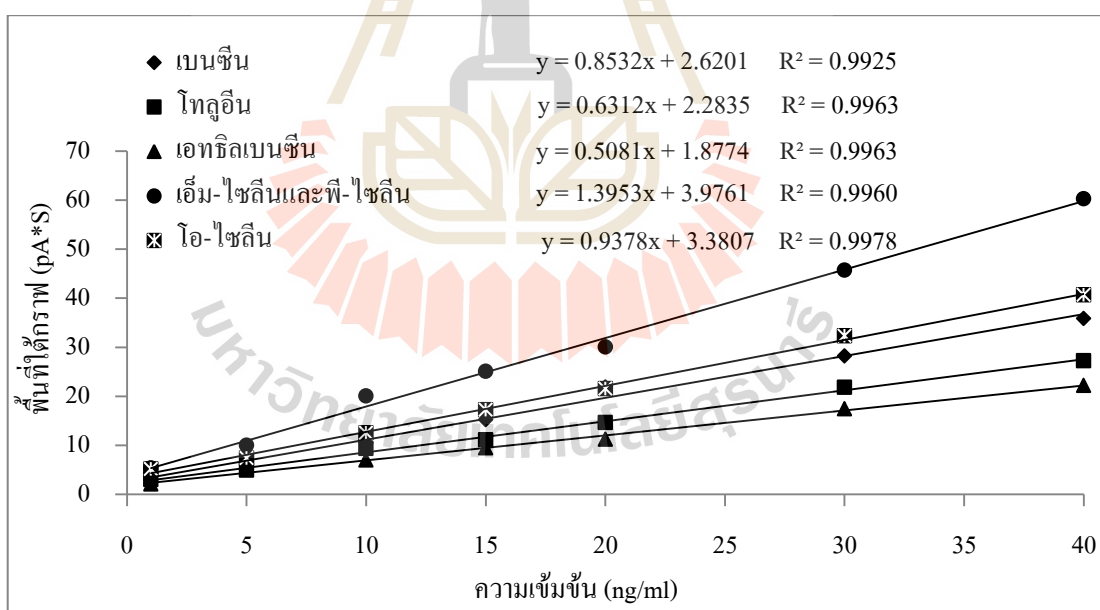
Thammakhet et al., (2006) พบปริมาณเบนซีน โทลูอีน และไซลีน ในบรรยากาศในเขตเมืองหาดใหญ่ จ.สงขลา ที่ตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในช่วง 1.01-1.70, 10.06-21.25 และ 6.77-15.20 ppb ตามลำดับ

ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ใช้ระดับ 1-40 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 4.5) นำค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟและระดับความเข้มข้นมาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์หาค่า Coefficient of Determination (r^2) และผลการวิเคราะห์สามารถสร้างกราฟมาตรฐานของ

สารกลุ่ม BTEX ที่มีค่า Coefficient of Determination (r^2) มากกว่า 0.99 ดังแสดงในรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX

ความเข้มข้น (นาโนกรัมต่อ มิลลิลิตร)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟ (Area Ratio) \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน	โอ-ไซลีน
1	3.08 \pm 0.20	3.03 \pm 0.76	2.11 \pm 0.35	5.41 \pm 0.30	5.20 \pm 0.30
5	6.72 \pm 0.84	5.01 \pm 1.63	5.00 \pm 0.74	10.01 \pm 2.15	7.44 \pm 1.82
10	10.50 \pm 0.87	9.40 \pm 0.95	7.00 \pm 0.35	20.06 \pm 1.76	12.61 \pm 0.66
15	15.25 \pm 0.53	11.15 \pm 1.28	9.51 \pm 1.20	25.11 \pm 0.35	17.27 \pm 1.20
20	21.91 \pm 0.69	14.65 \pm 0.64	11.30 \pm 0.06	30.06 \pm 5.02	21.56 \pm 0.33
30	28.26 \pm 0.16	21.84 \pm 1.22	17.48 \pm 0.64	45.74 \pm 1.68	32.33 \pm 0.42
40	35.86 \pm 1.68	27.26 \pm 2.63	22.22 \pm 2.65	60.28 \pm 2.08	40.73 \pm 0.31



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของสาร (ก) เบนซีน (ข) โทลูอิน (ค) เอทิลเบนซีน (ง) เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ (จ) โอ-ไซลีน

ผลการวิเคราะห์หลักขณะทางเคมีและทางกายภาพของสารดูดซับ สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่

นำมาใช้เป็นสารดูดซับมีความเหมาะสมต่อการดูดซับแก๊สของสารกลุ่ม BTEX และเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออไนเซชันที่ใช้ในการศึกษารั้วนี้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ ซึ่งเพียงพอที่จะสามารถนำไปสู่การศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการในลำดับต่อไป

4.3 การศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ

สภาวะที่เหมาะสมของการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดสำหรับตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX ทำการทดสอบการดูดซับในกล่องทดลอง (Chamber) ขนาด 35 ซม. x 40 ซม. x 30 ซม. (0.042 ลูกบาศก์เมตร) และติดตั้งโมมิเตอร์แบบแท่งแก้วทั้งภายในและภายนอกของกล่องทดลองสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิขณะทดลอง สภาวะที่ทำการศึกษได้แก่ ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ระดับความหนาของสารดูดซับ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ซม. และระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 1, 3, 5, 7 วัน โดยผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 ระดับความเข้มข้น

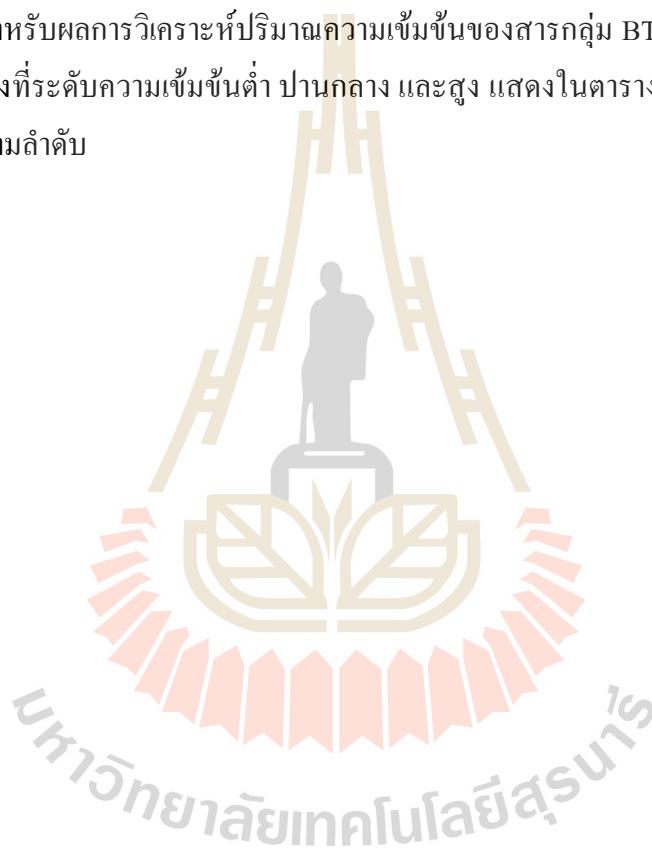
การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ มีการทดลองแบ่งออกเป็น ระดับต่ำ ปานกลาง และสูง โดยอ้างอิงจากผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Pakanon, 2011; Thammakhet et al., 2006) ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ เท่ากับ 2-6, 6-10, 3-5, 5-7 และ 3-5 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ระดับความเข้มข้นปานกลาง เท่ากับ 10-15, 15-20, 7-10, 9-11 และ 7-9 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และระดับความเข้มข้นสูง เท่ากับ 20-25, 30-35, 13-15, 15-17 และ 11-13 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่า

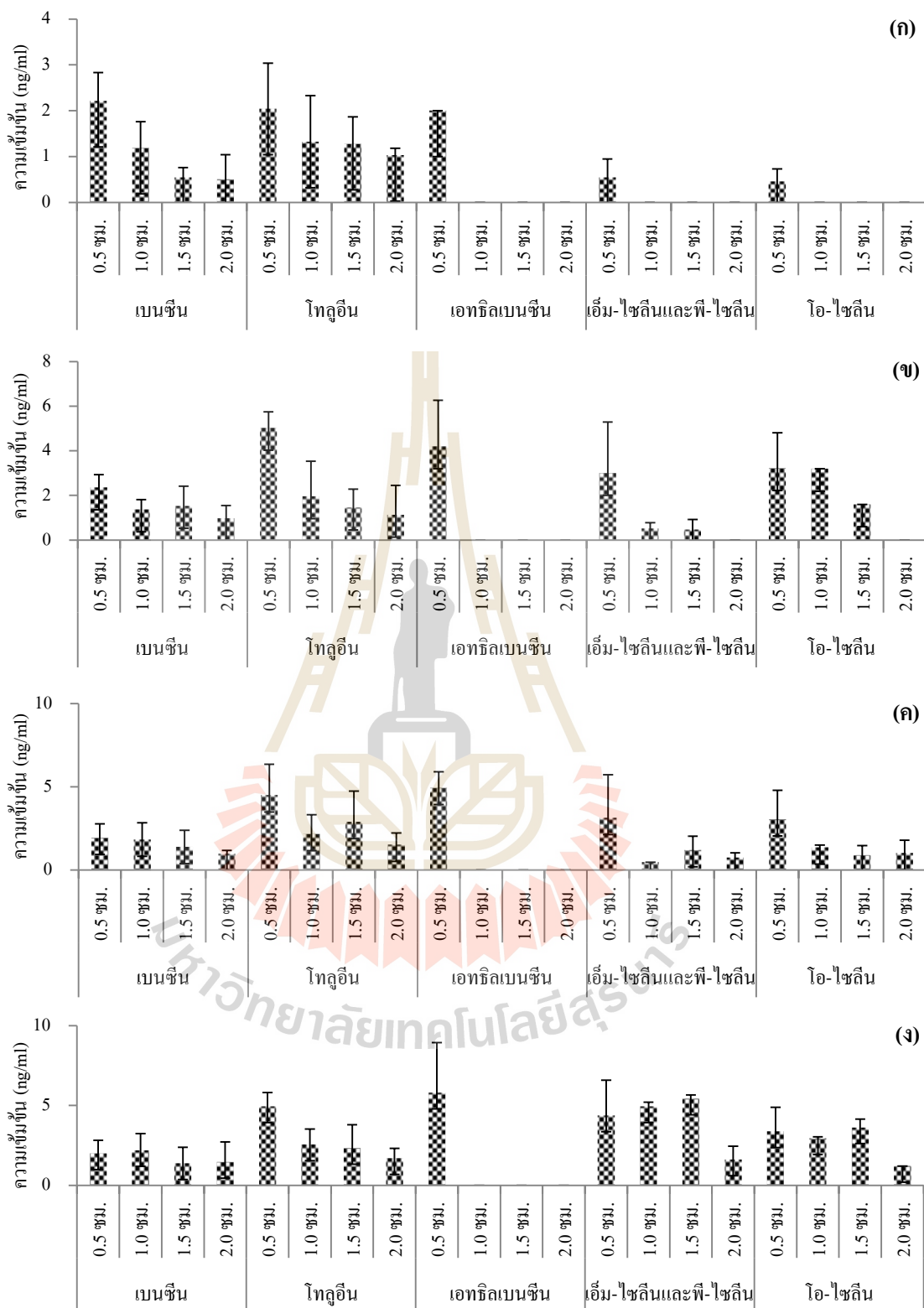
ระดับความเข้มข้นต่ำ (รูปที่ 4.10) และระดับความเข้มข้นปานกลาง (รูปที่ 4.11) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX ได้ โดยตรวจพบเบนซีนและโทลูอินทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับและทุกช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบ แต่เอทิลเบนซีนตรวจพบเฉพาะชั้นบนสุดของสารดูดซับ สำหรับไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับได้ทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับเมื่อทำการทดสอบที่ระดับความเข้มข้นปานกลาง ส่วนที่ระดับความเข้มข้นต่ำสามารถดูดซับได้ในทุกระดับชั้นความหนาเมื่อทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 3 วันเป็นต้นไป

ระดับความเข้มข้นสูง (รูปที่ 4.12) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับเบนซีน โทลูอีน และไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ได้ทุกช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบและตรวจพบทุกระดับความหนาของสารดูดซับจนถึงระดับ 2.0 ซม. ยกเว้นเอทิลเบนซีนสามารถตรวจพบได้ในทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับเมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 7 วัน

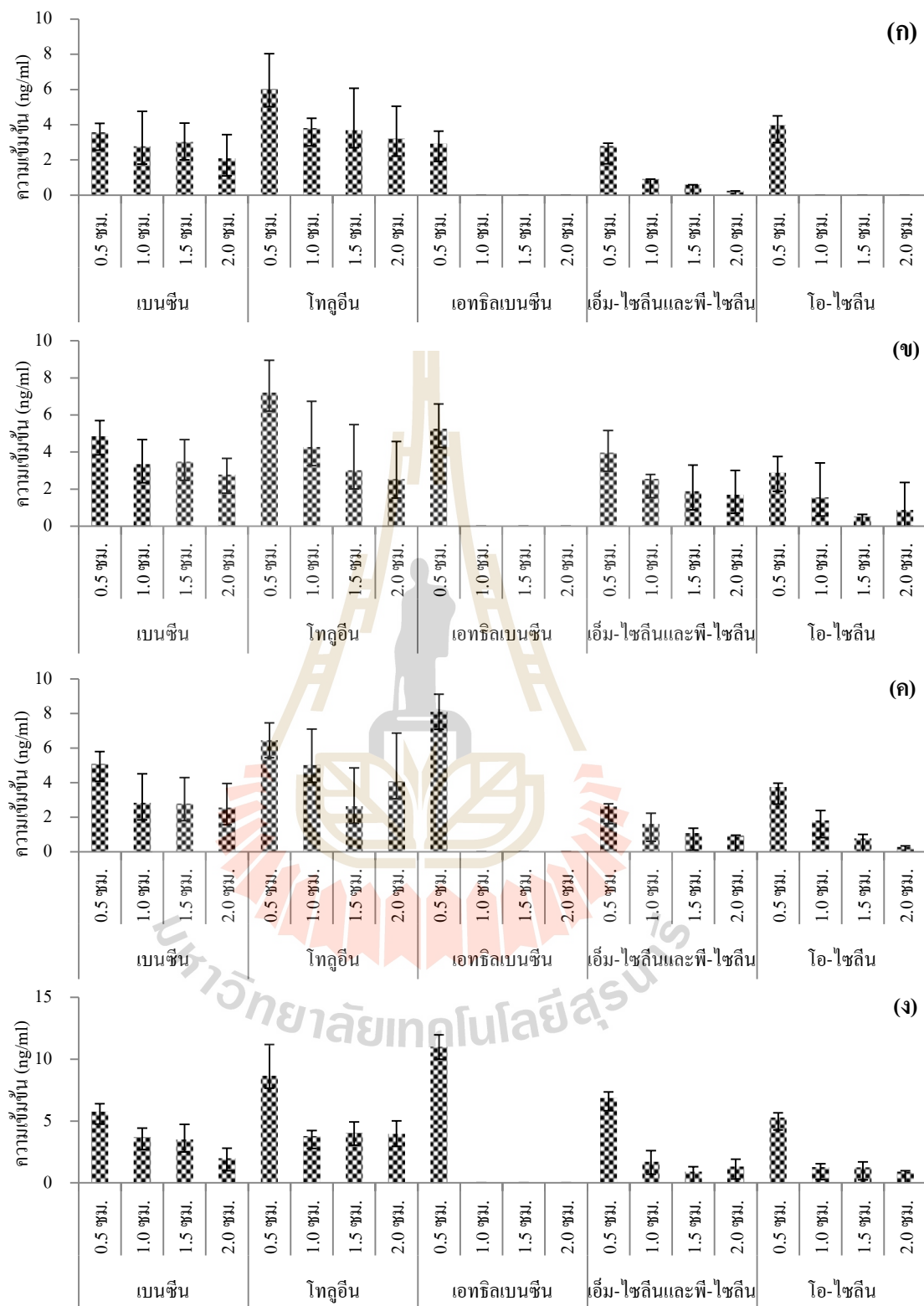
ดังนั้น อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นสามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX ได้ในบรรยากาศแบบปิดที่มีระดับความเข้มข้นของสารทั้งสามช่วงที่ทำการทดลอง ทั้งนี้ ระดับความเข้มข้นต่ำเป็นช่วงความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่พบในบรรยากาศทั่วไป

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ได้จากการตรวจวัด ในกล่องทดลองที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง และสูง แสดงในตารางที่ ข.1, ข.2 และ ข.3 ของ ภาคผนวก ข ตามลำดับ

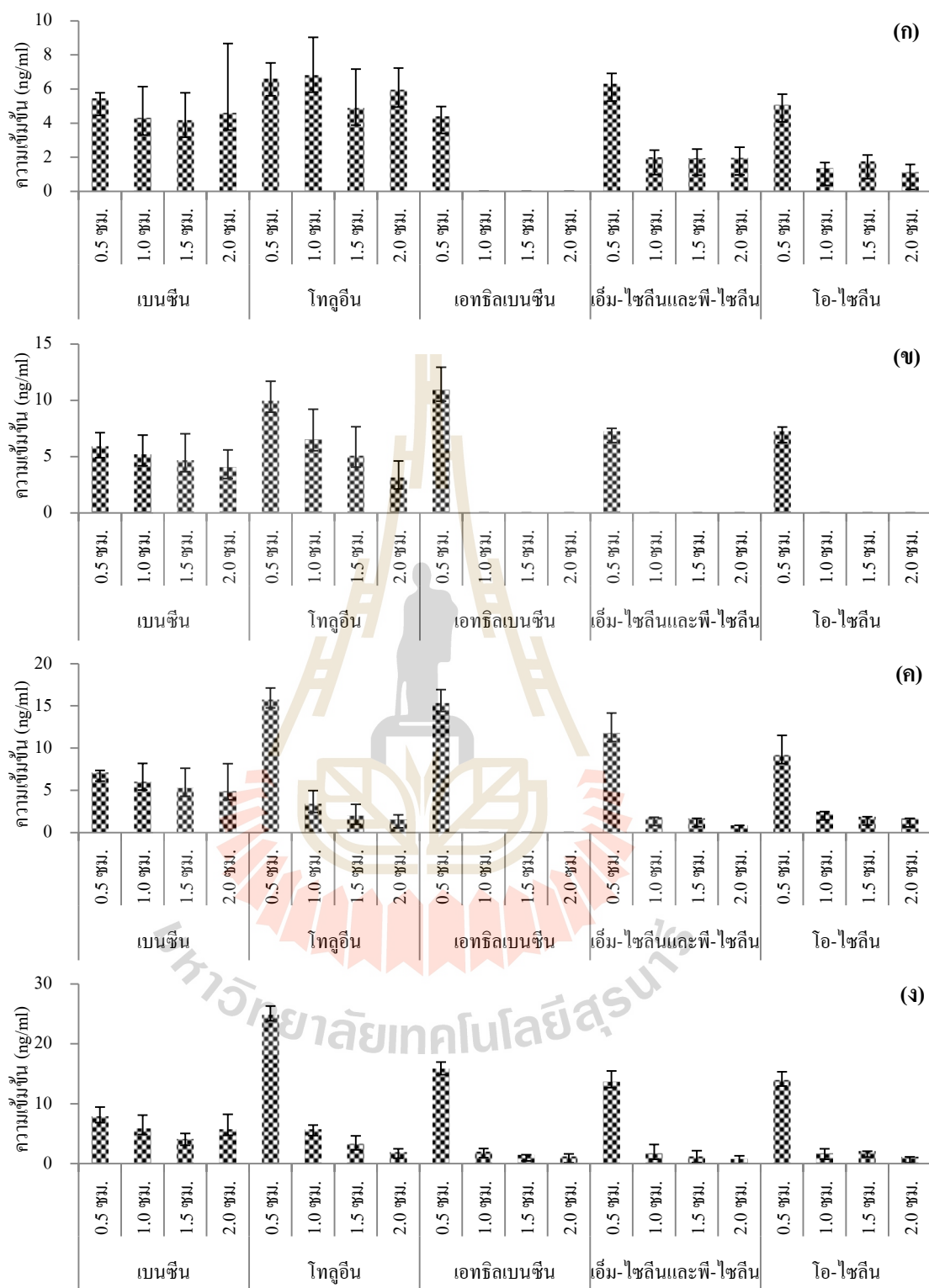




รูปที่ 4.10 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX เมื่อทำการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นต่ำที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ก) 1 วัน (ข) 3 วัน (ค) 5 วัน และ (ง) 7 วัน



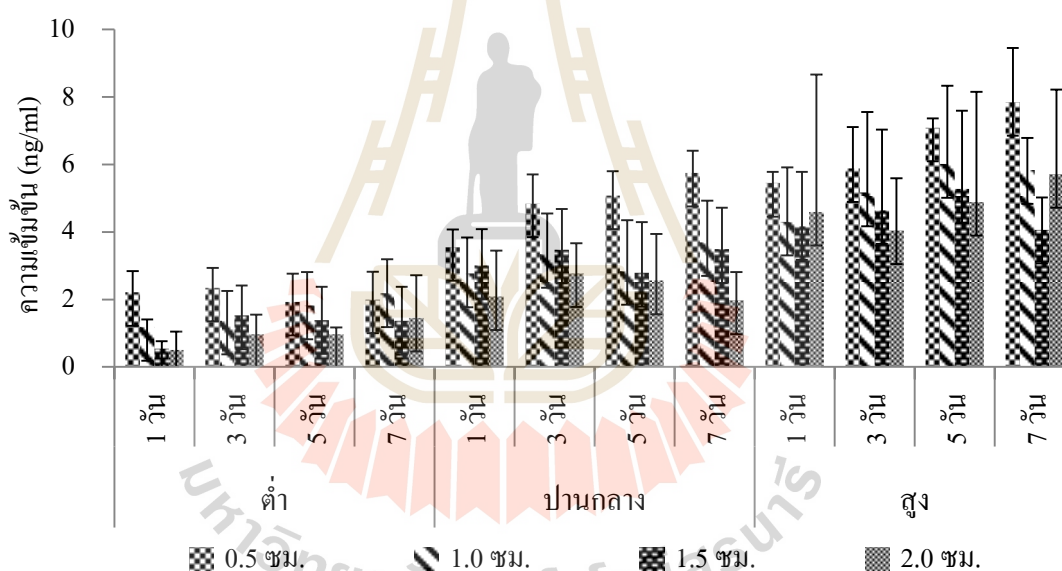
รูปที่ 4.11 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX เมื่อทำการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นปานกลางที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ก) 1 วัน (ข) 3 วัน (ค) 5 วัน และ (ง) 7 วัน



รูปที่ 4.12 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX เมื่อทำการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นสูงที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ก) 1 วัน (ข) 3 วัน (ค) 5 วัน และ (ง) 7 วัน

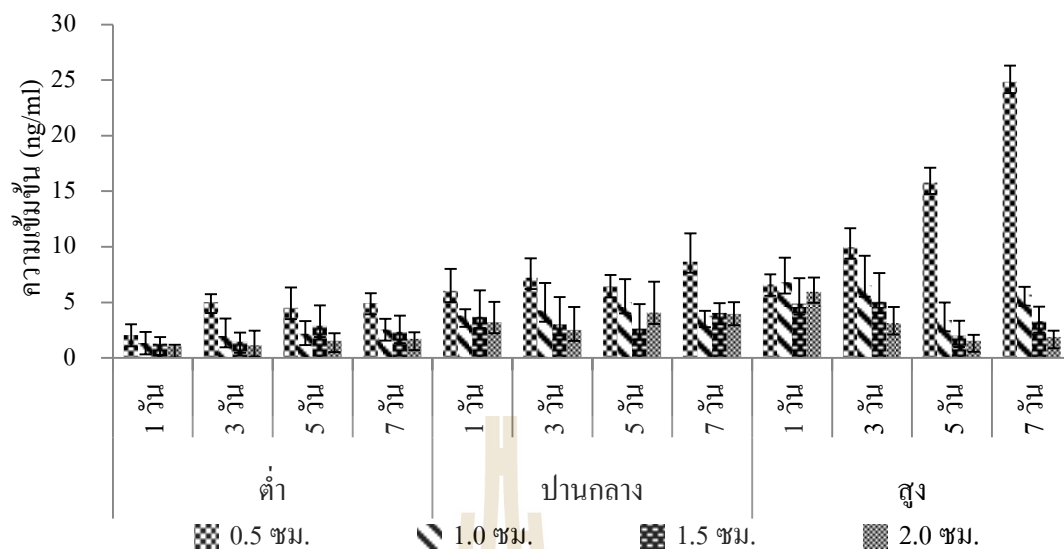
4.3.2 ระดับความหนาของสารดูดซับ

ระดับความหนาของสารดูดซับที่ใช้ในการศึกษานี้อ้างอิงจากระดับความลึกของอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟที่มีขายเชิงพาณิชย์ประมาณ 0.9-1.5 ซม. (Lan and Binh, 2012; Partyka et al., 2007; SKC Inc., 2014) และปรับปรุงเพิ่มเติมให้อยู่ในช่วง 0.5-2.0 ซม. และวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสามารถดูดซับได้แยกทีละส่วน ผลการศึกษาพบว่า อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นสามารถดูดซับเบนซีนได้ในทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับจนถึงระดับ 2.0 ซม. เมื่อทำการทดสอบการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นสูง ปานกลาง และต่ำ (รูปที่ 4.13) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (2-6 ng/ml) สามารถดูดซับได้ภายในระยะเวลาเพียง 1 วัน และพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับชั้นความหนา 0.5 ซม. ในทุกช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบ รองลงมาคือชั้นความหนา 1.0, 1.5 และ 2.0 ซม.



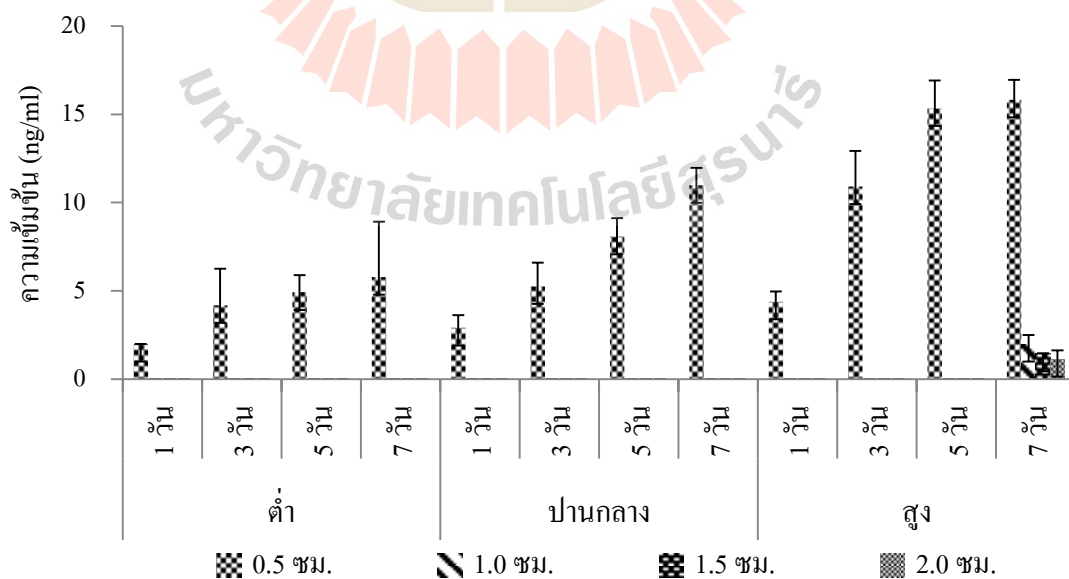
รูปที่ 4.13 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ

การดูดซับโทลูอินที่ระดับความเข้มข้นสูง ปานกลาง และต่ำ พบว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสามารถดูดซับได้ในทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับจนถึงระดับ 2.0 ซม. โดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับเพียง 1 วัน และพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่ชั้นบนสุด 0.5 ซม. รองลงมาคือชั้นความหนา 1.0, 1.5 และ 2.0 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4.14



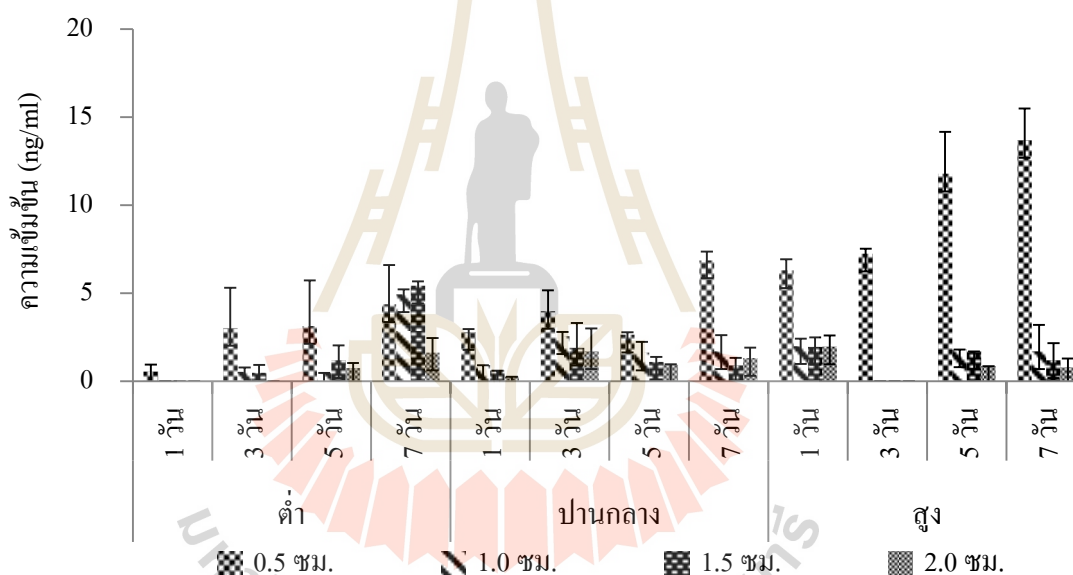
รูปที่ 4.14 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ

เมื่อทดสอบการดูดซับเอทิลเบนซีนที่ระดับความเข้มข้นสูง ปานกลาง และต่ำ ผลการวิเคราะห์สามารถตรวจพบเฉพาะชั้นบนสุดของสารดูดซับที่ระดับชั้นความหนา 0.5 ซม. แต่ระยะเวลาในการดูดซับ 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้นสูงตรวจพบในทุกะดับชั้นความหนาของสารดูดซับจนถึงระดับ 2.0 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4.15

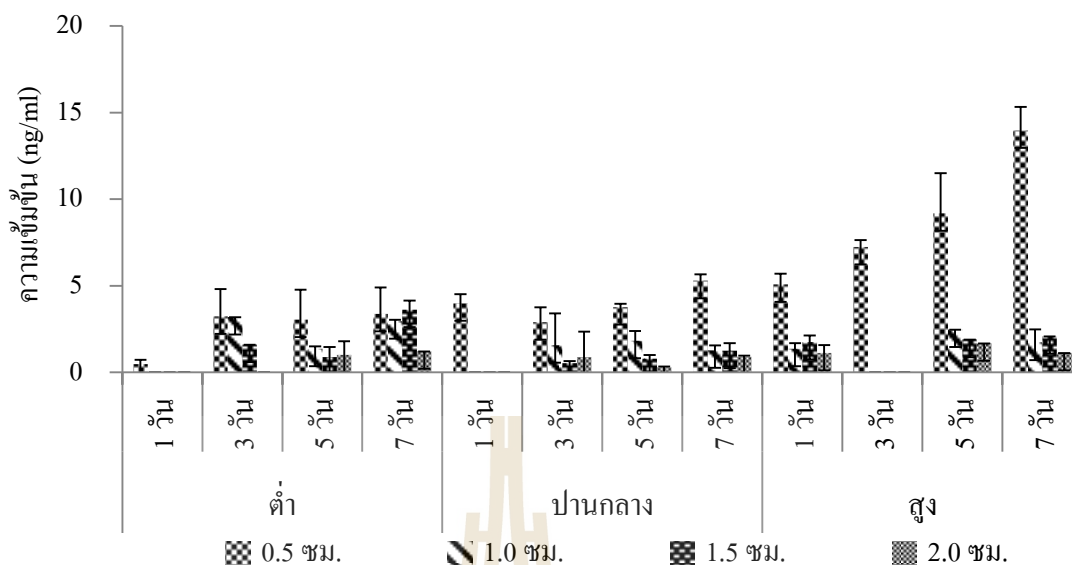


รูปที่ 4.15 ปริมาณความเข้มข้นของเอทิลเบนซีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ

สำหรับไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ คือ เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ โอ-ไซลีน เมื่อทำการทดสอบการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นสูง ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถตรวจพบได้ในทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับเมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 วัน 5 วัน และ 7 วัน แต่ที่ระยะเวลา 3 วัน สามารถตรวจพบได้เฉพาะชั้นบนสุดของสารดูดซับ การทดสอบการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นปานกลางอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับเอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีนได้ในทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับจนถึงระดับ 2.0 ซม. ทุกช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ส่วนโอ-ไซลีนตรวจพบได้ในทุกระดับชั้นความหนาเมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน และที่ระดับความเข้มข้นต่ำสามารถตรวจพบเอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ โอ-ไซลีนได้ชัดเจนเมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 3 วันขึ้นไป ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17



รูปที่ 4.16 ปริมาณความเข้มข้นของเอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ



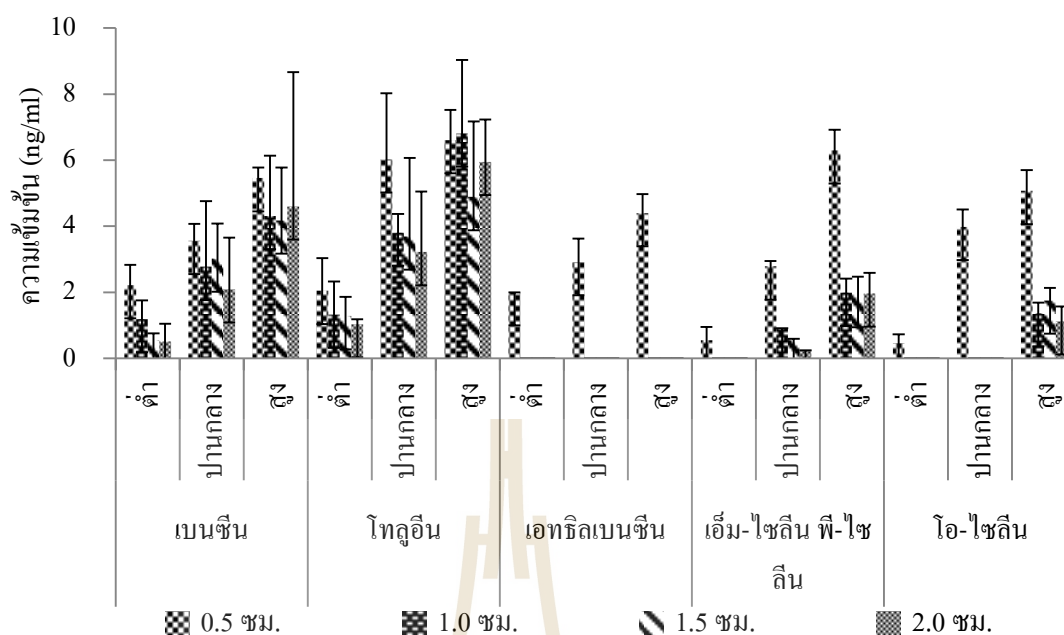
รูปที่ 4.17 ปริมาณความเข้มข้นของโอ-ไซลีน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ

ดังนั้นจากผลการศึกษาระดับชั้นความหนาของสารดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้น แสดงให้เห็นว่าสารกลุ่ม BTEX สามารถถูกดูดซับผ่านความหนา 2.0 ซม. ทั้งนี้ การดูดซับสารของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างมีความเกี่ยวข้องกับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดังอธิบายในลำดับถัดไป

4.3.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX แบ่งระยะเวลาทดสอบออกเป็น 1, 3, 5 และ 7 วัน ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX ได้ชัดเจนในทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับเมื่อทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นสูง ปานกลาง และต่ำ แต่เอทิลเบนซีนตรวจพบในทุกระดับชั้นความหนาเมื่อทำการทดสอบการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นสูง สำหรับการเก็บตัวอย่างที่ใช้เวลาสั้นลง คือ 5 วัน 3 วัน และ 1 วัน พบว่า อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX ได้ โดยทะลุถึงระดับชั้นความหนาของสารดูดซับ 2.0 ซม. ที่ระดับความเข้มข้นสูง ปานกลาง และต่ำ ยกเว้นเอทิลเบนซีนที่สามารถตรวจพบได้เฉพาะชั้นบนสุดของสารดูดซับ

สรุปได้ว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นสามารถใช้เก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในระดับความเข้มข้นต่ำ ช่วง 2-10 ng/ml ได้ภายในเวลา 1 วัน โดยถ่านกัมมันต์หนา 2.0 ซม. ยังพบการดูดซับเบนซีน โทลูอีน เอ็ม-ไซลีน และพี-ไซลีน ในชั้นล่างสุด (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.18 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 1 วัน แบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ

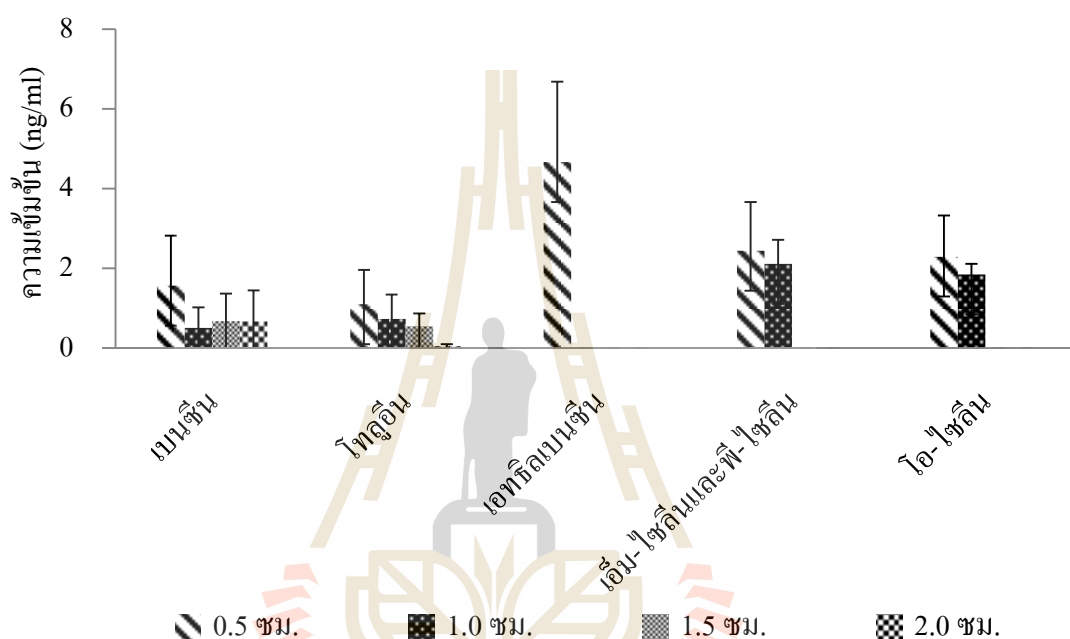
4.3.4 การยืนยันสถานะที่เหมาะสมของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นจากเงินไนท์ที่ได้จากการทดลอง

การยืนยันสถานะที่เหมาะสมของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟทดลองในกล่องทดลองและในบรรยากาศทั่วไป โดยเก็บตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่ำ เป็นเวลา 1 วัน และระดับความหนาของสารดูดซับ 4 ส่วน คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ซม. ก่อนเริ่มทำการทดลองผู้วิจัยได้สร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ของสารกลุ่ม BTEX เฉพาะสำหรับระดับความเข้มข้นต่ำ ปริมาณความเข้มข้นของกราฟมาตรฐานอยู่ในช่วง 1-11 ng/ml พบว่าค่า Coefficient of Determination (r^2) ของกราฟมาตรฐานมีค่ามากกว่า 0.99 ดังข้อมูลในตารางที่ ค.1 และรูปที่ ค.1 ของภาคผนวก ค รายละเอียดของการทดลองมีดังนี้

4.3.4.1 การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง

การทดลองเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ โอ-ไซลีน อยู่ในช่วง 2-6, 6-10, 3-5, 5-7 และ 3-5 ng/ml ตามลำดับ (Pakanon, 2011; Thammakhet et al., 2006) โดยทำการเก็บตัวอย่าง 1 วัน 20 ชั่วโมง พบว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นสามารถดูดซับเบนซีนและโทลูอีนได้ในทุกระดับชั้นความหนาของสารดูดซับ แต่โทลูอีนตรวจพบ

ชัดเจนในชั้นความหนา 0.5-1.5 ซม. ส่วนชั้นความหนา 2.0 ซม. ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ สำหรับเอทิลเบนซีน ตรวจพบเฉพาะชั้นบนสุดของสารดูดซับ ส่วนเอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ตรวจพบเฉพาะที่ระดับชั้นความหนา 0.5 ซม. และ 1.0 ซม. ดังข้อมูลในตารางที่ 4.1 ของภาคผนวก ง และรูปที่ 4.19 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบภายในกล่องทดลอง โดยแบ่งตามระดับความหนาของสารดูดซับ

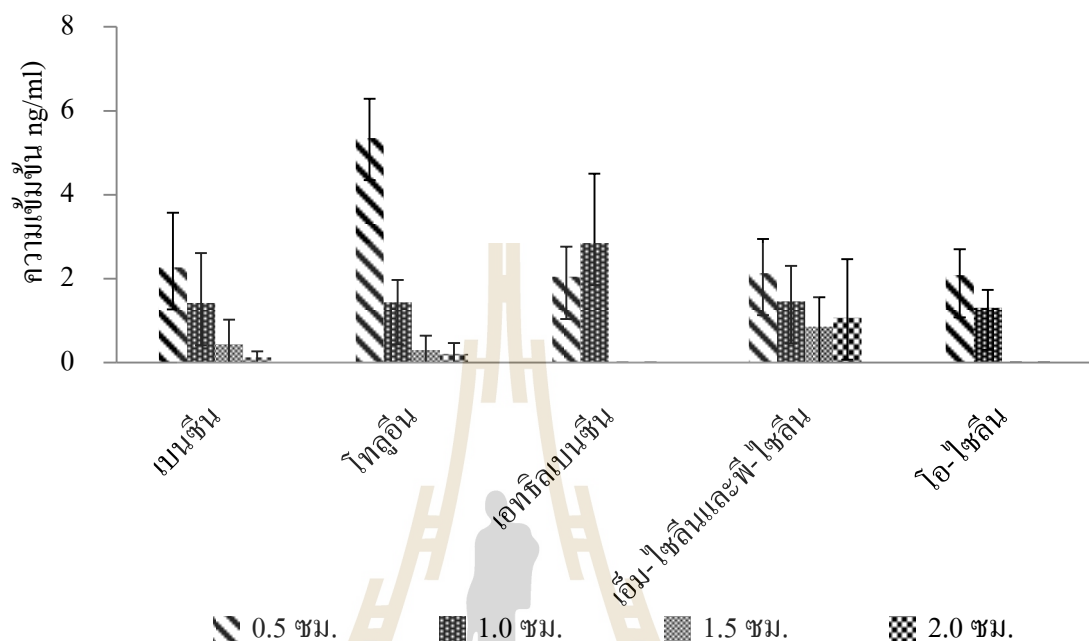


รูปที่ 4.19 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบภายในกล่องทดลองที่ระยะเวลา 1 วัน

4.3.4.2 การทดลองเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไป

การทดลองเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปทำได้โดยการนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่จัดทำขึ้นไปติดตั้งบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา คือ บริเวณห้าแยกหัวรถไฟ โดยทำการเก็บตัวอย่าง 1 วัน 20 ชั่วโมง พบว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นสามารถดูดซับเบนซีนและโทลูอีนได้ในทุกชั้นความหนาของสารดูดซับ โดยตรวจพบชัดเจนในชั้นความหนา 0.5-1.5 ซม. ส่วนชั้นความหนา 2.0 ซม. พบปริมาณความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ สำหรับเอทิลเบนซีนและโอ-ไซลีน ตรวจพบเฉพาะที่ระดับชั้นความหนา 0.5 ซม. และ 1.0 ซม. เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน ตรวจพบได้ในทุกระดับชั้นความหนาของ

สารดูดซับจนถึงระดับชั้นความหนา 2.0 ซม. ดังข้อมูลในตารางที่ ๓.2 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.20 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบในบรรยากาศทั่วไป



รูปที่ 4.20 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบในบรรยากาศทั่วไปที่ระยะเวลา 1 วัน

ดังนั้น อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับสารกลุ่ม BTEX ได้ แต่ยังพบการทะลุผ่านถึงระดับชั้นความหนา 2.0 ซม. โดยระดับชั้นความหนา 0.5 ซม. พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือชั้นความหนา 1.0 ซม. ส่วนชั้นความหนา 1.5 ซม. และ 2.0 ซม. ตรวจพบค่าปริมาณความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือทางสถิติ ANOVA พบว่าชั้นความหนา 1.5 ซม. และ 2.0 ซม. มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สภาพอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX มีช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27.0-33.0 องศาเซลเซียส และ 26.0-32.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 60.2-62.2% สำหรับสภาพอากาศในช่วงที่ทำการทดลองเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปมีช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26.1-33.0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 57.0-62.2%

การตรวจพบเบนซีน โทลูอีน เอ็ม-ไซลีน และพี-ไซลีน ที่ระดับความหนา 2.0 ซม. สะท้อนให้เห็นว่า การใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นอาจมีปัญหาการทะลุผ่าน

(Breakthrough) ของชั้นดูดซับที่มีความหนา 2.0 ซม. จึงทำเสริมด้วยความหนา 0.5 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นชั้นตรวจสอบการทะลุผ่าน

ทั้งนี้ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นมีอัตราการดูดซับ (Uptake Rate) ซึ่งได้จากการคำนวณตามกฎข้อที่หนึ่งของฟิกค์ (Fick's First Law of Diffusion) คือ เบนซีน สูงสุดที่ 2.31 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที รองลงมาคือ โทลูอิน และไซลีน โดยพี-ไซลีนมีอัตราการดูดซับต่ำที่สุด เท่ากับ 1.67 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ต่ำกว่าอัตราการดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์ ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.6 ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่จัดทำขึ้นมีความไวในการดูดซับเบนซีนและโทลูอินสูงกว่าเอทิลเบนซีนและไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ ทั้งนี้อัตราการดูดซับมีสัดส่วนโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารและพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและแปรผกผันกับความยาวของเส้นทางการแพร่ ตามกฎข้อที่หนึ่งของฟิกค์ (Fick's First Law of Diffusion) (Nollet, 2006) สำหรับวิธีการคำนวณอัตราการดูดซับอ้างอิงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.6 อัตราการดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอด

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	อัตราการดูดซับ (Uptake Rate) (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)		
	งานวิจัยครั้งนี้	Drager ORSA-5 (MDHS 88, 1997)	Radiello (MDHS 88, 1997)
เบนซีน	2.31	6.44	80
โทลูอิน	2.11	5.72	74
เอทิลเบนซีน	1.89	5.20	-
เอ็ม-ไซลีน	1.72	5.03	61
พี-ไซลีน	1.67	5.04	61
โอ-ไซลีน	1.81	5.45	61

4.4 การประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไป

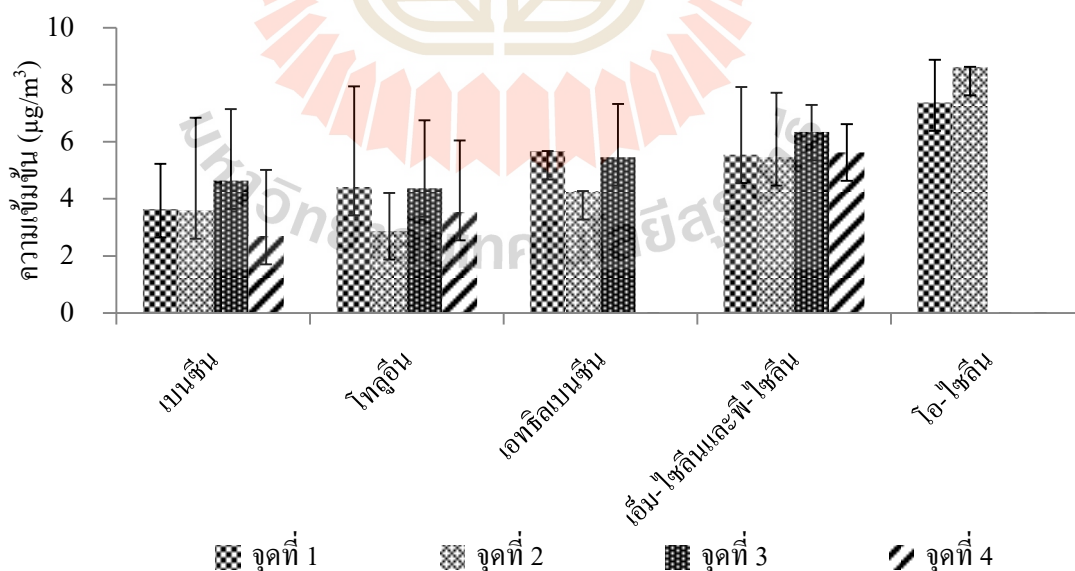
การประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไป มีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

4.4.1 การประเมินอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

การเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนที่ได้รับอิทธิพลจากการปล่อยไอเสียจากยานพาหนะ โดยติดตั้งบริเวณแยกถนนที่มีการจราจรคับคั่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 4 จุด คือ จุดที่ 1 บริเวณห้าแยกหัวรถไฟ จุดที่ 2 แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง จุดที่ 3 สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย และจุดที่ 4 คือ สถานีสูบน้ำเสีย เทศบาลนครนครราชสีมา (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเทศบาลนครนครราชสีมา) ติดตั้งที่ระดับความสูง 1.5-2.0 เมตรจากระดับพื้นดิน ในระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 เมตร พบว่าสามารถตรวจพบปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนและโทลูอินที่ระดับชั้นความหนาของสารดูดซับทั้ง 2 ส่วน คือ ชั้นบนหนา 2.0 ซม. และชั้นล่าง 0.5 ซม. โดยปริมาณความเข้มข้นที่ตรวจพบในชั้นล่างมีค่ามากกว่าชั้นบนหารด้วยสิบ แสดงว่ามีการทะลุผ่าน (Breakthrough) (NIOSH Method, 2003) อาจมีสาเหตุจากสภาพอากาศในวันเก็บตัวอย่างมีความชื้นสูงจากฝนตก ไอระเหยของน้ำจะถูกดูดซับด้วยสารดูดซับจึงเพิ่มความชื้นไปได้หรือเพิ่มโอกาสของการทะลุผ่านของตัวถูกดูดซับ ทั้งนี้ ความชื้นที่มากขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของการทะลุผ่าน (พัชรี วีระพจนานันท์, 2543) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซีนและโทลูอินที่ตรวจพบที่ชั้นความหนา 2.0 ซม. และ 0.5 ซม. ที่ตรวจวัดได้บริเวณห้าแยกหัวรถไฟ เบนซีน เท่ากับ 5.70 ± 0.65 และ $2.34 \pm 0.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โทลูอิน เท่ากับ 5.80 ± 1.52 และ $1.22 \pm 0.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ที่แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง เบนซีน เท่ากับ 3.75 ± 3.39 และ $2.49 \pm 1.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โทลูอิน เท่ากับ 5.07 ± 3.03 และ $4.52 \pm 1.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ที่สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย เบนซีน เท่ากับ 6.83 ± 0.15 และ $0.94 \pm 1.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โทลูอิน เท่ากับ 3.21 ± 2.25 และ $0.02 \pm \text{ND} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ที่สถานีสูบน้ำเสีย (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ) เบนซีน เท่ากับ 3.63 ± 3.21 และ $0.94 \pm 1.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โทลูอิน เท่ากับ $5.84 \pm \text{ND}$ และ $0.25 \pm \text{ND} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ สำหรับโทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ไม่พบการทะลุผ่าน รายละเอียดปริมาณความเข้มข้นที่ตรวจพบอ้างอิงตามตารางที่ ฅ.1 ในภาคผนวก ฅ

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเพิ่มระดับความหนาของสารดูดซับในส่วนแรกจาก 2.0 ซม. เป็น 3.0 ซม. และเพิ่มแรงในการกดอัดถ่านกัมมันต์จาก 2,000 กรัม เป็น 3,000 กรัม และนำไปเก็บตัวอย่างซ้ำผลการทดลองพบว่า ระดับความหนาชั้นล่าง 0.5 ซม. ไม่พบสารกลุ่ม BTEX แสดงว่าไม่มีการทะลุ

ผ่านขณะเก็บตัวอย่าง สำหรับข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาที่ได้จากการเก็บตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง ที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด จำนวนตัวอย่างครั้งละ 5 ซ้ำต่อจุดเก็บตัวอย่าง อ้างอิงตามตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข ทำการตรวจสอบทางสร้าง Boxplot ศึกษาการแจกแจงของข้อมูลและค่าต่ำสุดหรือสูงสุดที่ผิดปกติ (Outlier) ของข้อมูลพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถดูดซับได้ในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันและไม่พบค่าข้อมูลที่มีค่าต่ำสุดหรือสูงสุดที่ผิดปกติ (Outlier) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่จุดเก็บตัวอย่างเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกัน และผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นโดยใช้ ANOVA พบว่า เบนซีน เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีนที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3 โทลูอินที่จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เอทิลเบนซีนไม่สามารถตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4 และปริมาณความเข้มข้นที่ตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับ โอ-ไซลีนไม่สามารถตรวจพบที่จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3 และจุดที่ 4 ตรวจพบเฉพาะจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ดังข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 4.21 สำหรับสภาพอากาศในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างมีช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 52-62 %



รูปที่ 4.21 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด

ทั้งนี้ ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ทำการศึกษาเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะในเขตชุมชนอื่นในประเทศไทย พบว่า เขตเทศบาลนครนครราชสีมาที่มีค่าปริมาณความเข้มข้นต่ำกว่าบริเวณป่าจรดประจำทางที่ศูนย์การค้าสยามและอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร แต่มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ จ.สงขลา ดังข้อมูลในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาเปรียบเทียบกับเขตชุมชนอื่นในประเทศไทย

จังหวัด	ปริมาณความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						อ้างอิง
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	เอ็ม-ไซลีน	พี-ไซลีน	โอ-ไซลีน	
นครราชสีมา (เก็บตัวอย่าง พ.ศ. 2559)							งานวิจัยครั้งนี้
- ห้าแยกหัวรถไฟ	ND-5.77	0.69- 12.89	ND- 5.68	ND-10.01		ND- 8.44	
- แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง	0.32- 13.09	0.42- 4.66	ND- 4.27	ND-9.21		ND- 8.63	
- สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย	1.78- 9.85	1.87- 8.55	ND- 7.61	ND-7.64		ND	
- สถานีสูบน้ำเสียด	0.29- 8.70	0.62- 8.95	ND	ND-7.21		ND	
กรุงเทพมหานคร (เก็บตัวอย่าง พ.ศ. 2553)							Pakanon, 2011
- ป้ายรถประจำทางที่ศูนย์การค้าสยาม	17.91- 30.91	64.21- 180.14	3.77- 11.11	9.11- 20.83	NA	6.21- 13.28	
- อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	5.58- 13.41	15.33- 48.66	1.58- 3.58	2.56- 7.25	NA	2.21- 8.64	

หมายเหตุ ND = Not Detected, NA = Not Analyzed

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนคร นครราชสีมาเปรียบเทียบกับเขตชุมชนอื่นในประเทศไทย (ต่อ)

จังหวัด	ปริมาณความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						อ้างอิง
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิล	เอ็ม-ไซ	พี-ไซ	โอ-ไซ	
			เบนซีน	ลีน	ลีน	ลีน	
สงขลา							
(เก็บตัวอย่าง พ.ศ. 2546)							
- เทศบาลนครหาดใหญ่		1.00- 5.40	4.30- 80.30		NA	ND- 66.7	Thammakhet et al., 2006

หมายเหตุ ND = Not Detected, NA = Not Analyzed

สำหรับปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนในบรรยากาศริมถนนที่ตรวจพบในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ตารางที่ 4.8) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยมีค่าไม่เกินค่าเฝ้าระวัง 24 ชั่วโมง ของกรมควบคุมมลพิษ คือไม่เกิน 7.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3 พบค่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากเป็นจุดตัดของทางหลวงสำคัญทั้งสามสายทำให้มีการจราจรคับคั่งตลอดทั้งวัน อีกทั้งเป็นถนนที่ผ่านหน้าห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่หลายแห่งทำให้มีไอเสียที่ปล่อยออกจากยานพาหนะที่เคลื่อนผ่านเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.8 ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนริมถนนสายหลักในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา เปรียบเทียบกับค่าเฝ้าระวัง 24 ชั่วโมง ของกรมควบคุมมลพิษ

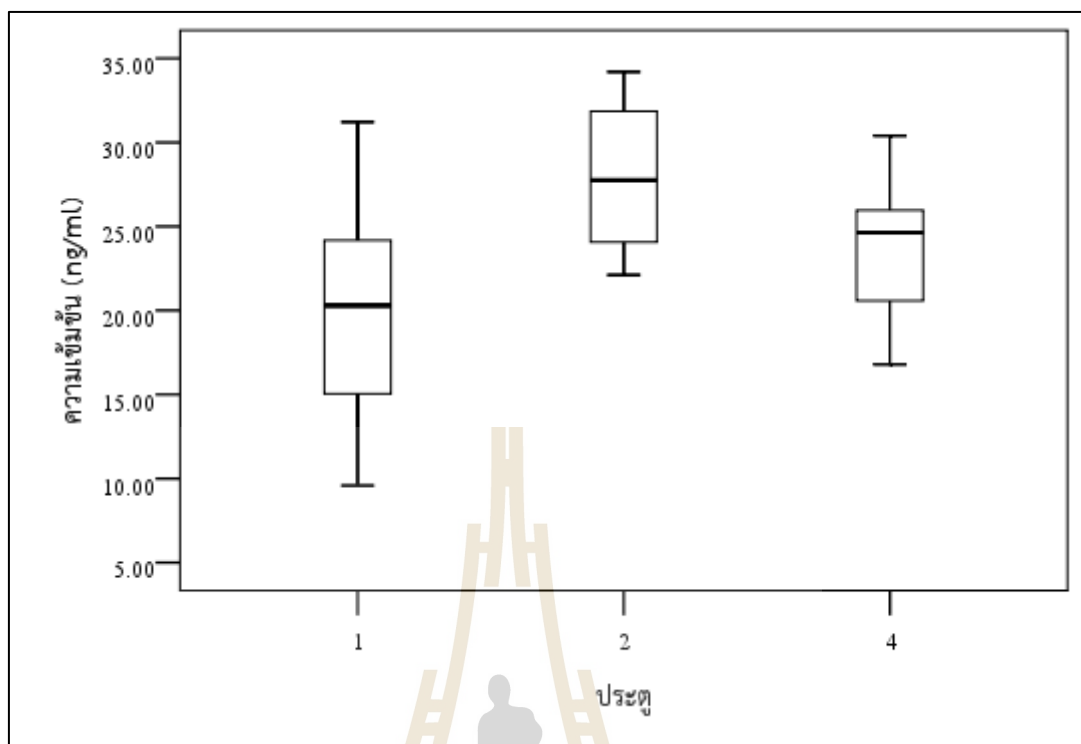
จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		กรมควบคุมมลพิษ
	งานวิจัยครั้งนี้		
	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
จุดที่ 1 ห้าแยกหัวรถไฟ	ND-5.77	3.65±1.58	
จุดที่ 2 แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง	0.32-13.09	3.60±3.24	
จุดที่ 3 สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย	1.78-9.85	4.64±2.51	7.60
จุดที่ 4 สถานีสูบน้ำเสีย	0.29-8.70	2.70±2.31	

หมายเหตุ ND = Not Detected

4.4.2 การประยุกต์ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสำหรับเบนซีนในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนปฏิบัติการเก็บตัวอย่างเบนซีนในบรรยากาศแบบใช้สารดูดซับและการวิเคราะห์เชิงปริมาณให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี เก็บตัวอย่าง 3 จุด คือ บริเวณประตูทางเข้า-ออกของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประตู 1, 2 และ 4 โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดเท่ากับ 3, 5 และ 4 วัน ตามลำดับ จำนวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างจุดละ 6 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 18 ตัวอย่าง จากผลการศึกษาเมื่อนำข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนที่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟดูดซับได้แต่ละจุดเก็บตัวอย่างมาทำการตรวจสอบด้วย Boxplot ศึกษาการแจกแจงของข้อมูลและค่าต่ำสุดหรือสูงสุดที่ผิดปกติของข้อมูล ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนมีค่าใกล้เคียงกันและไม่พบข้อมูลที่มีค่าต่ำสุดหรือสูงสุดที่ผิดปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

ดังนั้นจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่นำมาประยุกต์ใช้ในปฏิบัติการนี้มีความแม่นยำในการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากให้ผลการเก็บตัวอย่างไม่แตกต่างกันเมื่อทำการเก็บตัวอย่างที่จุดเก็บตัวอย่างเดียวกัน และแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสามารถนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างในสภาวะที่แตกต่างจากสภาวะที่ทำการศึกษาได้ แต่อาจให้ผลการศึกษาที่แตกต่างออกไปจากงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.22 Boxplot ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนบริเวณประตูทางเข้า-ออกของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประตู 1, 2 และ 4

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX แบบพาสซีฟชนิดหลอดสามารถจัดทำขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการด้วยวัสดุที่หาได้ง่ายภายในประเทศ และมีขั้นตอนในการจัดทำไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยใช้ขวดแก้วไว้อัลฟาเกลียวทรงกระบอกปริมาตร 10 มิลลิลิตร ขนาดความสูง 70 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร นำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง มีน้ำหนักเบา ใขของสารกลุ่ม BTEX ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกรด ขนาด 20/40 เมช ที่บรรจุอยู่ภายในขวดไว้อัล ถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว มีขายในเชิงพาณิชย์ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นมีค่าใช้จ่ายประมาณ 100-120 บาทต่อขวด ต่ำกว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ขายในเชิงพาณิชย์ที่มีราคาระหว่าง 500-700 บาทต่อชิ้น

การวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันบนผิวของถ่านกัมมันต์พบธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ พันธะ O-H ของหมู่แอลกอฮอล์ พันธะ C-H ของหมู่แอลเคน พันธะ C≡C ของหมู่แอลคีน พันธะ C=O ของหมู่คาร์บอนิล พันธะ C=C ในวงอะโรมาติก พันธะ C-O ของหมู่แอลกอฮอล์ และพันธะ C-N ของหมู่เอมิฟาติกเอมีน และพบแบนด์เลขคลื่นช่วง 1450-1600 ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ C=C ในวงอะโรมาติก พื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีความพรุนและมีรูพรุนหรือช่องว่างภายในจำนวนมาก มีรูพรุนขนาดเล็กที่มีรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตรกระจายอยู่เป็นจำนวนมากจากการวัดด้วยเครื่องบีอีที (BET Surface Area Pore Size and Pore Volume Distribution Analyzer) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย และการวิเคราะห์พื้นที่ผิวพบว่า มีประมาณ 1,032 ตารางเมตรต่อกรัม อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยทั่วไป คือ 600-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556; กิตติภาส นิ่งสูงเนิน, 2555)

สารกลุ่ม BTEX ที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ถูกสกัดด้วยสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ และวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดตัวตรวจวัดแบบเฟรมไอออไนเซชัน (GC/FID) โดยใช้คอลัมน์แบบแคปิลารี ชนิด HP-624 ขนาดความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม 1.80 ไมครอน การแยกกันของพีคของสารกลุ่ม BTEX ที่อัตราการไหลของฮีเลียม ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน เท่ากับ 2.5, 30, 300 และ 30

มิลลิลิตรต่ออนาที ตามลำดับ ใช้อุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้น 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเพิ่ม 4 องศาเซลเซียสต่ออนาที อุณหภูมิสุดท้าย 110 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection Port) และอุณหภูมิตัวตรวจวัด เท่ากับ 200 และ 250 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การศึกษาสภาวะของการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ที่จัดทำขึ้นในกล่องทดลองกว้าง 35 ซม. ยาว 40 ซม. สูง 30 ซม. และติดเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว ทั้งภายในและภายนอก สภาวะที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ระยะเวลาที่ทดสอบการเก็บตัวอย่าง คือ 1, 3, 5 และ 7 วัน มีการแบ่งความหนาของสารดูดซับเป็น 4 ส่วน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ซม. แต่ละส่วนบรรจุด้วยถ่านกัมมันต์ 650 มิลลิกรัม พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ระดับความหนา 2.0 เซนติเมตร และเสริมด้วยความหนา 0.5 เซนติเมตร เพื่อตรวจวัดการทะลุผ่าน (Breakthrough) เก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ได้ในระดับ 2-10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ภายในระยะเวลา 1 วัน อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นมีอัตราการดูดซับ (Uptake Rate) สารเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ โอ-ไซลีน เท่ากับ 2.31, 2.11, 1.89, 1.72, 1.67 และ 1.81 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่ออนาที ตามลำดับ โดยความไวในการดูดซับเบนซีน และโทลูอีน สูงกว่าเอทิลเบนซีนและไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์

การนำไปทดสอบเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในพื้นที่จริงด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างบริเวณถนนที่มีการจราจรคับคั่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 4 จุด คือ จุดที่ 1 บริเวณห้าแยกห้วยรถไฟ จุดที่ 2 แยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง จุดที่ 3 สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย และจุดที่ 4 คือ สถานีสูบน้ำเสีย (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ) พบว่า ภายใต้สภาพแวดล้อมจริงที่ไม่มีการควบคุม มีการทะลุผ่านของสารกลุ่ม BTEX ลงสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ในส่วน 0.5 ซม. ด้านล่าง จึงเพิ่มระดับความหนาของชั้นถ่านกัมมันต์จาก 2.0 ซม. เป็น 3.0 ซม. และเพิ่มแรงในการกดอัดจาก 2.0 กิโลกรัม เป็น 3.0 กิโลกรัม การนำอุปกรณ์ไปเก็บตัวอย่างซ้ำไม่พบการทะลุผ่านของสารกลุ่ม BTEX

บริเวณห้าแยกห้วยรถไฟพบความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน และ โอ-ไซลีน อยู่ในช่วง ND-5.77, 0.69-12.89, ND-5.68, ND-10.01 และ ND-8.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ บริเวณแยกถนนราชดำเนินกับถนนโพธิ์กลาง อยู่ในช่วง 0.32-13.09, 0.42-4.66, ND-4.27, ND-9.21 และ ND-8.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ บริเวณสามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย อยู่ในช่วง 1.78-9.85, 1.87-8.55, ND-7.61, ND-7.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ไม่สามารถตรวจพบ โอ-ไซลีน และสถานีสูบน้ำเสีย (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ) อยู่ในช่วง 0.29-8.70, 0.62-8.95, ND-7.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ไม่สามารถตรวจพบเอทิลเบนซีนและโอ-ไซลีน สำหรับค่าปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนในบรรยากาศริมถนนสายหลักในเทศบาลนครนครราชสีมาที่จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1, 2, 3

และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 3.60, 4.64 และ 2.70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่าเฝ้าระวัง 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 7.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของกรมควบคุมมลพิษ ทั้งนี้ หากปริมาณความเข้มข้นของเบนซินในบรรยากาศมีปริมาณสูง อาจเพิ่มโอกาสในการรับสัมผัสและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคของประชาชนได้สูงขึ้น โดยเฉพาะประชาชนที่มีอาชีพหรือทำกิจกรรมอยู่บริเวณริมถนน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้ผลงานวิจัย

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่จัดทำขึ้นเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศที่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะในเขตพื้นที่เมือง โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างเท่ากับ 24 ชั่วโมง การเก็บตัวอย่างควรเก็บซ้ำอย่างน้อย 2-3 ซ้ำ แต่ละซ้ำต้องมีจำนวนตัวอย่างไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง เพื่อเป็นการตรวจสอบความแม่นยำในการเก็บตัวอย่างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ กรณีที่นำอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นไปใช้ในสถานะที่แตกต่างจากที่ทำการศึกษ อาจทำให้ได้ผลการศึกษาที่แตกต่างออกไป

5.2.2 ข้อเสนอในการวิจัยต่อไป

1. ศึกษาผลของความชื้นต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้มีบางตัวอย่างที่มีการทะลุผ่านของสารเมื่อทำการเก็บตัวอย่างในช่วงที่มีฝนตก ทำให้ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้ให้ผลที่ไม่ดี จึงควรมีการศึกษาผลที่เกิดขึ้นในลำดับต่อไป เพื่อให้ได้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เทียบเคียงอุปกรณ์ที่มีขายในเชิงพาณิชย์
2. ศึกษาวิธีการสกัดตัวอย่างโดยใช้วิธีการให้ความร้อน (Thermal Desorption) เพื่อป้องกันการรบกวนของสารเบนซินในสารทำละลายคาร์บอน ไดซัลไฟด์
3. ศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณสารกลุ่ม BTEX โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัด
4. ศึกษาวิธีการคืนสภาพ (Regeneration) ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับแก๊สกลับมาใช้งานใหม่อีกครั้ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อถ่านกัมมันต์และลดของเสียที่เกิดจากการทดลอง

รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2551). กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ โดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2557). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2556. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กระทรวงพลังงาน. (2550). องค์ความรู้เรื่องการควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง. กรุงเทพมหานคร: สำนักความปลอดภัยธุรกิจน้ำมัน.
- กระทรวงมหาดไทย. (2520). ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสถานะสิ่งแวดล้อมในการทำงาน. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงมหาดไทย.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2555). คู่มือวิชาการ เรื่องสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกิจการ โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2555). กำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุม การรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กิตติภาส นิ่งสูงเนิน. (2555). ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสาร BTEX ด้วยวิธีเก็บอากาศแบบพาสซีฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เกรียงไกร ตั้งประเสริฐสุข. (2546). การพัฒนาและทดสอบการใช้ได้ของ Passive Air Sampler สำหรับก๊าซ NO_2 และ SO_2 . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิตติมา รุ่งรัตนอุบล. (2543). เบนซีน โทลูอีน และไซลีน ในไอเสียจากรถจักรยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สถานะสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปนัดดา ผู้มีจรรยา. (2551). การทำตัวดูดซับสารกลุ่ม BTEX ในอากาศจากกากตะกอนเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- “ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี” (2550, 28 กันยายน). **ราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 124 ตอนที่ 143 ง. หน้า 8-9.
- “ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)” (2520, 12 กรกฎาคม). **ราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 94 ตอนที่ 64.
- เพริศพิชัญ คณาธารณา, ปณิต ถาวรังกูร และจงดี ชรรรมเขต. (2552). **อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยในอากาศแบบพาสซีฟ**. คณะวิทยาศาสตร์: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พัชรี วีระพจนานันท์. (2543). ผลของความชื้นต่อการดูดซับไอระเหยสารอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พลัญญ์ โสภณากิจโกศล. (2544). การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว เพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนักโครเมียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ภัสพร เฉลิมรมย์. (2551). การพัฒนาชุดทดสอบสำหรับหาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศโดยรอบโดยใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภคนนท์ พรหมสุวรรณ. (2553). การตรวจวัดและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนจากสารกลุ่ม BTEX บริเวณป้ายรถโดยสารในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- รุจิรา ปิ่นแก้ว. (2556). การผลิตและเตรียมถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- วิญญู จิตสัมพันธ์เวช, วินัย สมบูรณ์, ภัณฑิรา เกตุแก้ว, ประภา เทพสินธุพสกุล และอภิษฎา มุ่งพัฒนกิจ. (2550). เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสาร BTEX จากอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ [ฉบับพิเศษ]. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร**. 30(4): 633-640.
- วิทยา ทาลา. (2555). การพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสำหรับหาปริมาณบีเทกซ์ในอากาศโดยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- วนิดา จีนศาสตร์. (2551). **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรวิทย์ วงศ์นิรามัยกุล. (2555). **การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่เขตเศรษฐกิจของจังหวัดภูเก็ตด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- วรรณมา เลาวกุล, เพลินพิศ พงษ์ประยูร, เดซี่ หมอกน้อย, อิทพล พ้ออมาตย์, อุทัย อุนะกุล, วรชน สุขสมบูรณ์ และสุทธิพงษ์ สุทธิสุข. (2550). **การประเมินการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากไอระเหยน้ำมันของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันแก๊สโซลล์**. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม.
- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2550). **การพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
- สุทัสสา วงศ์ราช. (2553). **การพัฒนาชุดเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์เพื่อใช้ในชุมชน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สุนทรี ศิริรัตน์ประภา. (2555). **การพัฒนาพาสซีฟแซมเปิลเลอร์สำหรับตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ มอก.900-2547**. กรุงเทพมหานคร
- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). (2017). **Threshold Limit Values for Chemical Substances in the Work Environment**. Cincinnati, American Conference of Governmental Industrial Hygienist.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2004). **Interaction Profile for Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene (BTEX)**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2014). **Toxic Substances Portal** Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.

- Amagai, T., Ohura, Takeshi., Sugiyama, T., Fusaya, M and Matsushita, H. (2002). Gas Chromatographic/Mass Spectrometric Determination of Benzene and Its Alkyl Derivatives in Indoor and Outdoor Air in Fuji, Japan. **Journal of AOAC International** 85 (1): 203-211.
- Ayer, G.P., Keywood, M.D., Gillett, R., Manins, P.C., Malfroy, H. and Bardsley, T. (1998). Validation of passive diffusion samplers for SO₂ and NO₂. **Atmospheric Environment** 32 (20): 3587-3592.
- Buczynska, A. J., et al. (2009). Atmospheric BTEX-concentrations in an area with intensive street traffic. **Atmospheric Environment** 43: 311-318.
- Campos, V .P., Cruz, L. P. S., Godoi, R. H. M., Godoi, F. L. and Tavares, T. M. (2010). Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO₂, NO₂, O₃ and H₂S in tropical areas. **Microchemical Journal** 96: 132-138.
- Cazetta, A.L., Junior, O.P., Vargas, A.M.M., Da silva, A.P., Zou, X., Asefa, T. and Almeida, V.C. (2013). Thermal regeneration study of high surface area activated carbon obtained from coconut shell: Characterization and application of response surface methodology. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 101: 53-60.
- Christensen, J.S. and Elton, J. (1998). **Soil and groundwater pollution from BTEX**. Department of Civil and Environmental Engineering: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Danish EPA. (2002). **Guidelines on Remediation of Contaminated Sites**. Copenhagen: Danish Ministry of the Environment.
- Fridh, S. and Stuart, A. L. (2014). Spatial variation in ambient benzene concentrations over a city park. **Journal of Environmental Health** 76 (6): 86-91.
- Gunatilaka, M. (2003). Concentration of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in Christchurch. **Environment Canterbury technical report**: 1-24.
- Hidayu, A.R., Mohamad, N.F., Matali, S. and Sharifah, A.S.A.K. (2013). Characterization of activated carbon prepared from oil palm empty fruit bunch using BET and FT-IR techniques. **Procedia Engineering** 68: 379-384.

- IARC (International Agency for Research on Cancer). (1987). **Summaries & evaluations: Benzene**. Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations: International Program on Chemical Safety.
- IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). (1985). Reporting physisorption data for gas/solid system with special reference to the determination of surface area and porosity. **Pure & Applied Chemistry** 57(4): 603-619.
- Kerbachi, R., Boughedaoui, M., Bounoua, L., Keddou, M. (2006). Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers. **Atmospheric Environment** 40: 3995-4003.
- Lan, T. T. N and Binh, N. T. T. (2012). Daily roadside BTEX concentrations in East Asia measured by the lanwatsu, radiello and ultra I skc passive samplers. **Journal of Science of the Total Environment** 441: 248-257.
- Lan, T. T. N. and Minh, P. A. (2013). BTEX pollution caused by motorcycles in the megacity of HoChiminh. **Journal of Environmental Sciences** 25(2): 348-356.
- Lee, S. C., Chiu, M. Y., Ho, K. F., Zou, S. C. and Wang, X. (2002). Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. **Journal of Chemosphere** 48: 375-382.
- Martin, N.A., Helmore, J.J., White, S., Barker Snook, I.L., Parish, A. and Gates, L.S. (2014). Measurement of nitrogen dioxide diffusive sampling rates for Palmes diffusion tubes using a controlled atmosphere test facility (CATFAC). **Atmospheric Environment** 94: 529-537.
- Method for the determination of hazardous substances health and safety laboratory (MDHS 88). (1997). **Health and safety book**. Norwich: Health and Safety Executive.
- Minh, P. A. M. and Lan, T. T. N. (2012). BTEX pollution caused by motorcycles in the megacity of Hochiminh. **Journal of Environmental Sciences** 25 (2): 348-356.
- Muttamara, S., Leong, S. T. and Lertvisansak, I. (1998). Assessment of benzene and toluene emissions from automobile exhaust in Bangkok. **Environmental Research Section A** 81: 23-31.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2003). **NIOSH Manual of Analytical Method 1501** (4th ed.). Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services.

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2016). **NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards**. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention.
- Nollet, Leo M. L. (2006). **Chromatographic analysis of the environment** (Vol. 93). (3rd ed.). Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2016). **Air Contaminants**. Washington, D.C: Occupational Safety and Health Administration.
- Ochemonline. (2011). **Infrared spectroscopy absorption table** [On-line]. Available: http://www.ochemonline.com/Infrared_spectroscopy_absorption_table
- Ohio Department of Health (ODH). (2014). **BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene)**. Ohio: Bureau of Environmental Health.
- Ottaviani, F., Retini, G., Cangiotti, M., Mangani, F. and Segre, U. (2002). Characterization of the surface interacting ability of carbon black by means of electron paramagnetic resonance analysis of adsorbed Cu²⁺, supported by surface analysis and atomis absorption. **Spectro Acta Part A** 688: 1129–1141.
- Pakanon, P. (2011). Health risk assessment of BTEX at bus stop areas in Bangkok. **In 8th Conferences Kasetsart University (pp.680-685)**. Bangkok: Kasetsart University.
- Palmes, E. D. and Gunnison, A. F. (1973). Personal monitoring device for gaseous contaminants. **American Industrial Hygiene Association Journal** 34: 78-81.
- Palmes, E. D., Gunnison, A. F., DiMattio, J. and Tomczyk, C. (1976). Personal sampler for nitrogen dioxide. **American Industrial Hygiene Association Journal** 37: 570-577.
- Partyka, M., Zabiegala, B. and Namiesnik, J. (2007). Application of passive samplers in monitoring of organic constituents of air. **Journal of Analytical Chemistry** 37: 51-78.
- Pennequin-Cardinal, A., Plaisance, H., Locoge, N., Ramalho, O., Kirchner, S. and Galloo, J-C. (2005). Performances of the Radiello diffusive sampler for BTEX measurements: Influence of environmental conditions and determination of modeled sampling rates. **Atmospheric Environment** 39: 2535-2544.
- Prado, C., Periago, J.F. and Sepulveda-Escribano, A. (1996). Sorbent evaluation for diffusive monitoring of environmental contaminants. **Journal of Chromatography A** 719: 87-93.
- Purnell, H. (1962). **Gas chromatography**. New York: John Wiley and Sons.

- Pyta, H. (2006). BTX air pollution in Zabrze, Poland. **Journal of Environmental** 15 (5): 785-791.
- Radiello.Inc. (2012). **Radiello manual** [On-line]. Available: <http://www.radiello.com>
- Ras, M. R., Borrull, F. and Marce, R.M. (2009). Sampling and preconcentration techniques for determination of volatile organic compounds in air samples. **Journal of Analytical Chemistry** 28 (3): 347-361.
- Saka, C. (2012). BET, TG-GTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl₂. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 95: 21-24.
- Shepherd, A. (2001). **Activated Carbon Adsorption for Treatment of VOC Emissions**. Boston Massachusetts: Carbtrol Corporation.
- SKC. Inc. (2012). **VOC methods update SKC appendices to EPA method TO-17** [On-line]. Available: <http://www.skcltd.com>
- SKC. Inc. (2014). **SKC passive sampling Guide** [On-line]. Available: <http://www.skclth.com/index.php/passive-samplers>
- SKC. Inc. (2014). **Validation of the 575-001 and the Ultra series diffusive samplers: long-term sampling in indoor and ambient air environments** [On-line]. Available: http://www.skclth.com/catalog/product_info.php
- Stanetzek, I., Giese, U and Schuster, R. H. (1996). Chromatographic characterization of adsorbents for selective sampling of organic air pollutants. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J** 57: 128-133.
- Thammakhet, C., Muneesawang, V., Thavarungkul, P. and Kanatharana, P. (2006). Cost effective passive sampling device for volatile organic compounds monitoring. **Atmospheric Environment** 40: 4589-4596.
- Thammakhet, C., Villeneuve, T., Munisawang, V., Thavarungkul, P. and Kanatharana, P. (2006). Monitoring of BTX by passive sampling in hat yai. **Songklanakarin J. Sci. Technol** 26 (1): 151-160.
- Truc, V. T. Q. and Kim Oanh, N. T. (2007). Roadside BTEX and other gaseous air pollutants in relation to emission source. **Atmospheric Environment** 41: 7685-7697.

- U.S.EPA. (2010). **Waste and cleanup risk assess glossary**. Virginia: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S.EPA. (2013). **Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants (Benzene)**. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S.EPA. (2013). **Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants (Ethylbenzene)**. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S.EPA. (2013). **Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants (Toluene)**. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S.EPA. (2013). **Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants (Xylene)**. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency.
- Van Reeuwijk, H., Fischer, P.H., Harssema, H., Briggs, D.J., Small-bone, K. and Leuret, E. (1998). Field comparison of two NO₂ samplers to assess spatial variation. **Journal of Environmental Monitoring and Assessment** 50: 37–51.
- Varshney, C.K. and Singh, A.P. (2003). Passive samplers for NO_x monitoring: A critical review. **The Environmentalist** 23: 127-136.
- Walgraeve, C., Demeestere, K., Dewulf, J., Huffel, K.V. and Langenhove, H.V. (2011). Uptake rate behavior of tube-type passive samplers for volatile organic compound under controlled atmospheric conditions. **Atmospheric Environment** 45: 5872-5879.
- Worawit, W. (2012). Passive sampling for air quality monitoring. **Journal of Science** 40 (2): 444-471.
- World Health Organization (WHO). (2000). Benzene. In: **Air quality guidelines for Europe** (pp.62-66). Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe.
- Yao, Y-C., Tsai, J-H. and Wang, I-T. (2012). Emissions of gaseous pollutant from motorcycle powered by ethanol–gasoline blend. **Journal of Applied Energy** 102: 93-100.
- Yoshika, S., Simon, F. W., Andrew, R. and Michio, B. (2008). Development of highly sensitive passive sampler for nitrogen dioxide using porous polyethylene membrane filter as turbulence limiting diffuser. **Atmospheric Environment** 42: 407-410.
- Zabiegala, B., Sarbu, C., Urbanowicz, M. and Namiesnik, J. (2011). A comparative study of the performance of passive samplers. **Journal of the Air & Waste Management Association** 61: 260-268.

- Zabiegala, B., Urbanowicz, M. and Namiesnik, J. (2010). Application of passive sampling technique for monitoring of BTEX concentration in urban air: field comparison of difference types of passive samplers. **Journal of Chromatographic Science** 48:167-175.
- Zabiegala, B., Urbanowicz, M. and Namiesnik, J. (2011). Spatial and seasonal patterns of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes in the Gdansk, Poland and surrounding areas determined using radiello passive samplers. **Journal of Environmental** 39: 896-906.







ภาคผนวก ก

ค่าความถี่การสั่นของหม้อฟุ้งกัมมันตารแต่ละชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ค่าความถี่การสั่นของหมู่ฟังก์ชันสารแต่ละชนิด

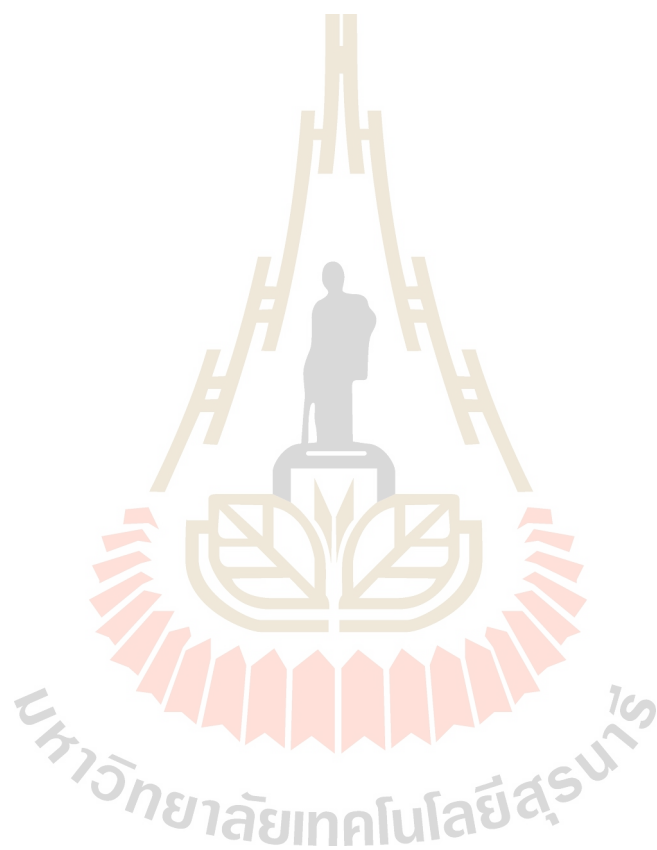
(Saka, 2012; Cazetta, 2013; Ochemonline, 2011)

Functional group class	Band position (cm ⁻¹)	Intensity of absorption
Alkanes, Alkyl groups :		
C-H	2850-2960	Medium to strong
Alkenes :		
C-H	3020-3100	Medium
C=C	1640-1680	Medium
Alkynes :		
C-H	3300	Strong
Alkynes :		
C≡C	2000-2500	Medium
Alkyl halides :		
C-Cl	600-800	Strong
C-Br	500-600	Strong
C-I	500	Strong
Alcohols :		
O-H	3400-3650	Strong, broad
C-O	1050-1150	Strong
Aromatics :		
	3030-3100	Weak
	1660-2000	Weak
	1450-1600	Medium
Amines :		
N-H	3300-3500	Medium
C-N	1020-1250	Medium
Carbonyl compounds :		
C=O	1670-1780	Strong
Carboxylic acids :		
O-H	2500-3100	Strong, Very broad

ตารางที่ ก.1 ค่าความถี่ของการสั่นของหมู่ฟังก์ชันสารแต่ละชนิด (ต่อ)

(Saka, 2012; Cazetta, 2013; Ochemonline, 2011)

Functional group class	Band position (cm ⁻¹)	Intensity of absorption
Nitriles :		
C≡N	2210-2260	Medium





ภาคผนวก ข

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ทำการทดลองในกล่องทดลอง
(Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง และสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ทำการทดลองในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ

ระยะเวลา (วัน)	ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอิน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
		ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
		0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
1	1	2.68	0.90	0.80	1.03	5.41	1.23	2.57	1.43	1.11	6.34	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.58
	2	2.14	1.31	0.57	0.91	4.93	1.62	0.10	1.59	1.06	4.37	ND	ND	ND	ND	ND	0.26	ND	ND	ND	0.26	0.15	ND	ND	ND	0.15
	3	1.37	0.61	0.54	0.05	2.57	1.83	1.27	0.41	0.81	4.32	2.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4	2.68	1.93	0.27	0.02	4.90	3.49	1.35	1.68	1.15	7.67	ND	ND	ND	ND	ND	0.83	ND	ND	ND	0.83	0.65	ND	ND	ND	0.65
	Mean	2.22	1.19	0.55	0.50	4.45	2.04	1.32	1.28	1.03	5.68	2.00	ND	ND	ND	2.00	0.55	ND	ND	ND	0.55	0.46	ND	ND	ND	0.46
	SD	0.62	0.57	0.22	0.54	1.28	1.00	1.01	0.59	0.15	1.63	ND	ND	ND	ND	ND	0.40	ND	ND	ND	0.40	0.27	ND	ND	ND	0.27
3	1	2.86	0.97	0.65	0.68	5.16	4.00	0.82	0.75	0.28	5.85	ND	ND	ND	ND	ND	0.73	ND	ND	ND	0.73	1.22	ND	ND	ND	1.22
	2	2.58	1.66	1.35	1.81	7.40	5.10	0.63	2.56	0.98	9.27	2.00	ND	ND	ND	2.00	1.37	ND	ND	ND	1.37	2.79	ND	ND	ND	2.79
	3	2.45	1.84	2.76	0.54	7.59	5.64	4.00	0.90	0.21	10.75	4.45	ND	ND	ND	4.45	4.62	0.70	0.13	ND	5.45	4.85	3.19	ND	ND	8.04
	4	1.51	1.01	1.35	0.86	4.73	5.38	2.40	1.60	3.04	12.42	6.12	ND	ND	ND	6.12	5.30	0.33	0.79	ND	6.42	4.04	ND	1.60	ND	5.64
	Mean	2.35	1.37	1.53	0.97	6.22	5.03	1.96	1.45	1.13	9.57	4.19	ND	ND	ND	4.19	3.01	0.52	0.46	ND	3.49	3.22	3.19	1.60	ND	4.42
	SD	0.59	0.45	0.89	0.57	1.49	0.72	1.57	0.83	1.32	2.80	2.07	ND	ND	ND	2.07	2.29	0.26	0.47	ND	2.86	1.58	ND	ND	ND	3.03
5	1	1.27	2.57	2.81	1.21	7.86	2.77	3.64	4.29	1.98	12.68	ND	ND	ND	ND	ND	1.04	0.46	0.59	0.93	3.02	1.99	1.46	0.47	0.45	4.37
	2	3.11	2.77	1.30	1.00	8.18	6.59	2.53	4.64	0.48	14.24	ND	ND	ND	ND	ND	0.82	ND	1.78	0.54	3.14	1.26	1.25	1.29	1.56	5.36
	3	1.43	1.23	0.61	0.94	4.21	3.07	1.18	1.00	1.88	7.13	5.61	ND	ND	ND	5.61	6.02	ND	ND	ND	6.02	3.82	ND	ND	ND	3.82
	4	1.91	0.71	0.84	0.73	4.19	5.52	1.29	1.62	1.73	10.16	4.24	ND	ND	ND	4.24	4.62	ND	ND	ND	4.62	5.09	ND	ND	ND	5.09
	Mean	1.93	1.82	1.39	0.97	6.11	4.49	2.16	2.89	1.52	11.05	4.93	ND	ND	ND	4.93	3.13	0.46	1.19	0.74	5.51	3.04	1.36	0.88	1.01	4.66
	SD	0.83	1.01	0.99	0.20	2.21	1.87	1.16	1.84	0.70	3.11	0.97	ND	ND	ND	0.97	2.60	ND	0.84	0.28	1.41	1.74	0.15	0.58	0.78	0.70

หมายเหตุ ND = Not Detected

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ทำการทดลองในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอิน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
		ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
		0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
7	1	1.24	3.31	2.18	2.80	9.53	4.92	2.86	4.42	1.80	14.00	ND	ND	ND	ND	ND	1.80	ND	ND	ND	1.80	1.51	ND	ND	ND	1.51
	2	2.41	1.46	0.40	0.55	4.82	4.60	1.16	1.01	0.85	7.62	2.18	ND	ND	ND	2.18	3.30	ND	ND	ND	3.30	2.74	ND	ND	ND	2.74
	3	2.95	2.84	0.59	0.22	6.60	4.07	3.43	1.77	2.35	11.62	7.84	ND	ND	ND	7.84	5.69	5.13	5.59	1.61	18.02	4.49	3.01	3.24	1.20	11.94
	4	1.38	1.12	2.30	2.25	7.05	6.15	2.74	2.12	1.76	12.77	7.35	ND	ND	ND	7.35	6.67	4.73	5.24	ND	16.64	4.74	2.86	3.99	ND	11.59
	Mean	2.00	2.18	1.37	1.46	7.00	4.94	2.55	2.33	1.69	11.50	5.79	ND	ND	ND	5.79	4.37	4.93	5.42	1.61	9.94	3.37	2.94	3.62	1.20	6.94
	SD	0.82	1.06	1.01	1.26	1.94	0.88	0.97	1.47	0.62	2.76	3.14	ND	ND	ND	3.14	2.22	0.28	0.25	ND	8.57	1.52	0.11	0.53	ND	5.59

หมายเหตุ ND = Not Detected

ตารางที่ ข.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ทำการทดลองในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นปานกลาง

ระยะเวลา (วัน)	ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอิน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
		ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
		0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
1	1	4.12	2.81	1.60	0.23	8.76	6.87	4.59	5.56	2.56	19.58	2.27	ND	ND	ND	2.27	2.71	0.91	0.59	0.24	4.45	3.79	ND	ND	ND	3.79
	2	3.46	5.56	3.70	3.48	16.20	8.43	3.71	5.81	5.91	23.86	3.17	ND	ND	ND	3.17	3.00	ND	ND	ND	3.00	3.34	ND	ND	ND	3.34
	3	2.89	1.11	2.79	2.28	9.07	4.06	3.22	0.97	2.61	10.86	2.40	ND	ND	ND	2.40	2.82	ND	ND	ND	2.82	4.19	ND	ND	ND	4.19
	4	3.75	1.60	3.97	2.37	11.69	4.72	3.68	2.40	1.78	12.58	3.81	ND	ND	ND	3.81	2.59	ND	ND	ND	2.59	4.58	ND	ND	ND	4.58
	Mean	3.56	2.77	3.02	2.09	11.43	6.02	3.80	3.69	3.22	16.72	2.91	ND	ND	ND	2.91	2.78	0.91	0.59	0.24	3.21	3.98	ND	ND	ND	3.98
SD	0.52	1.99	1.07	1.35	3.44	2.01	0.57	2.38	1.84	6.07	0.72	ND	ND	ND	0.72	0.17	ND	ND	ND	0.84	0.53	ND	ND	ND	0.53	
3	1	3.87	3.54	4.55	2.68	14.64	6.62	4.76	3.99	5.39	20.76	3.32	ND	ND	ND	3.32	3.46	2.25	0.28	0.19	6.18	4.16	4.26	0.65	3.10	12.17
	2	4.39	5.13	3.62	4.05	17.19	9.74	7.45	6.04	2.61	25.84	6.34	ND	ND	ND	6.34	5.75	ND	ND	ND	5.75	2.66	0.04	ND	0.13	2.83
	3	5.44	2.13	3.97	2.35	13.89	5.73	3.19	0.78	1.03	10.73	5.92	ND	ND	ND	5.92	3.42	2.73	2.34	2.63	11.12	2.50	1.00	0.50	0.11	4.11
	4	5.68	2.59	1.77	2.02	12.06	6.73	1.66	1.25	1.07	10.71	5.44	ND	ND	ND	5.44	3.25	2.64	3.01	2.25	11.15	2.20	0.90	0.40	0.12	3.62
	Mean	4.85	3.35	3.48	2.78	14.45	7.21	4.27	3.02	2.53	17.01	5.26	ND	ND	ND	5.26	3.97	2.54	1.88	1.69	8.55	2.88	1.55	0.52	0.87	5.68
SD	0.86	1.33	1.20	0.89	2.13	1.75	2.47	2.46	2.05	7.55	1.34	ND	ND	ND	1.34	1.19	0.26	1.42	1.31	2.99	0.87	1.86	0.13	1.49	4.36	
5	1	5.85	4.09	3.46	3.49	16.89	7.19	2.78	3.81	7.18	20.96	9.23	ND	ND	ND	9.23	2.75	1.09	0.69	0.93	5.46	3.97	1.40	0.47	0.25	6.09
	2	5.52	4.44	4.56	4.00	18.52	7.19	7.78	5.15	ND	20.12	8.60	ND	ND	ND	8.60	2.75	2.50	1.35	ND	6.60	3.87	2.65	0.92	ND	7.44
	3	4.62	1.20	1.25	1.40	8.47	6.35	4.41	1.10	3.23	15.09	7.59	ND	ND	ND	7.59	2.44	1.50	1.20	0.95	6.09	3.50	1.65	0.95	0.35	6.45
	4	4.33	1.64	1.89	1.36	9.22	5.04	5.10	0.48	1.79	12.41	6.90	ND	ND	ND	6.90	2.56	1.35	1.10	0.89	5.90	3.67	1.56	0.78	0.25	6.26
	Mean	5.08	2.84	2.79	2.56	13.28	6.44	5.02	2.64	4.07	17.15	8.08	ND	ND	ND	8.08	2.63	1.61	1.09	0.92	6.01	3.75	1.82	0.78	0.28	6.56
SD	0.72	1.66	1.50	1.38	5.17	1.02	2.08	2.21	2.79	4.08	1.04	ND	ND	ND	1.04	0.15	0.62	0.28	0.03	0.47	0.21	0.57	0.22	0.06	0.60	

หมายเหตุ ND = Not Detected

ตารางที่ ข.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ทำการทดลองในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นปานกลาง (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอีน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
		ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
		0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
7	1	5.07	3.31	4.23	1.10	13.71	12.35	4.45	5.33	2.48	24.61	10.47	ND	ND	ND	10.47	6.07	3.03	1.15	2.18	12.43	5.80	0.84	1.85	0.90	9.39
	2	5.38	3.60	4.77	2.67	16.42	6.66	3.42	3.93	5.04	19.05	11.31	ND	ND	ND	11.31	7.07	0.93	0.25	1.22	9.47	4.97	1.41	1.29	0.98	8.65
	3	6.05	4.76	2.88	2.71	16.40	8.24	3.64	3.54	4.23	19.65	12.20	ND	ND	ND	12.20	7.05	1.35	1.10	0.90	10.40	5.30	1.45	0.98	0.90	8.63
	4	6.52	3.11	2.08	1.41	13.12	7.39	3.59	3.33	4.03	18.34	10.00	ND	ND	ND	10.00	7.19	1.45	1.05	0.89	10.58	5.05	1.35	0.87	0.80	8.07
	Mean	5.76	3.70	3.49	1.97	14.91	8.66	3.78	4.03	3.95	20.41	11.00	ND	ND	ND	11.00	6.85	1.69	0.89	1.30	10.72	5.28	1.26	1.25	0.90	8.69
	SD	0.65	0.74	1.23	0.84	1.75	2.54	0.46	0.90	1.07	2.85	0.97	ND	ND	ND	0.97	0.52	0.92	0.43	0.61	1.24	0.37	0.28	0.44	0.07	0.54

หมายเหตุ ND = Not Detected

ตารางที่ ข.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ทำการทดลองในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นสูง

ระยะเวลา (วัน)	ชั่วโมง	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอีน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
		ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
		0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
1	1	5.09	4.50	4.67	9.29	23.55	6.15	7.38	3.89	4.19	21.61	4.15	ND	ND	ND	4.15	5.89	1.44	1.16	1.41	9.90	5.90	1.65	1.20	0.63	9.38
	2	5.83	6.80	6.19	ND	18.82	5.97	9.31	7.71	6.08	29.07	5.17	ND	ND	ND	5.17	6.87	1.88	2.31	1.54	12.60	5.02	1.04	2.08	1.18	9.32
	3	5.59	2.63	3.30	2.44	13.96	6.32	3.94	5.56	6.24	22.06	4.43	ND	ND	ND	4.43	6.78	2.20	2.24	2.11	13.33	4.36	1.64	1.92	1.54	9.46
	4	5.31	3.29	2.53	2.06	13.19	7.97	6.60	2.37	7.28	24.22	3.81	ND	ND	ND	3.81	5.63	2.42	2.07	2.78	12.90	4.99	1.10	1.79	ND	7.88
Mean	5.46	4.31	4.17	4.60	18.53	6.60	6.81	4.88	5.95	24.24	4.39	ND	ND	ND	4.39	6.29	1.99	1.95	1.96	12.18	5.07	1.36	1.75	1.12	9.01	
SD	0.32	1.83	1.61	4.07	4.81	0.92	2.23	2.29	1.29	3.42	0.58	ND	ND	ND	0.58	0.63	0.43	0.53	0.63	1.55	0.63	0.33	0.38	0.46	0.76	
3	1	7.68	6.19	7.39	5.78	27.04	7.93	6.94	5.49	2.68	23.04	13.02	ND	ND	ND	13.02	6.94	ND	ND	ND	6.94	6.88	ND	ND	ND	6.88
	2	5.31	6.97	5.83	4.91	23.02	9.47	7.86	4.00	5.16	26.49	10.83	ND	ND	ND	10.83	7.07	ND	ND	ND	7.07	7.08	ND	ND	ND	7.08
	3	4.98	4.39	2.20	2.76	14.33	10.25	8.64	8.42	1.63	28.94	11.58	ND	ND	ND	11.58	7.43	ND	ND	ND	7.43	7.81	ND	ND	ND	7.81
	4	5.58	3.13	3.17	2.73	14.61	12.12	2.62	2.29	2.99	20.02	8.23	ND	ND	ND	8.23	7.51	ND	ND	ND	7.51	7.14	ND	ND	ND	7.14
Mean	5.89	5.17	4.65	4.05	19.75	9.94	6.52	5.05	3.12	24.62	10.92	ND	ND	ND	10.92	7.24	ND	ND	ND	7.24	7.23	ND	ND	ND	7.23	
SD	1.22	1.74	2.39	1.54	6.31	1.74	2.69	2.60	1.48	3.91	2.01	ND	ND	ND	2.01	0.28	ND	ND	ND	0.28	0.40	ND	ND	ND	0.40	
5	1	7.26	6.86	7.90	5.53	27.55	15.84	1.92	1.12	1.98	20.86	16.54	ND	ND	ND	16.54	14.18	ND	ND	ND	14.18	6.11	ND	ND	ND	6.11
	2	6.75	7.54	6.54	9.24	30.07	14.03	5.25	4.00	2.03	25.31	15.99	ND	ND	ND	15.99	13.35	ND	ND	ND	13.35	11.76	ND	ND	ND	11.76
	3	7.36	2.78	3.13	2.13	15.40	17.38	2.24	1.51	1.12	22.25	15.82	ND	ND	ND	15.82	9.13	1.80	1.68	0.85	13.46	9.13	2.47	1.88	1.67	15.15
	4	6.99	6.89	3.54	2.67	20.09	15.75	4.16	1.33	1.05	22.29	13.02	ND	ND	ND	13.02	10.43	ND	ND	ND	10.43	9.67	ND	ND	ND	9.67
Mean	7.09	6.02	5.28	4.89	23.28	15.75	3.39	1.99	1.55	22.68	15.34	ND	ND	ND	15.34	11.77	1.80	1.68	0.85	12.85	9.17	2.47	1.88	1.67	10.67	
SD	0.28	2.18	2.32	3.26	6.75	1.37	1.58	1.35	0.53	1.88	1.58	ND	ND	ND	1.58	2.39	ND	ND	ND	1.66	2.33	ND	ND	ND	3.79	

หมายเหตุ ND = Not Detected

ตารางที่ ข.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ที่ทำการทดลองในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นสูง (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอีน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
		ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
		0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
7	1	9.28	8.63	5.32	7.63	30.86	23.48	5.89	4.95	1.93	36.25	17.28	ND	ND	ND	17.28	11.76	3.79	2.56	0.87	18.98	12.32	2.70	2.07	1.12	18.21
	2	8.01	6.66	4.18	8.12	26.97	24.03	4.63	2.72	2.65	34.03	15.65	ND	ND	ND	15.65	13.53	1.60	1.14	1.23	17.50	13.39	1.88	ND	ND	15.27
	3	8.53	3.95	3.70	3.52	19.70	26.84	5.95	3.62	1.66	38.07	15.84	2.35	1.46	0.80	20.45	13.36	0.23	0.25	ND	13.84	14.72	1.33	ND	ND	16.05
	4	5.58	4.10	3.07	3.59	16.34	25.02	6.28	1.81	1.28	34.39	14.52	1.64	1.45	1.49	19.10	16.11	1.15	0.73	0.22	18.22	15.38	0.94	ND	ND	16.32
	Mean	7.85	5.84	4.07	5.72	23.47	24.84	5.69	3.28	1.88	35.69	15.82	2.00	1.46	1.15	18.12	13.69	1.69	1.17	0.77	17.13	13.95	1.71	2.07	1.12	16.46
	SD	1.60	2.24	0.95	2.50	6.63	1.48	0.73	1.34	0.58	1.86	1.13	0.50	0.01	0.49	2.10	1.80	1.51	1.00	0.51	2.28	1.37	0.76	ND	ND	1.25

หมายเหตุ ND = Not Detected



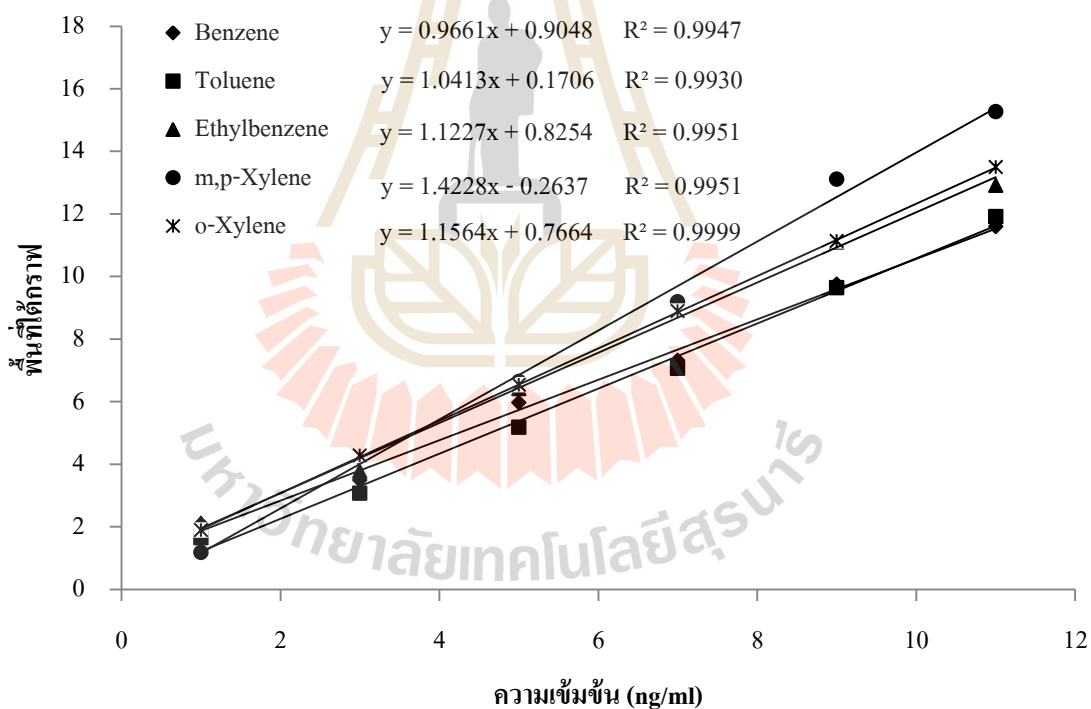
ภาคผนวก ค

ระดับความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ค.1 ระดับความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานสารกลุ่ม BTEX

ความเข้มข้น (นาโนกรัมต่อมิลลิเมตร)	พื้นที่ใต้กราฟ (Area Ratio)				
	เบนซีน	โทลูอีน	เอทิลเบนซีน	เอ็ม-ไซลีน, พี-ไซลีน	โอ-ไซลีน
1	2.09±0.64	1.65±1.10	2.11±0.29	1.18±0.12	1.89±0.71
3	3.49±2.16	3.07±0.86	3.78±0.01	4.25±0.35	4.28±1.29
5	5.97±0.14	5.18±0.83	6.42±1.95	6.64±2.01	6.54±1.82
7	7.32±0.83	7.06±1.27	9.05±0.88	9.19±0.66	8.89±2.65
9	9.75±0.12	9.64±0.49	11.10±0.88	13.11±0.83	11.13±1.70
11	11.59±0.01	11.91±0.08	12.91±0.15	15.27±0.46	13.50±0.08



รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานของสาร (ก) เบนซีน (ข) โทลูอีน (ค) เอทิลเบนซีน (ง) เอ็ม-ไซลีน, พี-ไซลีน และ (จ) โอ-ไซลีน สำหรับการศึกษากายภาพของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่ำโดยใช้ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 1 วัน



ภาคผนวก ง

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับ
ความเข้มข้นต่ำ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 วัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในกล่องทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 วัน

ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอีน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
	ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
1	0.95	0.15	ND	0.03	1.13	0.47	0.59	ND	ND	1.06	3.70	ND	ND	ND	3.70	1.55	ND	ND	ND	1.55	ND	ND	ND	ND	ND
2	1.08	1.18	ND	0.08	2.34	0.13	1.38	ND	ND	1.51	2.68	ND	ND	ND	2.68	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	0.15	ND	ND	0.36	0.51	0.30	ND	ND	0.03	0.33	1.51	ND	ND	ND	1.51	1.98	ND	ND	ND	1.98	ND	ND	ND	ND	ND
4	0.29	ND	ND	0.74	1.03	1.40	2.17	0.06	0.01	3.64	5.45	ND	ND	ND	5.45	2.54	1.68	ND	ND	4.22	1.94	ND	ND	ND	1.94
5	1.99	ND	0.48	ND	2.47	2.07	0.61	ND	0.10	2.78	5.18	ND	ND	ND	5.18	1.89	2.54	ND	ND	4.43	1.78	1.89	ND	ND	3.67
6	3.48	1.05	1.40	0.94	6.87	3.35	ND	0.72	ND	4.07	3.96	ND	ND	ND	3.96	1.75	ND	ND	ND	1.75	2.47	ND	ND	ND	2.47
7	4.60	0.05	ND	ND	4.65	2.56	0.90	0.66	ND	4.12	4.96	ND	ND	ND	4.96	1.81	ND	ND	ND	1.81	0.00	ND	ND	ND	ND
8	0.31	ND	ND	ND	0.31	0.70	0.79	0.39	ND	1.88	4.57	ND	ND	ND	4.57	1.93	ND	ND	ND	1.93	1.74	ND	ND	ND	1.74
9	0.58	ND	ND	ND	0.58	0.92	0.09	ND	ND	1.01	5.64	ND	ND	ND	5.64	1.80	ND	ND	ND	1.80	2.44	ND	ND	ND	2.44
10	1.70	ND	0.23	0.32	2.25	0.67	ND	ND	ND	0.67	5.11	ND	ND	ND	5.11	5.76	ND	ND	ND	5.76	1.56	ND	ND	ND	1.56
11	0.24	ND	ND	ND	0.24	ND	0.25	ND	ND	0.25	5.46	ND	ND	ND	5.46	5.39	ND	ND	ND	5.39	1.54	ND	ND	ND	1.54
12	0.79	ND	1.69	2.44	4.92	0.21	0.34	0.89	ND	1.44	3.49	ND	ND	ND	3.49	2.97	ND	ND	ND	2.97	ND	ND	ND	ND	ND
13	1.31	ND	ND	0.42	1.73	0.67	ND	ND	ND	0.67	2.24	ND	ND	ND	2.24	3.15	ND	ND	ND	3.15	2.40	ND	ND	ND	2.40
14	0.57	ND	ND	ND	0.57	1.26	0.43	ND	ND	1.69	1.44	ND	ND	ND	1.44	2.42	ND	ND	ND	2.42	2.04	ND	ND	ND	2.04
15	0.60	0.58	0.08	ND	1.26	0.24	0.82	ND	ND	1.06	6.81	ND	ND	ND	6.81	1.77	ND	ND	ND	1.77	4.61	2.11	ND	ND	6.72
16	1.79	ND	ND	ND	1.79	1.10	0.26	ND	ND	1.36	3.37	ND	ND	ND	3.37	1.77	ND	ND	ND	1.77	3.38	2.08	ND	ND	5.46

หมายเหตุ ND = Not Detected

ตารางที่ 1.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในทดลอง (Chamber) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 วัน (ต่อ)

ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอีน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
	ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
17	3.24	0.02	ND	ND	3.26	2.03	1.91	ND	ND	3.94	7.06	ND	ND	ND	7.06	ND	ND	ND	ND	ND	3.34	1.64	ND	ND	4.98
18	2.46	ND	0.19	ND	2.65	0.73	0.54	ND	ND	1.27	3.73	ND	ND	ND	3.73	1.81	ND	ND	ND	1.81	2.58	1.50	ND	ND	4.08
19	2.25	ND	ND	ND	2.25	0.94	0.09	ND	ND	1.03	8.96	ND	ND	ND	8.96	1.60	ND	ND	ND	1.60	2.55	ND	ND	ND	2.55
20	2.89	ND	ND	ND	2.89	1.13	0.51	ND	ND	1.64	7.91	ND	ND	ND	7.91	1.98	ND	ND	ND	1.98	ND	ND	ND	ND	ND
Mean	1.56	0.50	0.68	0.67	2.19	1.10	0.73	0.54	0.05	1.77	4.66	ND	ND	ND	4.66	2.44	2.11	ND	ND	2.67	2.29	1.84	ND	ND	3.11
SD	1.26	0.52	0.69	0.78	1.72	0.86	0.61	0.32	0.05	1.25	2.02	ND	ND	ND	2.02	1.23	0.61	ND	ND	1.36	1.03	0.27	ND	ND	1.62

หมายเหตุ ND = Not Detected



ตารางที่ ๒.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปที่ระดับความเข้มข้นต่ำ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 วัน

ซ้	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอิน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
	ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
1	2.65	1.02	0.06	0.00	3.73	5.47	1.31	0.00	0.35	7.13	ND	ND	ND	ND	ND	1.59	0.67	0.05	0.04	2.35	2.15	1.61	ND	ND	3.76
2	1.97	0.40	0.09	0.06	2.52	3.49	1.33	0.17	0.13	5.12	ND	ND	ND	ND	ND	1.30	0.25	ND	ND	1.55	ND	ND	ND	ND	ND
3	0.31	0.41	0.04	0.01	0.77	3.68	1.68	0.10	0.05	5.51	ND	ND	ND	ND	ND	1.81	0.61	ND	0.03	2.45	2.66	ND	ND	ND	2.66
4	0.28	0.09	ND	0.03	0.40	4.96	1.35	0.01	0.14	6.46	ND	ND	ND	ND	ND	1.79	1.54	ND	0.02	3.35	ND	ND	ND	ND	ND
5	0.80	0.47	0.10	0.08	1.45	6.20	1.62	0.00	0.02	7.84	ND	ND	ND	ND	ND	1.70	0.28	0.09	0.01	2.08	2.99	1.00	ND	ND	3.99
6	3.26	0.68	ND	ND	3.94	5.08	2.56	0.05	0.00	7.69	1.80	2.97	ND	ND	4.77	1.22	2.97	0.48	2.65	7.32	2.52	ND	ND	ND	2.52
7	3.17	1.43	ND	ND	4.60	4.20	1.97	ND	0.01	6.18	3.12	2.73	ND	ND	5.85	3.33	1.43	ND	3.21	7.97	2.11	ND	ND	ND	2.11
8	1.37	0.92	ND	ND	2.29	5.14	1.25	ND	0.11	6.50	ND	ND	ND	ND	ND	1.32	ND	ND	ND	1.32	2.64	ND	ND	ND	2.64
9	0.43	ND	ND	ND	0.43	5.58	0.76	ND	ND	6.34	ND	ND	ND	ND	ND	1.00	ND	0.25	ND	1.25	1.17	ND	ND	ND	1.17
10	4.31	0.12	0.00	0.01	4.44	5.33	1.87	0.04	0.01	7.25	ND	ND	ND	ND	ND	0.70	2.28	ND	ND	2.98	1.52	ND	ND	ND	1.52
11	4.83	0.22	ND	0.26	5.31	5.47	ND	0.63	ND	6.10	ND	ND	ND	ND	ND	2.83	ND	ND	ND	2.83	ND	ND	ND	ND	ND
12	1.76	1.27	ND	0.32	3.35	6.38	ND	0.63	0.20	7.21	ND	ND	ND	ND	ND	2.33	ND	ND	ND	2.33	ND	ND	ND	ND	ND
13	0.99	1.08	ND	ND	2.07	6.85	ND	0.44	ND	7.29	ND	ND	ND	ND	ND	2.21	ND	ND	ND	2.21	ND	ND	ND	ND	ND
14	1.94	2.05	0.11	ND	4.10	4.69	ND	0.07	0.04	4.80	ND	ND	ND	ND	ND	2.18	ND	ND	ND	2.18	ND	ND	ND	ND	ND
15	2.18	1.72	ND	0.07	3.97	5.27	ND	0.21	0.68	6.16	1.60	ND	ND	ND	1.60	2.83	ND	ND	ND	2.83	ND	ND	ND	ND	ND
16	3.67	2.79	1.89	ND	8.35	7.40	1.07	1.17	ND	9.64	1.65	ND	ND	ND	1.65	3.44	1.97	1.31	ND	6.72	1.68	ND	ND	ND	1.68

หมายเหตุ ND = Not Detected

ตารางที่ 2.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศทั่วไปที่ระดับความเข้มข้นต่ำ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 วัน (ต่อ)

ซ้ำ	เบนซีน (ng/ml)					โทลูอีน (ng/ml)					เอทิลเบนซีน (ng/ml)					เอ็ม-ไซลีนและพี-ไซลีน (ng/ml)					โอ-ไซลีน (ng/ml)				
	ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)					ระดับความหนา (ซม.)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม	0.5	1.0	1.5	2.0	รวม
17	2.66	3.58	0.47	ND	6.71	5.38	1.99	0.05	ND	7.42	ND	ND	ND	ND	ND	2.14	1.73	1.45	ND	5.32	ND	ND	ND	ND	ND
18	3.00	4.01	0.93	ND	7.94	5.15	1.33	0.28	ND	6.76	ND	ND	ND	ND	ND	2.59	1.83	1.47	ND	5.89	ND	ND	ND	ND	ND
19	2.86	3.12	0.87	0.40	7.25	5.42	0.97	0.83	0.86	8.08	ND	ND	ND	ND	ND	3.40	1.97	1.74	1.52	8.63	1.36	ND	ND	ND	1.36
20	2.92	1.54	0.24	ND	4.70	5.78	0.49	0.40	0.28	6.95	ND	ND	ND	ND	ND	2.86	ND	ND	ND	2.86	ND	ND	ND	ND	ND
Mean	2.27	1.42	0.44	0.12	3.92	5.35	1.44	0.30	0.21	6.82	2.04	2.85	ND	ND	3.47	2.13	1.46	0.86	1.07	3.72	2.08	1.31	ND	ND	2.34
SD	1.30	1.19	0.58	0.15	2.37	0.94	0.53	0.34	0.26	1.10	0.72	0.17	ND	ND	2.17	0.82	0.85	0.70	1.39	2.34	0.62	0.43	ND	ND	0.97

หมายเหตุ ND = Not Detected



ภาคผนวก จ

การคำนวณอัตราการดูดซับ (Uptake rate) ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ
พาสซีพชนิดหลอด

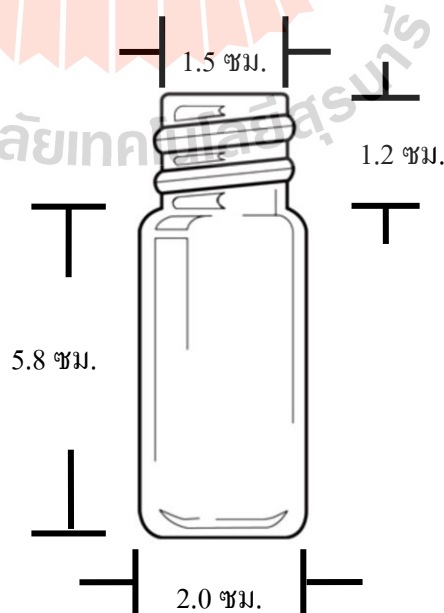
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณอัตราการดูดซับ (Uptake rate) ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้น

อัตราการดูดซับของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารและพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและแปรผกผันกับความยาวของเส้นทางการแพร่ ตามกฎข้อที่หนึ่งของฟิค (Fick's First Law of Diffusion) ทั้งนี้ ขวดไวอัลฟาเกลียวที่ใช้เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดในการศึกษานี้มีพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ไม่เท่ากันทั้งขวด คือบริเวณปากขวดจะมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก ดังนั้นจึงต้องคำนวณพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ดังนี้

จ.1 คำนวณค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (Average Diffusion area, A)

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi r^2 h (\text{เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่}) + \pi r^2 h (\text{เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก})}{\text{ความยาวรวมของขวดเก็บตัวอย่าง}} \\ &= \frac{(3.14 \times 1^2 \text{ cm}^2 \times 5.80 \text{ cm}) + (3.14 \times 0.75^2 \text{ cm}^2 \times 1.20 \text{ cm})}{7.0 \text{ cm}} \\ &= 2.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$



จ.2 การคำนวณอัตราการดูดซับ (Uptake rate) ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอด

ยกตัวอย่าง: เบนซีน

จากสูตร
$$U = \frac{DA}{L}$$

โดย U = อัตราการดูดซับ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารประกอบในสารดูดซับ
(ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

L = ความยาวของเส้นทางการแพร่ (Diffusion Path) ของสารประกอบ (เซนติเมตร)

แทนค่าในสมการ จะได้

$$\begin{aligned} U &= \frac{DA}{L} \\ &= \frac{0.093 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \times 2.90 \text{ cm}^2}{7 \text{ cm}} \\ &= 0.0385 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \times \frac{1 \times 60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \\ &= 2.31 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \end{aligned}$$

ดังนั้นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดที่จัดทำขึ้นมีอัตราการดูดซับ (Uptake Rate) เบนซีน เท่ากับ 2.31 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที



ภาคผนวก ฉ

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาล
นครนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด
(ระดับความหนาของสารดูดซับ 2.0 ซม.)

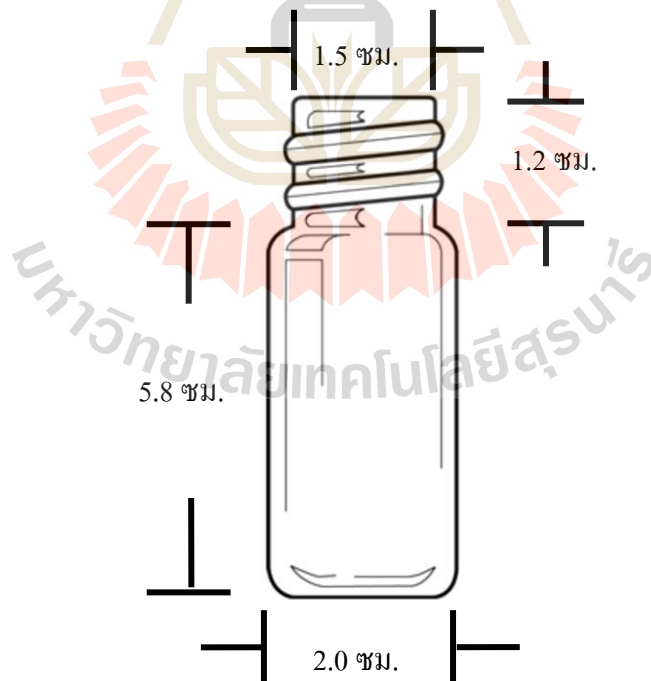
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณปริมาณความเข้มข้นในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ขวดไอโอสฟาเกลียวที่ใช้เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดในการศึกษาครั้งนี้ มีพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของสารมลพิษไม่เท่ากันทั้งขวด คือบริเวณปากขวดจะมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก ดังนั้นจึงต้องคำนวณพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ดังนี้

ฉ.1 ค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (Average Diffusion Area, A)

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi r^2 h (\text{เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่}) + \pi r^2 h (\text{เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก})}{\text{ความยาวรวมของขวดเก็บตัวอย่าง}} \\ &= \frac{(3.14 \times 1^2 \text{ cm}^2 \times 5.80 \text{ cm}) + (3.14 \times 0.75^2 \text{ cm}^2 \times 1.20 \text{ cm})}{7.0 \text{ cm}} \\ &= 2.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

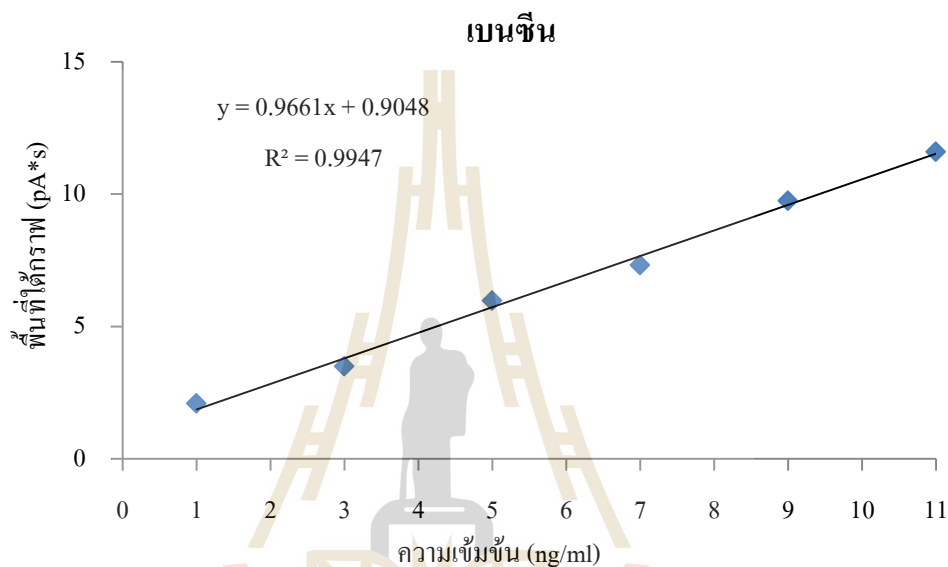


จ.2 กำหนดหาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX

ยกตัวอย่าง : สารเบนซีน

1. กำหนดหาความเข้มข้นของสารเบนซีนจากกราฟมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นต่ำ

กำหนดหาปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนจากกราฟมาตรฐาน โดยแกน Y คือค่าพื้นที่ใต้กราฟ (Peak Area) แกน X คือค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (Concentration)



ขวดตัวอย่าง ;

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad Y &= 0.9661x + 0.9048 \\ 11.075 &= 0.9661x + 0.9048 \\ X &= 10.53 \text{ ng/ml} \end{aligned}$$

ขวด blank ;

$$\begin{aligned} Y &= 0.9661x + 0.9048 \\ 8.145 &= 0.9661x + 0.9048 \\ X &= 7.49 \text{ ng/ml} \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีน เท่ากับ

$$\begin{aligned} &= 10.53 \text{ ng/ml} - 7.49 \text{ ng/ml} \\ &= 3.04 \text{ ng/ml} \end{aligned}$$

ปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนจากกราฟมาตรฐาน เท่ากับ 3.04 ng/ml ซึ่งคือปริมาณความเข้มข้นในสารมาตรฐานที่มีปริมาตร 1.0 ml ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นที่แท้จริงของเบนซีนในตัวอย่างสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{array}{l} \text{ปริมาตรของสารเบนซีนในตัวอย่าง 1 ml มีเบนซีน} \quad 3.04 \text{ ng} \\ \text{ปริมาตรของสารเบนซีนในตัวอย่าง 5.5 ml มีเบนซีน} \quad \frac{3.04 \times 5.5}{1} = 16.72 \text{ ng} \end{array}$$

ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนในตัวอย่างมีค่า เท่ากับ 16.72 นาโนกรัม หรือ 0.01672 ไมโครกรัม

2. คำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนในอากาศ

$$\text{จากสูตร} \quad C = \frac{M \times L}{T \times D \times A}$$

โดย M = มวลของสารประกอบที่ถูกดูดซับอยู่บนสารดูดซับ (ไมโครกรัม)

T = ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (วินาที)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารประกอบในสารดูดซับ (ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

L = ความยาวของเส้นทางการแพร่ (Diffusion Path) ของสารประกอบ (เซนติเมตร)

C = ความเข้มข้นของสารประกอบ i ในสารดูดซับ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

แทนค่าในสมการ จะได้

$$\begin{aligned} C &= \frac{M \times L}{T \times D \times A} \\ &= \frac{0.01672 \mu\text{g} \times 7.0 \text{ cm}}{86,400 \text{ sec} \times 0.093 \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \times 2.90 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{0.1186 \mu\text{g}}{2.3302 \times 10^4 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \times 10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \\ &= 5.02 \mu\text{g/ m}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนในบรรยากาศทั่วไปเท่ากับ 5.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ จ.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด

จุดเก็บตัวอย่าง	จุด	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและที-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา		
		(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)		
		2.0	0.5	รวม	2.0	0.5	รวม	2.0	0.5	รวม	2.0	0.5	รวม	2.0	0.5	รวม
1	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2	5.02	2.48	7.50	7.12	1.81	8.93	ND	ND	ND	4.13	ND	4.13	ND	ND	ND
	3	5.75	1.77	7.52	4.14	0.27	4.41	ND	ND	ND	4.34	ND	4.34	ND	ND	ND
	4	6.33	2.78	9.10	6.13	1.59	7.72	ND	ND	ND	6.15	ND	6.15	ND	ND	ND
	Mean	5.70	2.34	8.04	5.80	1.22	7.02	ND	ND	ND	4.87	ND	4.87	ND	ND	ND
SD	0.65	0.52	0.92	1.52	0.83	2.34	ND	ND	ND	1.11	ND	1.11	ND	ND	ND	
2	1	0.36	1.32	1.69	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2	1.31	2.07	3.37	ND	2.93	2.93	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3	6.48	3.01	9.48	2.93	5.13	8.06	ND	ND	ND	4.16	ND	4.16	ND	ND	ND
	4	6.84	3.57	10.41	7.21	5.50	12.71	ND	ND	ND	5.81	ND	5.81	3.03	ND	3.03
	Mean	3.75	2.49	6.24	5.07	4.52	7.90	ND	ND	ND	4.98	ND	4.98	3.03	ND	3.03
SD	3.39	1.00	4.35	3.03	1.39	4.89	ND	ND	ND	1.17	ND	1.17	ND	ND	ND	
3	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND	0.52	ND	0.52	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3	6.94	0.00	6.94	4.36	ND	4.36	ND	ND	ND	4.09	ND	4.09	ND	ND	ND
	4	6.72	1.88	8.61	4.48	0.02	4.50	ND	ND	ND	4.72	ND	4.72	ND	ND	ND
	Mean	6.83	0.94	7.77	3.12	0.02	3.13	ND	ND	ND	4.41	ND	4.41	ND	ND	ND
SD	0.15	1.33	1.18	2.25	ND	2.26	ND	ND	ND	0.45	ND	0.45	ND	ND	ND	
4	1	1.47	0.12	1.59	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2	2.25	0.23	2.48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3	2.41	0.71	3.12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4	8.41	2.69	11.10	5.84	0.25	6.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Mean	3.63	0.94	4.57	5.84	0.25	6.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SD	3.21	1.20	4.40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

หมายเหตุ ND = Not Detected



ภาคผนวก ช

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาล
นครนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด
(ระดับความหนาของสารดูดซับ 3.0 ซม.)

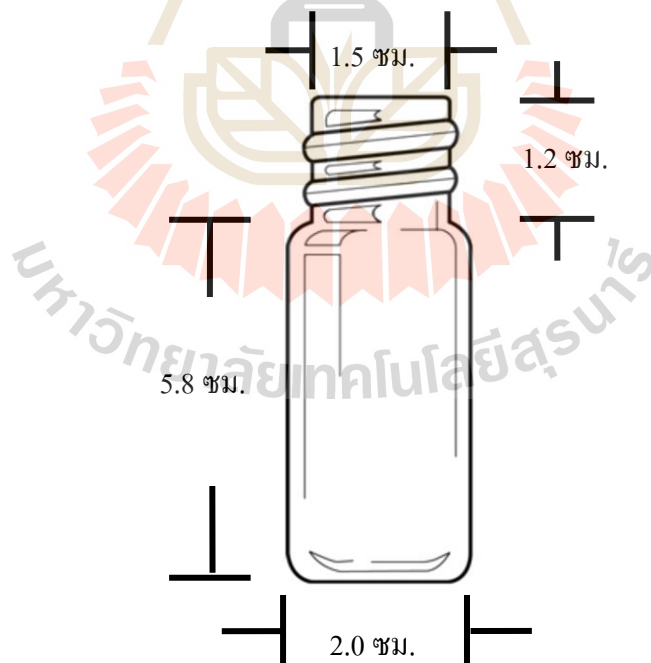
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณปริมาณความเข้มข้นในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ขวดไออัลฟาเกลียวที่ใช้เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟชนิดหลอดในการศึกษาครั้งนี้ มีพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของสารมลพิษไม่เท่ากันทั้งขวด คือบริเวณปากขวดจะมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก ดังนั้นจึงต้องคำนวณพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ดังนี้

ข.1 ค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (Average Diffusion Area, A)

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi r^2 h (\text{เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่}) + \pi r^2 h (\text{เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก})}{\text{ความยาวรวมของขวดเก็บตัวอย่าง}} \\ &= \frac{(3.14 \times 1^2 \text{ cm}^2 \times 5.80 \text{ cm}) + (3.14 \times 0.75^2 \text{ cm}^2 \times 1.20 \text{ cm})}{7.0 \text{ cm}} \\ &= 2.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

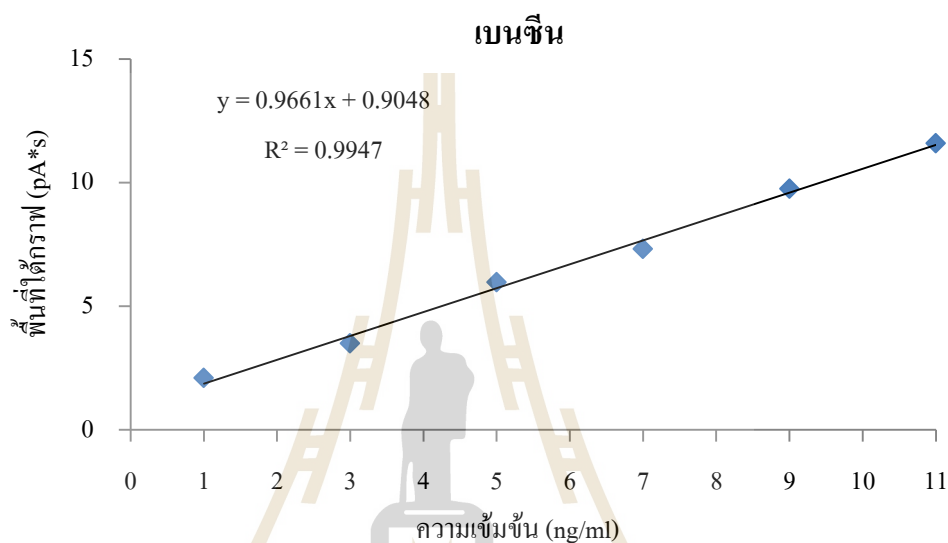


ช.2 กำหนดหาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX

ยกตัวอย่าง : สารเบนซีน

1. กำหนดหาความเข้มข้นของสารเบนซีนจากกราฟมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นต่ำ

กำหนดหาปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนจากกราฟมาตรฐาน โดยแกน Y คือค่าพื้นที่ใต้กราฟ (Peak Area) แกน X คือค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (Concentration)



ขวดตัวอย่าง ;

$$\text{จากสมการ } Y = 0.9661x + 0.9048$$

$$11.541 = 0.9661x + 0.9048$$

$$X = 11.01 \text{ ng/ml}$$

ขวด blank ;

$$Y = 0.9661x + 0.9048$$

$$9.896 = 0.9661x + 0.9048$$

$$X = 9.30 \text{ ng/ml}$$

ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีน เท่ากับ

$$= 11.01 \text{ ng/ml} - 9.30 \text{ ng/ml}$$

$$= 1.71 \text{ ng/ml}$$

ปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนจากกราฟมาตรฐาน เท่ากับ 1.71 ng/ml ซึ่งคือปริมาณความเข้มข้นในสารมาตรฐานที่มีปริมาตร 1.0 ml ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นที่แท้จริงของเบนซีนในตัวอย่างสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{array}{l} \text{ปริมาตรของสารเบนซีนในตัวอย่าง 1 ml มีเบนซีน} \quad 1.71 \text{ ng} \\ \text{ปริมาตรของสารเบนซีนในตัวอย่าง 7.5 ml มีเบนซีน} \quad \frac{1.71 \times 7.5}{1} = 12.83 \text{ ng} \end{array}$$

ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนในตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 9.6 นาโนกรัม หรือ 0.0128 ไมโครกรัม

2. คำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนในอากาศ

$$\text{จากสูตร} \quad C = \frac{M \times L}{T \times D \times A}$$

โดย M = มวลของสารประกอบที่ถูกดูดซับอยู่บนสารดูดซับ (ไมโครกรัม)

T = ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (วินาที)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารประกอบในสารดูดซับ (ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

L = ความยาวของเส้นทางการแพร่ (Diffusion Path) ของสารประกอบ (เซนติเมตร)

C = ความเข้มข้นของสารประกอบ i ในสารดูดซับ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

แทนค่าในสมการ จะได้

$$\begin{aligned} C &= \frac{M \times L}{T \times D \times A} \\ &= \frac{0.0128 \text{ } \mu\text{g} \times 7.0 \text{ cm}}{86,400 \text{ sec} \times 0.093 \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \times 2.90 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{0.0896 \text{ } \mu\text{g}}{2.3302 \times 10^4 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \times 10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \\ &= 3.85 \text{ } \mu\text{g/ m}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนในบรรยากาศทั่วไปเท่ากับ 3.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ซ้ำ	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา		
			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)		
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม
1	1	1	*	*	*	12.89	ND	12.89	5.68	ND	5.68	10.01	ND	10.01	6.32	ND	6.32
		2	3.85	ND	3.85	8.73	ND	8.73	ND	ND	ND	7.98	ND	7.98	ND	ND	ND
		3	4.48	ND	4.48	7.00	ND	7.00	ND	ND	ND	4.93	ND	4.93	ND	ND	ND
		4	4.55	ND	4.55	7.17	ND	7.17	ND	ND	ND	4.71	ND	4.71	ND	ND	ND
		5	1.22	ND	1.22	3.43	ND	3.43	ND	ND	ND	6.56	ND	6.56	ND	ND	ND
	ค่าสูงสุด	4.55	ND	4.55	12.89	ND	12.89	5.68	ND	5.68	10.01	ND	10.01	6.32	ND	6.32	
	ค่าต่ำสุด	1.22	ND	1.22	3.43	ND	3.43	ND	ND	ND	4.71	ND	4.71	ND	ND	ND	
	ค่าเฉลี่ย	3.53	ND	3.53	7.84	ND	7.84	5.68	ND	5.68	6.84	ND	6.84	6.32	ND	6.32	
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.57	ND	1.57	3.43	ND	3.43	ND	ND	ND	2.21	ND	2.21	ND	ND	ND	
	2	1	1	1.55	ND	1.55	2.59	ND	2.59	ND	ND	ND	6.87	ND	6.87	ND	ND
2		1.42	ND	1.42	1.97	ND	1.97	ND	ND	ND	4.62	ND	4.62	ND	ND	ND	
3		5.27	ND	5.27	1.60	ND	1.60	ND	ND	ND	5.36	ND	5.36	ND	ND	ND	
4		3.65	ND	3.65	4.04	ND	4.04	ND	ND	ND	6.66	ND	6.66	ND	ND	ND	
5		4.62	ND	4.62	2.29	ND	2.29	ND	ND	ND	4.78	ND	4.78	ND	ND	ND	

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ชั้น	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา		
			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)		
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม
1	2 (ต่อ)	ค่าสูงสุด	4.55	ND	4.55	12.89	ND	12.89	5.68	ND	5.68	10.01	ND	10.01	6.32	ND	6.32
		ค่าต่ำสุด	1.22	ND	1.22	3.43	ND	3.43	5.68	ND	5.68	4.71	ND	4.71	6.32	ND	6.32
		ค่าเฉลี่ย	3.53	ND	3.53	7.84	ND	7.84	5.68	ND	5.68	6.84	ND	6.84	6.32	ND	6.32
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.57	ND	1.57	3.43	ND	3.43	ND	ND	ND	2.21	ND	2.21	ND	ND	ND
	3	1	3.72	ND	3.72	2.98	ND	2.98	ND	ND	ND	3.57	ND	3.57	8.44	ND	8.44
		2	ND	ND	ND	0.69	ND	0.69	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		3	5.77	ND	5.77	2.02	ND	2.02	ND	ND	ND	0.49	ND	0.49	ND	ND	ND
		ค่าสูงสุด	5.77	ND	5.77	2.98	ND	2.98	ND	ND	ND	3.57	ND	3.57	8.44	ND	8.44
		ค่าต่ำสุด	ND	ND	3.72	0.69	ND	0.69	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		ค่าเฉลี่ย	4.74	ND	4.74	1.90	ND	1.90	ND	ND	ND	2.03	ND	2.03	8.44	ND	8.44
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.45	ND	1.45	1.15	ND	1.15	ND	ND	ND	2.18	ND	2.18	ND	ND	ND
		ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ND-	ND	ND-	0.69-	ND	0.69-	ND-	ND	ND-	ND-	ND	ND-	ND-	ND	ND-
		รวม	N=13	5.77		5.77	12.89		12.89	5.68		5.68	10.01		10.01	8.44	
ค่าเฉลี่ย	3.65	ND	3.65	4.42	ND	4.42	5.68	ND	5.68	5.55	ND	5.55	7.38	ND	7.38		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.58	ND	1.58	3.53	ND	3.53	ND	ND	ND	2.37	ND	2.37	1.50	ND	1.50		

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ซ้ำ	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา		
			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)		
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม
1	1	1	5.77	ND	5.77	4.66	ND	4.66	ND	ND	ND	6.35	ND	6.35	ND	ND	ND
		2	13.09	ND	13.09	3.97	ND	3.97	ND	ND	ND	9.21	ND	9.21	ND	ND	ND
		3	2.10	ND	2.10	2.66	ND	2.66	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		4	2.37	ND	2.37	0.79	ND	0.79	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		5	1.64	ND	1.64	2.96	ND	2.96	4.27	ND	4.27	6.90	ND	6.90	ND	ND	ND
	2	ค่าสูงสุด	13.09	ND	13.09	4.66	ND	4.66	4.27	ND	4.27	9.21	ND	9.21	ND	ND	ND
		ค่าต่ำสุด	1.64	ND	1.64	0.79	ND	0.79	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		ค่าเฉลี่ย	4.99	ND	4.99	3.01	ND	3.01	4.27	ND	4.27	7.49	ND	7.49	ND	ND	ND
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.81	ND	4.81	1.47	ND	1.47	ND	ND	ND	1.52	ND	1.52	ND	ND	ND
		1	4.57	ND	4.57	1.82	ND	1.82	ND	ND	ND	4.59	ND	4.59	ND	ND	ND
2	2	0.32	ND	0.32	0.42	ND	0.42	ND	ND	ND	5.52	ND	5.52	ND	ND	ND	
	3	3.81	ND	3.81	4.56	ND	4.56	ND	ND	ND	5.92	ND	5.92	ND	ND	ND	
	4	2.75	ND	2.75	3.70	ND	3.70	ND	ND	ND	5.02	ND	5.02	ND	ND	ND	
	5	0.88	ND	0.88	2.56	ND	2.56	ND	ND	ND	6.84	ND	6.84	ND	ND	ND	

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ซ้	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			
			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)			
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	
2	(ต่อ)	ค่าสูงสุด	4.57	ND	4.57	4.56	ND	4.56	ND	ND	ND	6.84	ND	6.84	ND	ND	ND	
		ค่าต่ำสุด	0.32	ND	0.32	0.42	ND	0.42	ND	ND	ND	4.59	ND	4.59	ND	ND	ND	
		ค่าเฉลี่ย	2.46	ND	2.46	2.61	ND	2.61	ND	ND	ND	5.58	ND	5.58	ND	ND	ND	
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.83	ND	1.83	1.61	ND	1.61	ND	ND	ND	0.87	ND	0.87	ND	ND	ND	
	1	3.29	ND	3.29	2.91	ND	2.91	ND	ND	ND	3.42	ND	3.42	8.63	ND	8.63		
	2	4.35	ND	4.35	4.12	ND	4.12	ND	ND	ND	0.80	ND	0.80	ND	ND	ND		
	3	1.89	ND	1.89	2.12	ND	2.12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	3	ค่าสูงสุด	4.35	ND	4.35	4.12	ND	4.12	ND	ND	ND	3.42	ND	3.42	8.63	ND	8.63	
		ค่าต่ำสุด	1.89	ND	1.89	2.12	ND	2.12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ค่าเฉลี่ย	3.18	ND	3.18	3.05	ND	3.05	ND	ND	ND	2.11	ND	2.11	8.63	ND	8.63	
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.23	ND	1.23	1.01	ND	1.01	ND	ND	ND	1.85	ND	1.85	ND	ND	ND	
	รวม	N=13	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	0.32-	ND	0.32-	0.42-	ND	0.42-	ND-	ND	ND-	ND-	ND	ND-	ND-	ND	ND-
				13.09		13.09	4.66		4.66	4.27		4.27	9.21		9.21	8.63		8.63
ค่าเฉลี่ย			3.60	ND	3.60	2.87	ND	2.87	4.27	ND	4.27	5.46	ND	5.46	8.63	ND	8.63	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			3.24	ND	3.24	1.34	ND	1.34	ND	ND	ND	2.26	ND	2.26	ND	ND	ND	

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ชั้น	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา		
			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)		
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม
3	1	1	*	*	*	8.55	ND	8.55	ND	ND	ND	4.81	ND	4.81	ND	ND	ND
		2	4.64	ND	4.64	8.26	ND	8.26	7.61	ND	7.61	7.64	ND	7.64	ND	ND	ND
		3	9.85	ND	9.85	7.37	ND	7.37	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		4	4.91	ND	4.91	4.95	ND	4.95	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		5	1.78	ND	1.78	4.14	ND	4.14	ND	ND	ND	7.43	ND	7.43	ND	ND	ND
	ค่าสูงสุด	9.85	ND	9.85	8.55	ND	8.55	7.61	ND	7.61	7.64	ND	7.64	ND	ND	ND	
	ค่าต่ำสุด	1.78	ND	1.78	4.14	ND	4.14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	ค่าเฉลี่ย	5.29	ND	5.29	6.66	ND	6.66	7.61	ND	7.61	6.62	ND	6.62	ND	ND	ND	
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.35	ND	3.35	1.99	ND	1.99	ND	ND	ND	1.58	ND	1.58	ND	ND	ND	
	2	1	3.27	ND	3.27	1.97	ND	1.97	ND	ND	ND	6.01	ND	6.01	ND	ND	ND
2		1.92	ND	1.92	2.98	ND	2.98	ND	ND	ND	6.99	ND	6.99	ND	ND	ND	
3		4.24	ND	4.24	3.01	ND	3.01	ND	ND	ND	5.70	ND	5.70	ND	ND	ND	
4		4.12	ND	4.12	1.87	ND	1.87	ND	ND	ND	6.87	ND	6.87	ND	ND	ND	
5		6.96	ND	6.96	5.64	ND	5.64	ND	ND	ND	6.29	ND	6.29	ND	ND	ND	

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ซ้	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา		
			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)		
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม
2 (ต่อ)		ค่าสูงสุด	6.96	ND	6.96	5.64	ND	5.64	ND	ND	ND	6.99	ND	6.99	ND	ND	ND
		ค่าต่ำสุด	1.92	ND	1.92	1.87	ND	1.87	ND	ND	ND	5.70	ND	5.70	ND	ND	ND
		ค่าเฉลี่ย	4.10	ND	4.10	3.10	ND	3.10	ND	ND	ND	6.37	ND	6.37	ND	ND	ND
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.85	ND	1.85	1.52	ND	1.52	ND	ND	ND	0.55	ND	0.55	ND	ND	ND
3		1	3.88	ND	3.88	2.32	ND	2.32	4.47	ND	4.47	7.24	ND	7.24	ND	ND	ND
		2	2.12	ND	2.12	2.61	ND	2.61	ND	ND	ND	5.45	ND	5.45	ND	ND	ND
		3	8.07	ND	8.07	3.25	ND	3.25	4.33	ND	4.33	5.45	ND	5.45	ND	ND	ND
		ค่าสูงสุด	8.07	ND	8.07	3.25	ND	3.25	4.47	ND	4.47	7.24	ND	7.24	ND	ND	ND
3		ค่าต่ำสุด	2.12	ND	2.12	2.32	ND	2.32	4.33	ND	4.33	5.45	ND	5.45	ND	ND	ND
		ค่าเฉลี่ย	4.69	ND	4.69	2.73	ND	2.73	4.40	ND	4.40	6.05	ND	6.05	ND	ND	ND
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.06	ND	3.06	0.48	ND	0.48	0.10	ND	0.10	1.03	ND	1.03	ND	ND	ND
		ค่าต่ำสุด-สูงสุด	1.78-	ND	1.78-	1.87-	ND	1.87-	ND-	ND	ND-	ND-	ND	ND-	ND	ND	ND
รวม	N=13		9.85		9.85	8.55		8.55	7.61		7.61	7.64		7.64			
		ค่าเฉลี่ย	4.64	ND	4.64	4.38	ND	4.38	5.47	ND	5.47	6.35	ND	6.35	ND	ND	ND
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.51	ND	2.51	2.38	ND	2.38	1.86	ND	1.86	0.94	ND	0.94	ND	ND	ND

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ชั้น	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา		
			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)			(ชม.)		
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม
4	1	1	4.75	ND	4.75	1.60	ND	1.60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		2	1.15	ND	1.15	1.58	ND	1.58	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		3	2.86	ND	2.86	7.12	ND	7.12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		4	4.03	ND	4.03	4.91	ND	4.91	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		5	8.70	ND	8.70	8.95	ND	8.95	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	ค่าสูงสุด	8.70	ND	8.70	8.95	ND	8.95	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	ค่าต่ำสุด	1.15	ND	1.15	1.58	ND	1.58	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	ค่าเฉลี่ย	4.30	ND	4.30	4.83	ND	4.83	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.81	ND	2.81	3.29	ND	3.29	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	2	1	3.04	ND	3.04	0.62	ND	0.62	ND	ND	ND	4.50	ND	4.50	ND	ND	ND
2		1.24	ND	1.24	1.43	ND	1.43	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3		0.54	ND	0.54	4.17	ND	4.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
4		1.60	ND	1.60	1.63	ND	1.63	ND	ND	ND	7.21	ND	7.21	ND	ND	ND	
5		4.10	ND	4.10	4.09	ND	4.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศริมถนนของเทศบาลนครนครราชสีมาจากการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	ซ้	เบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โทลูอิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอทิลเบนซีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			เอ็ม-ไซลีนและ พี-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			โอ-ไซลีน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา			ระดับความหนา				
			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)			(ซม.)				
			3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม	3.0	0.5	รวม		
4	2 (ต่อ)	ค่าสูงสุด	4.10	ND	4.10	4.17	ND	4.17	ND	ND	ND	7.21	ND	7.21	ND	ND	ND		
		ค่าต่ำสุด	0.54	ND	0.54	0.62	ND	0.62	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
		ค่าเฉลี่ย	2.10	ND	2.10	2.39	ND	2.39	ND	ND	ND	5.85	ND	5.85	ND	ND	ND		
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.44	ND	1.44	1.64	ND	1.64	ND	ND	ND	1.92	ND	1.92	ND	ND	ND		
	3	1	1.49	ND	1.49	2.69	ND	2.69	ND	ND	ND	5.45	ND	5.45	ND	ND	ND		
		2	0.29	ND	0.29	5.32	ND	5.32	ND	ND	ND	5.67	ND	5.67	ND	ND	ND		
		3	1.26	ND	1.26	1.90	ND	1.90	ND	ND	ND	5.30	ND	5.30	ND	ND	ND		
		ค่าสูงสุด	1.49	ND	1.49	5.32	ND	5.32	ND	ND	ND	5.67	ND	5.67	ND	ND	ND		
		ค่าต่ำสุด	0.29	ND	0.29	1.90	ND	1.90	ND	ND	ND	5.30	ND	5.30	ND	ND	ND		
		ค่าเฉลี่ย	1.01	ND	1.01	3.30	ND	3.30	ND	ND	ND	5.47	ND	5.47	ND	ND	ND		
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	ND	0.63	1.79	ND	1.79	ND	ND	ND	0.19	ND	0.19	ND	ND	ND		
		รวม	N=13	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	0.29-	ND	0.29-	0.62-	ND	0.62-	ND	ND	ND	ND-	ND	ND-	ND	ND	ND
				ค่าเฉลี่ย	2.70	ND	2.70	3.54	ND	3.54	ND	ND	ND	5.63	ND	5.63	ND	ND	ND
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.31			ND	2.31	2.51	ND	2.51	ND	ND	ND	0.99	ND	0.99	ND	ND	ND		

หมายเหตุ ND = Not Detected, * = Invalid data



ภาคผนวก ซ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

อัญชติ คัตรีมี และนเรศ เชื้อสุวรรณ. (2560). **A Low Cost Tube-Type Passive Sampler for Ambient BTEX Monitoring in Urban Settings, Thailand.** การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 5 (5th International Conference on Advances in Chemical, Biological & Environmental Engineering (ACBEE-17), March 29-30, 2017 Singapore). หน้า 244-249



A Low Cost Tube-Type Passive Sampler for Ambient BTEX Monitoring in Urban Settings, Thailand

Anchalee Katramee and Nares Chuersuwat

Program in Environmental Pollution and safety, School of Environmental Health, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

Abstract This study validates the laboratory made tube-type passive sampler as a low cost BTEX sampling device for an urban environment in Thailand. Glass vials (10 ml, 70 mm height, 15 mm ID) packed with activated carbon, 20/40 mesh size, were tested in both laboratory and urban settings. The sampling device was filled and packed for 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 cm depth with activated carbon and exposed in a closed chamber for 1, 3, 5, and 7 days at specific BTEX concentrations usually found in urban environment in Thailand. The results showed that the passive samplers were capable of collecting BTEX compounds at low concentrations within 24-hour period. An appropriate depth for activated carbon adsorbent was suggested at 2.0 cm with 0.5 cm for breakthrough for 24-hr sampling duration.

Keywords: BTEX, VOCs, Passive sampler, Tube-type passive sampler, Thailand

1. Introduction

BTEX represents a group of chemical compound known as Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene, the components of volatile organic compounds (VOCs). BTEX is constituted in petroleum products such as gasoline, diesel [1-2]. VOCs are of concern in Thailand along the roadside and industrial areas according to the yearly report on the state of air pollution during 2013-2015 [3]. The concentrations were found higher than other areas. However, the annual average was within the country's limit, except benzene that exceeded the annual standard of 1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [4].

Road traffic was the mainly source of VOCs release into the ambient air [5-7]. When BTEX compounds were released into the atmosphere, they are potentially exposed to human, animals and plants, causing an increasing risk of disease to the population, such as traffic police, motorcycle vendors, people who use public bus service, including people who live in areas near the streets.

Ambient BTEX measurements can be achieved by active or passive sampling techniques. Passive sampling technique has advantages in terms of simplicity, cost, easy to use, small and lightweight. It can also be easily installed at many areas simultaneously by non-specialists which make the spatial collection of concentrations data. The passive devices are commercially available either with different designs, shapes and characteristics of the devices depending on the manufacture and supplier. This study recognizes the importance of the tube-type passive sampling device for BTEX compounds monitoring that can be prepared and used locally with budget-constrained agency.

2. Methods and Materials

2.1. Preparation of passive sampler

The 10 ml glass vials (70 mm height, 15 mm ID) with screw caps were used as passive sampler devices. Activated carbon, 20/40 mesh size, was used as the adsorbent. Activated carbon was activated through the clean-up process by heating at 150 °C for 1 hour and to remove contaminants from the adsorbent prior to use. The passive samplers were filled with adsorbent and separated into four layers, 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 cm. Each layer contained 650 mg activated carbon and was separated with compressed cotton. Each layer was packed at 2,000 g force ensuring uniform pack of the adsorbent (Fig. 1). The passive samplers were capped and stored in a desiccator prior to use in the sampling.

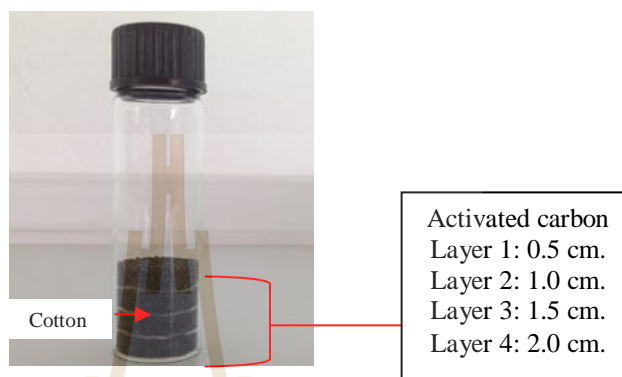


Fig. 1: A tube-type passive sampler for BTEX measurement

2.2. Exposure chamber

An acrylic chamber was built and used in the experiment. The chamber was 35 cm x 40 cm x 30 cm (wide x length x high), attached with a small chamber opening to minimize draft inside the exposure chamber during the experiment (Fig. 2). A thermometer was placed inside and outside of the chamber to monitor change in temperature.

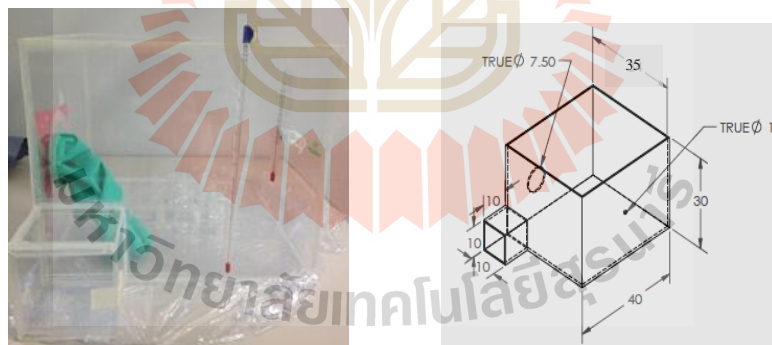


Fig. 2: An exposure chamber

2.3. Validation of the laboratory-made passive samplers

Three concentration levels of BTEX were set in the exposure chamber to examine the optimum conditions for the tube-type passive samplers. The levels were the conditions commonly found in Thailand (Table 1). BTEX were added in a beaker placed inside the chamber until the equilibrium concentration reached. Gas samples inside the chamber were constantly taken for the analysis by a gas chromatography to determine the concentrations. When the equilibrium was established, the set of five tube-type passive samplers were placed inside the chamber during the exposure conditions of 1, 3, 5 and 7 days.

TABLE I: Concentration level of BTEX compounds in chamber

Compounds	Level of concentration (ppb)		
	Low	Medium	High
Benzene	2-6	10-15	20-25
Toluene	6-10	15-20	30-35
Ethylbenzene	3-5	7-10	13-15
m-Xylene, p-Xylene	5-7	9-11	15-17
o-Xylene	3-5	7-9	11-13

Upon the completion of exposure periods, each layers of the adsorbent were separately extracted by carbon disulfide according to NIOSH method 1501. Once the optimum conditions of the tube-type passive samplers were determined, field sampling was conducted in the urban setting of Nakhon Ratchasima Municipality, the fifth largest municipality in Thailand. The passive samplers were placed next to the busy intersections downtown, 2 m above ground and 1.5 m away from the streets. After that, the tube-type passive samplers tested BTEX sampling in the ambient air. The passive samplers were retrieved at the end of exposure period and immediately extracted to determine BTEX concentrations of each layers.

2.4. BTEX Analysis

Optimum conditions for BTEX analysis were determined prior to the analysis. Each layer of activated carbon was separately extracted with 1.5 ml carbon disulfide. Then, 200 μ l of extracted solution was drawn and place into 2 ml vials. 2 μ l of sample was injected into a gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (GC-FID) (Agilent 7890A, USA). The samples were separated inside the 30 m, 0.32 mm and 1.00 μ m, HP-624 capillary column. The chemical peaks were determined and confirmed according to detention time of the column and BTEX standards (Arcos, USA). The detection limits of BTEX were 1.55, 1.61, 1.28, 1.52 and 1.45 ppb, respectively.

3. Results and Discussions

3.1. Optimum GC-FID conditions for BTEX analysis

Criteria to consider the optimum conditions of GC-FID for analysis of BTEX compounds were to achieve high resolution of signal respond and peak areas of BTEX compounds were clearly separated. Extracted solutions from the tube-type passive sampler yielded a good separations according to conditions described in Table 2.

TABLE II: Optimum GC-FID conditions for BTEX analysis

Parameters	Optimum conditions
Flow rate of He (ml/min)	2.5
Flow rate of H ₂ (ml/min)	30
Flow rate of N ₂ (ml/min)	30
Flow rate of O ₂ (ml/min)	300
Inlet Temperature (°C)	200
Oven Temperature :	
Initial Temperature (°C)	35
Initial holding Time (min)	2
Ramp Rate (°C/min)	4
Final Temperature (°C)	110
Final holding Time (min)	1
Detector Temperature (°C)	250

3.2. Validation of the tube-type passive samplers for BTEX

Under chamber conditions, exposure to equilibrium concentrations of BTEX showed that the tube-type passive samplers adsorbed BTEX in all four layers of activated carbon through 2.0 cm depth when they were exposed at high concentrations, 11-35 ppb, for 7 days (Fig. 3). Benzene and toluene were detected within one day of exposure at low concentrations, 2-10 ppb. Ethylbenzene was clearly found in the top layer in low, medium, and high concentrations but it was absent in the lower layers within 1 – 5 days of exposure. Only high concentrations of the Ethylbenzene were found in 1.0 – 2.0 cm depth after exposed for 7 days. Two congeners of Xylene, m-Xylene and p-Xylene, were quantified together. Low concentrations were detected at the top layer, but they showed up more clearly at medium and high concentrations. Therefore, the tube-type passive samplers had potential in the application of collecting BTEX in the air with 2.0 cm depth of activated charcoal.

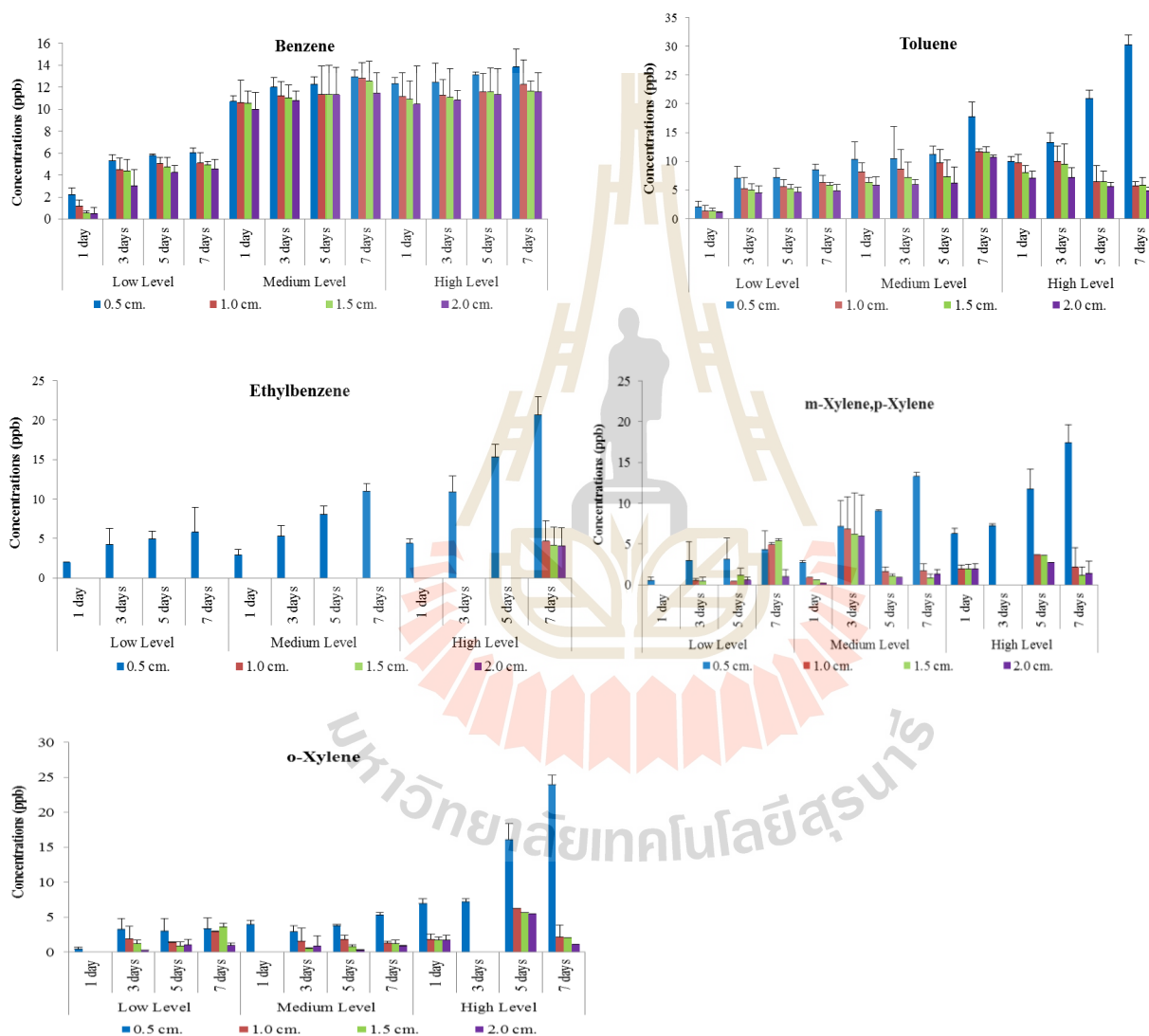


Fig.3: Concentrations of BTEX compounds at low, medium, high concentrations on 1, 3, 5, and 7 days exposure in the test chamber

Real world scenario was tested with a modified configuration. Another 0.5 cm of activated charcoal was added at the bottom to detect any breakthrough during the sampling (Fig. 4). Road-side sampling was performed for 24-hr period in the urban setting of Nakhon Ratchasima Municipality, Thailand. The results founded that benzene and toluene were found in backup layer. Therefore, the author had compact the activated carbon up to

3,000 g with the adsorbent layer of 3.0 cm. A 24-hr sampling at four road-side settings showed no breakthrough for Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m-Xylene, p-Xylene and o-Xylene (Fig.5).



Fig. 4: Configuration of tube-type passive sampler for ambient BTEX measurement

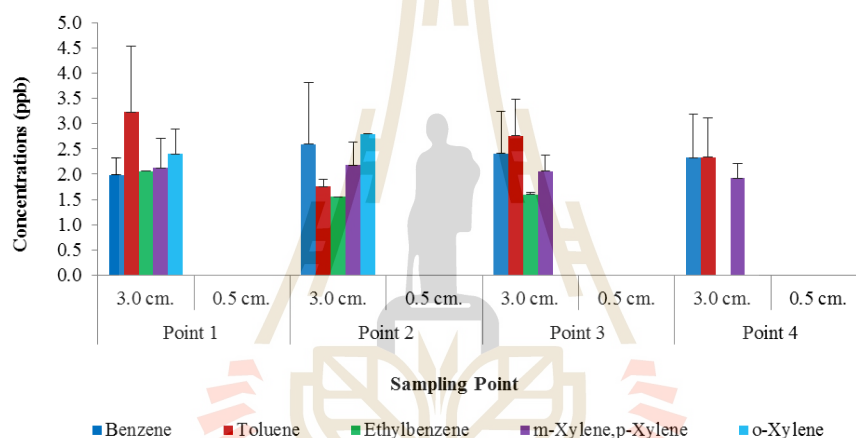


Fig. 5: Concentrations of BTEX compounds in the ambient air

4. Conclusions

Our tube-type passive sampler was capable of collecting ambient BTEX in an urban environment. A glass vial, 70 mm height, 15 mm ID, with screw caps packed with activated carbon cost less than \$5 US/vial was demonstrated to detect BTEX with 24-hr sampling time. The depth of activated carbon as adsorbent was 3.0 cm with 0.5 cm bottom section to detect any breakthrough. Adsorbent required compaction strength of 3,000 g during packing in the glass vials. The glass vial can be reused to reduce cost and minimize waste. Commercial passive samplers cost between \$12–\$75 US [8-9]. The construction, installation and maintenance costs are cheaper than any other air monitoring techniques [10]. The tube-type passive sampler offers an alternative for BTEX monitoring in urban settings in Thailand.

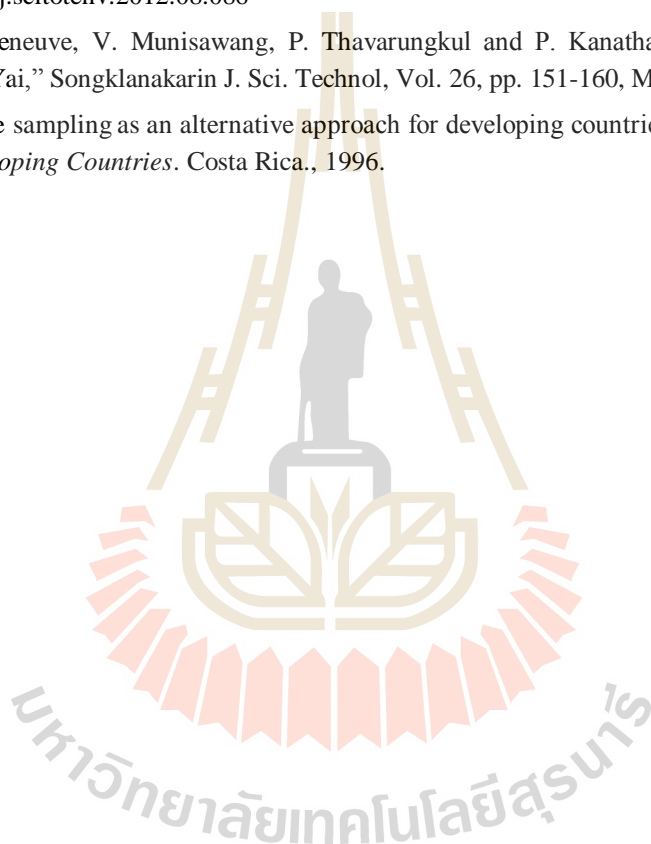
5. Acknowledgements

This study was supported and funded by Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

6. References

- [1] United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), “Waste and cleanup risk assess glossary,” Virginia, 2010.
- [2] Ohio Department of Health (ODH), “BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene),” Ohio, 2014.

- [3] Pollution control department (PCD), "Thailand State of Pollution Report 2015," Ministry of Natural Resources and Environment, 2016.
- [4] Pollution control department (PCD), "Volatile Organic Compounds (VOCs) in Ambient Air Standards of Thailand," Notification of National Environmental Board, No. 30, 2007.
- [5] Pollution control department (PCD), "Thailand State of Pollution Report 2013," Ministry of Natural Resources and Environment, 2014.
- [6] W. Laowakul, P. Pongprayoon, D. Morknoy, I. Poramart, U. Unakul, W. Suksomboon and S. Sudthisuk, Assessment of volatile organic compounds from ventilation fumes of gasoline automobiles using gasohol, Bangkok: Center for research and training environment, 2007, pp. 1-11.
- [7] T. T. N. Lan and N. T. T. Binh, "Daily roadside BTEX concentrations in East Asia measured by the lanwatsu, radiello and ultra I skc passive samplers." *Science of the Total Environment*, Vol. 441, pp. 248-257, November 2012.
- [8] <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.086>
- [9] C. Thammakhet, T. Villeneuve, V. Munisawang, P. Thavarungkul and P. Kanatharana, "Monitoring of BTX by passive sampling in Hat Yai," *Songklanakarin J. Sci. Technol*, Vol. 26, pp. 151-160, May 2004.
- [10] M. Hangartner, "Diffusive sampling as an alternative approach for developing countries," in *Proc. of World Congress on Air Pollution in Developing Countries*. Costa Rica., 1996.



ประวัติผู้เขียน

นางสาวอัญชติ คัตรมิ เกิดเมื่อวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2529 ณ จังหวัดกาฬสินธุ์ สำเร็จ การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบัวขาว อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ในปี การศึกษา 2548 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาอาชีวอนามัยและ ความปลอดภัย เกียรตินิยมอันดับสอง ในปีการศึกษา 2552 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานใน สถานประกอบการผลิตยางรถยนต์ ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ ทำให้เกิดแรงจูงใจที่จะศึกษาต่อ เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้และความสามารถให้กับตนเอง จึงได้เข้า ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขามลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี ปี พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัย: นำเสนอบทความในการประชุมวิชาการ 5th International Conference on Advances in Chemical, Biological & Environmental Engineering (ACBEE-17), Singapore ระหว่างวันที่ 29-30 มีนาคม 2560 ในชื่อเรื่อง: A Low Cost Tube-Type Passive Sampler for Ambient BTEX Monitoring in Urban Settings, Thailand

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี