การประเมินการได้รับสัมผัสสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กอำเภอเมืองนครราชสีมา

นางสาวจิตรลดา ฉิมใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชามลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

EXPOSURE ASSESSMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON (PAHs) IN CHILDCARE CENTERS OF MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA

Jitlada Chimmai

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A 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 2017

การประเมินการได้รับสัมผัสสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กอำเภอเมืองนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(อ. ดร.ชลาลัย หาญเจนลักษณ์)
คณบดีสำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จิตรลดา ฉิมใหม่ : การประเมินการได้รับสัมผัสสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กอำเภอเมืองนครราชสีมา (EXPOSURE ASSESSMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON (PAHs) IN CHILDCARE CENTERS OF MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวา, 166 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็งได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Dibenz(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene ทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและอนุภาคฝุ่นละออง ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร ตลอดจนการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล และพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร การกระจายตัวของสาร PAHs อยู่ในสถานะฝุ่นละอองร้อยละ 56.85 มากกว่าอยู่ในก๊าซ ในเขตเทศบาลศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่พบปริมาณสาร PAHs มากที่สุดคือ ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์พบ Indeno(1,2,3cd)pyrene Benzo(a,h)anthracene และ Benzo(g,h,i)perylene และ Benzo(a)pyrene เท่ากับ 2.02 2.00 1.78 และ 1.59 ค่านาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับนอกเขตเทศบาลที่พบสาร Benzo(g,h,i)perylene Benzo(a) pyrene Benzo(a,h)anthracene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene มากที่สุดเท่ากับ 1.55 1.55 1.30 และ 1.13 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะเดียวกันสาร PAHs ที่พบปริมาณน้อยที่สุดคือ สาร Naphthalene ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลมีค่าเท่า 1.00 และ 0.75 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณสาร PAHs ในอากาศของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลสูงกว่า 1.3 เท่าของปริมาณสาร PAHs นอกเขตเทศบาล ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งผ่านเส้นทางการได้รับสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation pathway) พบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร และพบมากที่สุดคือความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene มีค่าเท่ากับ 1.75×10^{-6} และ 1.35×10^{-6} ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล ซึ่งมีเฉพาะสาร Benzo(a)pyrene เท่านั้นมีค่าความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

สาขาวิชามลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย ลายมือชื่อนักศึกษา จิตรลดา ฉิมใหม่

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ประพัฒน์

JITLADA CHIMMAI : EXPOSURE ASSESSMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON (PAHs) IN CHILDCARE CENTERS OF MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PRAPAT PENTAMWA, Ph.D., 166 PP.

EXPOSURE ASSESSMENT/POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON (PAHs)/INDOOR TO OUTDOOR RATIO/GAS PARTICULATE PHASES/ CHILDCARE CENTERS

This study aimed to investigate airborne 16 PAHs carcinogenic group including Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo (a) anthracene, Chrysene, Benzo (b) fluoranthene, Benzo (k) fluoranthene, Benzo (a) pyrene, Benzo (a, h) anthracene, Dibenz (g, h, i) perylene and Indeno (1,2,3-cd) compounds in both gas and particles phase in outdoor and indoor air environment. The study of cancer risk from 16 PAHs exposed to child in childcare centers in the urban and rural area of Nakornratchasima Municipality were also in investigated. All 16 PAHs species in the air of urban and rural area were detected. PAHs were found in outdoor rather than indoor air of each child care center. The distribution of PAHs was presented on particulate (56.85%) higher than vapor phase. In the urban area, Chonpratansongkroeh child care center had which are found the most PAHs Indeno(1,2,3cd)pyrene Benzo(a,h)anthracene as well as Benzo(g,h,i)perylene and Benzo(a)pyrene; at 2.02 2.00 1.78 and 1.59 ng/m^3 respectively just like another child care center in urban where found Benzo(g,h,i) perylene Benzo(a)pyrene Benzo(a,h)anthracene and Indeno(1,2,3-cd) pyrene 1.55 1.55 1.30 and 1.13 ng/m^3 respectively. The lowest PAHs of naphthalene compound found

in urban and rural area were 1.00 and 0.75 ng/m^3 respectively. PAHs level in air of child care centers in the urban area was 1.3 times higher than rural area. Results found that the cancer risk from 16 PAHs exposure through the Inhalation pathway for outdoors higher than indoors environment. The most cancer risk from PAHs exposure is Benzo (a) pyrene was $1.75x10^{-6}$ and $1.35x10^{-6}$ in municipality and outside of municipality. The cancer risk of Benzo (a) pyrene were only exceeding the acceptable value of the United States Environmental Protection Agency.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Environmental Pollution and Safety Student's Signature จิตรลดา จิมภิบ่

Academic Year 2017 Advisor's Signature ประธาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวา กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การ อบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และ ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์ ประธานกรรมการ กรุณาให้การแนะนำคำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดจิต ครุจิต กรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำ และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์

คณาจารย์หลักสูตรมลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำการทำวิจัย

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

จิตรลดา ฉิมใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 ตัวแปรในการศึกษาวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.6 ประโยนช์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ 5

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สิ่งแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 7

2.1.1 ความหมายของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 8

2.1.2 มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 8

2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 14

2.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอากาศ 17

2.4 แหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม 19

2.4.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ 19

2.4.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ 19

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 การแพร่กระจายของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม 20

2.5 การเก็บและการวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ 24

2.5.1 ประเภทของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง 25

2.5.2 การสอบเทียบ 25

2.5.3 ประเภทของอุปกรณ์สอบเทียบ 26

2.5.4 อุปกรณ์เก็บสะสมตัวอย่างก๊าซและไอระเหย 27

2.5.5 การวิเคราะห์สาร PAHs 30

2.5.6 การคำนวณความเข้มข้นของ PAHs 33

2.6 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อสุขภาพ 34

2.6.1 การแพร่กระจาย PAHs เข้าสู่ร่างกาย 34

2.6.2 ความเป็นพิษของ PAHs 35

2.6.3 พิษเรื้อรังของ PAHs ในมนุษย์และสัตว์ทดลอง 35

2.6.4 ตัวชี้บ่งทางชีวภาพของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 37

2.7 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ 38

2.7.1 ความหมายการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ 38

2.8 สรุปที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 45

2.9 กรอบแนวคิดงานวิจัย 47

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การดำเนินการศึกษา 48

3.1.1 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 48

3.1.2 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 50

3.1.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 52

3.1.4 การเลือกกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา 52

3.1.5 การประเมินสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 53

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1 วัสดุ อุปกรณ์เก็บอนุภาค 55
3.2.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอากาศ 55
3.2.3 วัสดุ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซ 55
3.2.4 สารเคมี และ สารละลายมาตรฐาน PAHs 55
3.2.5 อุปกรณ์อื่นๆ 56
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 57
3.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง 58
3.4.1 การเตรียม Polyuretane Foam และ กระดาษกรองเพื่อเก็บตัวอย่าง 58
3.4.2 การคำนวณความเข้มข้นของ PAHs 59
3.4.3 การควบคุมคุณภาพ/ประกันคุณภาพ 61
3.4.4 จำนวนตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศ 61
3.4.5 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ 62
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 66

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล

4.1 สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 67
4.1.1 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์เด็กเล็ก 67
4.1.2 สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็ก 69
4.1.3 ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 74
4.2 ปริมาณสาร PAHs ในอากาศในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล 76
4.2.1 การกระจายตัวของสาร PAHs ในอากาศ (Phase distribution) 76
4.2.2 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล 76
4.2.3 ปริมาณสาร PAHs และ สภาวะสิ่งแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 96
4.2.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล 97

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งภายในและภายนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา....98
5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ....123
5.1 สรุปผลการศึกษา....123
5.1.1 สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก....123
5.1.2 ปริมาณสาร PAHs ในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล....125
5.1.3 ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งภายในและภายนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา....125
5.2 ข้อจำกัด/ข้อควรระวังในการศึกษา....126
5.3 ข้อเสนอแนะ....126
5.3.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยนี้....126
5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป....127
รายการอ้างอิง....128
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. แบบประเมินสภาวะแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก....132
ภาคผนวก ข. สภาวะที่เหมาะสมของ GC/MS ที่ใช้วิเคราะห์สาร PAHs....138
ภาคผนวก ค. การตรวจสอบค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์สาร PAHs....141
ภาคผนวก ง. กราฟมาตรฐานของสาร PAHs....144
ภาคผนวก จ. ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเมืองนครราชสีมา....153
ภาคผนวก ฉ. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ....156
รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์....159
ประวัติผู้เขียน....166

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้าง คุณสมบัติเคมีและทางกายภาพของ PAHs 16
2.2 ปริมาณสาร PAHs ที่พบในฝุ่นละอองในอากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร 19
2.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs 20
2.4 ปริมาณสาร PAHs ที่พบตามชนิดของเครื่องยนต์ 21
2.5 ปริมาณที่พบ PAHs ในบรรยากาศ 40
2.6 การแบ่งกลุ่มสาร PAHs ในการก่อให้เกิดมะเร็ง 41
2.7 ค่า Cancer slope factor (SF) ผ่านทางการหายใจ ของ PAHs 42
3.1 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 49
3.2 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 51
3.3 เกณฑ์การประเมินศูนย์เด็กเล็กน่าอยู่ด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย 54
3.4 สภาวะของการวิเคราะห์ PAHs โดยเครื่อง GC/MS 60
3.5 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก 62
3.6 ค่า Toxic Equivalency Factor ที่ใช้ประมาณการศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง 65
4.1 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล 68
4.2 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล 69
4.3 สิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล 71
4.4 สิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล 73
4.5 ผลการประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (เกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อม 15 ข้อ) 75
4.6 ผลการประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล (ข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์) 75
4.7 ผลการประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล (ข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์) 75
4.8 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 80
4.9 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.10 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 83

4.11 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 85

4.12 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านเกาะ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 86

4.13 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 89

4.14 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. ปรุใหญ่ นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 90

4.15 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 92

4.16 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านใหม่ นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 93

4.17 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 94

4.18 ความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 99

4.19 ความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ) 100

4.20 ความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม) 101

4.21 ความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน) 102

4.22 ความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านเกาะ) 103

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.23 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.สุรนารี).....105
4.24 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.ปรุใหญ่).....106
4.25 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี) 107
4.26 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.โคกกรวดเมืองใหม่).....108
4.27 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านใหม่).....109
4.28 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์).....111
4.29 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ).....112
4.30 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม) 113
4.31 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน).....114
4.32 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านเกาะ).....115
4.33 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านเกาะ).....117
4.34 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.ปรุใหญ่).....118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.35 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี) 119
4.36 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.โคกกรวดใหม่).....120
4.37 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านใหม่).....121

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ PAHs 15
2.2 สภาวะของสาร PAHs ในบรรยากาศ 24
2.3 การเก็บสาร PAHs ในอากาศ 30
2.4 ส่วนประกอบของ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer 32
2.5 ผลกระทบจากการรับสัมผัสสาร PAHs 37
2.6 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ 39
2.7 กรอบแนวคิดในการศึกษา 47
3.1 วิธีดำเนินการศึกษา 50
3.2 กลุ่มตัวอย่างศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเมืองนครราชสีมาทั้ง 10 ศูนย์ 53
3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศ แบบ Active Sampler 55
3.4 เครื่อง Soxhlet Extractor 56
3.5 เครื่อง GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectrometer) 57
3.6 ขั้นตอนการเก็บและวิเคราะห์สาร PAHs ในอากาศทั้งในรูปของอนุภาคและก๊าซ 59
4.1 การกระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 77
4.2 การกระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 78
4.3 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ 81
4.4 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ 81
4.5 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม 84
4.6 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน 84
4.7 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ 87
4.8 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี 87
4.9 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. ปรุใหญ่ 91
4.10 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ 91
4.11 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านใหม่ 95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.12 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี 95
4.13 ปริมาณสาร PAHs ในเขตเทศบาล (Urban) และนอกเขตเทศบาล (Rural) 97

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทางเศรษฐกิจ สังคม เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตทุกภาคส่วน และการปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศ นำมาซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากการได้รับสัมผัสสารมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศหลากหลายประเภท โดยเฉพาะอนุภาคฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคของแข็งเกิดจากการบด ขัดสี ของสารทั้งที่เป็นอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุซึ่งเมื่อถูกปล่อยเข้าสู่บรรยากาศจะสามารถลอยอยู่ในอากาศได้ชั่วระยะเวลาหนึ่งและกระจายตัวได้ในระยะทางไกลได้ (Mostert et al., 2011) ในขณะเดียวกันยังเป็นตัวกลางนำพาสารอื่นที่มีผลต่อกระทบต่อสุขภาพเกาะติดไว้ที่อนุภาคฝุ่นละออง เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ระเหย หรือแม้แต่สารประกอบโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon : PAHs) องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US EPA)ได้กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิด เป็นสารก่อมะเร็งที่ควรให้ความสำคัญซึ่งประกอบด้วย Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k) fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene โดยทั่วไปแล้วจะพบสาร PAHsในอากาศได้ 2 สถานะ คือสถานะก๊าซที่มีวงเบนซีน 2 ถึง 3 วง เช่น Acenaphthylene, Naphthalene, Phenantrene และสถานะอนุภาคที่มีวงเบนซีน 5 ถึง 6 วง เช่น benz[*a*]pyrene, benzo[*b*]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene (Beak et al.,2001) โดยสาร PAHs สามารถแพร่เข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางตรง เช่น จากการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นละอองที่ปนเปื้อน PAHs เข้าไป หรือการสัมผัสผ่านผิววัตถุที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง เช่น การสัมผัสกับดิน หรือ การสัมผัสทางอ้อมจากการกินอาหารหรือน้ำดื่มที่ปนเปื้อน PAHs (ATSDR, 1995) ในขณะเดียวกัน PAHs ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศจะเกาะติดกับอนุภาคของฝุ่น และแพร่กระจายไปในที่ต่างๆ ในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนแพร่กระจายไปสู่แหล่งที่พักอาศัย อาคาร บ้านเรือน โดยเฉพาะกับพื้นที่ที่อยู่ในเขตชุมชนเมืองที่มีการจราจรที่หนาแน่นกว่า จะพบปริมาณสารประกอบโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่นอกเขตชุมชนเมืองหรือพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลออกไป (Nelson et al., 1998) เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญได้แก่ พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงฟอสซิล น้ำมันปิโตรเลียม การเผาไหม้ของชีวมวล การเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินและดีเซล และ

แหล่งกำเนิดสำคัญที่สุดของ PAHs เกิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงของยานพาหนะเป็นหลัก (Ruiz et al, 2009) บุคคลที่ดำเนินชีวิตอยู่ในเขตพื้นที่ชุมชนเมืองจึงมีโอกาสที่จะได้รับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายในปริมาณสูง PAHs มีสภาพคงตัวอยู่ได้ทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาคทั้งนี้ขึ้นกับขนาดโมเลกุลและสภาพบรรยากาศ โดยปกติแล้วจะพบสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำอยู่ในสถานะก๊าซ (Gas phase) ตามค่าความดันไอที่เปลี่ยนไปและจะพบสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงอยู่สถานะที่เป็นอนุภาค (Particulate phase) (Zheng et al., 2009) สาร PAHs เข้าสู่ร่างกายผ่านทางการกิน การหายใจและการสัมผัสผ่านผิวหนังซึ่ง PAHs ในอากาศ จะรวมตัวกับอนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยเข้าสู่ปอด เข้าสู่เนื้อเยื่อจนถึงชั้นไขมัน และสะสมในตับ ไต และไขมันเป็นส่วนใหญ่ จึงสะสมได้นานในร่างกาย และยังอาจสะสมในชั้นเมมเบรนของเซลล์ซึ่งเป็นฟอสโฟไลปิด เช่น Benzo (a) Pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene ที่จัดเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 2B หมายถึงกลุ่มที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์ หากหายใจเอาสารมลพิษเข้าไปจะก่อให้เกิดมะเร็งปอดและระบบทางเดินหายใจ ส่งผลต่อระบบสืบพันธุ์และระบบประสาท (US EPA, 1998) และมีบางชนิดที่สะสมอยู่ในร่างกายได้ไม่นานจากการถูกขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะและอุจจาระ เช่น Naphthalene และ Anthracene เมื่อมนุษย์ได้รับ PAHs ที่แพร่กระจายในสภาพแวดล้อมทั้งภายในอาคาร (Indoor) และภายนอกอาคาร (Outdoor) สามารถส่งผลกระทบได้ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง (Wilson et al, 2003) ทั้งนี้ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ขึ้นอยู่กับขอบเขตของการได้รับสัมผัส เช่น ระยะเวลาในการรับสัมผัส ระดับความเข้มข้นและปริมาณที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม ความเป็นพิษของ PAHs แต่ละชนิด และเส้นทางที่รับสัมผัสเข้าไป ไม่ว่าจะเป็นจากการหายใจ การกิน หรือสัมผัสผ่านผิวหนัง และปัจจัยร่วมอื่นอีก เช่น สภาวะสุขภาพของแต่ละคน และอายุ โดยเด็กจะมีโอกาสได้รับสัมผัสสารPAHs มากกว่าผู้ใหญ่ เพราะกิจกรรมที่ทำมีโอกาสได้รับสัมผัสสาร PAHs มากกว่า เช่น การหายใจการคลานคลุกกับฝุ่น การกิน การเอามือสัมผัสที่ปาก

จากการศึกษาที่ผ่านมาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่อยู่ในอากาศเขตพื้นที่ชุมชนกรุงเทพมหานคร พบระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Toxic Equivalency Factor: TEF) ของสาร Benzo (a) Pyrene มีค่าเท่ากับ 1.35 ng/m^3 (Norramit et al., 2005) ซึ่งสูงกว่าค่าปัจจัยความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง กำหนดไว้ที่ 1.0 นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเรื่องพื้นที่อยู่อาศัยร่วมด้วย โดยจะพบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs มีค่าเท่ากับ 1.86 และ 1.54 ng/m^3 ในพื้นที่กรุงเทพมหานครทั้งในเขตเมืองและพื้นที่นอกเขตเมืองตามลำดับ (Laowagul et al., 2005) ในประเทศญี่ปุ่นพบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs มีค่าเท่ากับ 3.46 และ 2.70 ng/m^3 ในพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่นอกเขตเมืองตามลำดับ (Naser et al., 2008) แสดงให้เห็นว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองมีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสาร PAHs มากกว่าผู้ที่อาศัยอยู่นอกเขตเมือง

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Assessment) จากการรับสัมผัสสาร PAHs ในกลุ่มเด็กเล็กซึ่งถูกจัดให้เป็นประชากรกลุ่มเสี่ยง Vulnerable groups (WHO, 2002) ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีภูมิต้านทานต่ำและมีความเสี่ยงต่อสุขภาพสูง การศึกษานี้เป็นการศึกษาปริมาณสาร PAHs ทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและอนุภาค ทั้งภายในอาคาร (Indoor) และภายนอกอาคาร (Outdoor) ตลอดจนการศึกษาระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กระหว่างพื้นที่ในเขตเทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา การศึกษานี้มีการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสาร PAHs เข้าสู่ร่างกาย และข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาแนวทางลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสาร PAHs ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่เขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.2.2 เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่เขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.2.3 เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในอากาศของเด็กเล็กที่อาศัยอยู่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในอากาศ ของกลุ่มเด็กเล็กในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครราชสีมาและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่าระดับความเสี่ยงแตกต่างกัน

1.4 ตัวแปรในการศึกษาวิจัย

1.4.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ได้แก่ สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก และระยะทางจากถนนเส้นหลักของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่ ระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัส PAHs ในอากาศของกลุ่มเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้งที่อยู่สถานะก๊าซและอนุภาค ภายในอาคาร (Indoor) และภายนอกอาคาร (Outdoor) ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่เขตเทศบาล และพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาที่สังกัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนครราชสีมา จำนวน 10 แห่ง โดยสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ที่ทำการตรวจวัดได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3cd)pyrene ที่ถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ในกลุ่ม 2B (US-EPA, 1987) และเป็นสาร PAHs ชนิดหลักที่พบได้ในปริมาณสูงในอากาศโดยเฉพาะกับพื้นในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งในเขตเทศบาลนครราชสีมาและนอกเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 6 ชั่วโมงหรือตามชั่วโมงการอาศัยอยู่ภายในอาคาร (Indoor) และตามชั่วโมงการอาศัยอยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor) โดยกำหนดให้จุดตรวจวัดมีความสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.20 เมตร และเก็บตัวอย่างอากาศ โดยใช้วิธี Active sampling นำตัวอย่างฝุ่นละอองและอากาศที่เก็บใน Adsorbent มาวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS ตามวิธีมาตรฐานของ US-EPA Standard Method 8270C จากนั้นทำการศึกษาการการประเมินการรับสัมผัสสาร PAHs ของกลุ่มเด็กเล็กที่อาศัยอยู่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งในเขตเทศบาลนครราชสีมาและนอกเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา โดยการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามวิธีการประเมินการรับสัมผัสของ US-EPA, (2005) โดยมีช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาตั้งแต่ เดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 ตามเวลาการเปิด-ปิดภาคการศึกษาของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก และทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) โดยมีสถานที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างอากาศคือ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.6.2 ทราบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.6.3 ทราบระดับความเสี่ยงการได้รับสาร PAHs ในอากาศของเด็กเล็กที่อาศัยอยู่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก หมายถึง สถานที่ดูแลและให้การศึกษาเด็กอายุระหว่าง 3-5 ปีมีฐานะเทียบเท่าสถานศึกษา เป็นศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจัดตั้งเอง และศูนย์พัฒนาเด็กเล็กของส่วนราชการต่างๆ ที่ถ่ายโอนให้อยู่ในความดูแลรับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในที่นี้คือ ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่สังกัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดนครราชสีมาจำนวน 10 แห่ง

1.7.2 มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก สภาวะสิ่งแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่เป็นมาตรฐานเอื้อต่อการจัดการศึกษาในลักษณะของการอบรมเลี้ยงดูและการให้การศึกษาไปพร้อมๆ กัน เด็กจะได้รับการพัฒนาทั้งด้านร่างกาย อารมณ์ จิตใจ สังคม และสติปัญญา ตามวัย โดยมีจุดมุ่งหมายซึ่งถือเป็นมาตรฐานควรมีสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและถูกสุขลักษณะ

1.7.3 กลุ่มตัวอย่าง หมายถึง กลุ่มที่เสี่ยงต่อการได้รับสาร PAHs ในที่นี้ คือ กลุ่มเด็กเล็กที่เรียนอยู่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.7.4 อากาศภายในอาคาร (Indoor Air) คืออากาศที่อยู่ภายในอาคารที่มีผู้คนหลากหลายสุขภาพอาศัยอยู่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงในที่นี้คือ สภาพอากาศภายในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.7.5 อากาศภายนอกอาคาร (Outdoor Air) คืออากาศหรือบรรยากาศกลางแจ้งในที่ที่มีผู้คนสัญจรไปมาเป็นจำนวนมากเพื่อดำเนินกิจกรรมต่างๆในที่นี้คือ สภาพอากาศทั่วไปภายนอกศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

1.7.6 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) เป็นกลุ่มสารเคมีที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกเบนซีนรวมกันตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป สาร PAHs เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงต่างๆ ของถ่านหิน น้ำมันและก๊าซ การสันดาปภายในของยานพาหนะ เป็นต้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ในที่นี้คือ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i) perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene ที่ถูกจัดให้เป็นเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

1.7.7 การประเมินความเสี่ยงหมายถึงการวิเคราะห์และจัดลำดับความเสี่ยงโดยพิจารณาจากการประเมินจากโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง (likelihood) และความรุนแรงของผลกระทบจากเหตุการณ์ความเสี่ยง

1.7.8 การประเมินการได้รับสัมผัสหมายถึงการประเมินการสัมผัส (Exposure assessment) คือการประเมินระดับการสัมผัสที่แต่ละบุคคล ประชากร หรือระบบนิเวศ ได้รับว่ามากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึงขนาดการสัมผัส (dose) ระยะเวลาที่สัมผัส (duration) และช่องทางการ

สัมผัส (routes of exposure) ในการศึกษานี้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ได้ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดเป็นแนวทางในการออกแบบการศึกษาและกำหนดกรอบแนวคิดของการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 สิ่งแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

2.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอากาศ

2.4 แหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

2.5 การเก็บและการวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

2.6 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อสุขภาพ

2.7 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

2.8 สรุปแนวคิดจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9 กรอบแนวคิดงานวิจัย

2.1 สิ่งแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

การศึกษาสภาวะแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กโดยการพิจารณาตามมาตรฐานของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น แบ่งการประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานออกเป็น 6 มาตรฐานได้แก่ มาตรฐานที่ 1 ด้านการบริหารจัดการศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก, มาตรฐานที่ 2 ด้านบุคลากร, มาตรฐานที่ 3 ด้านอาคาร สถานที่ สิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย, มาตรฐานที่ 4 ด้านวิชาการ และกิจกรรมตามหลักสูตร, มาตรฐานที่ 5 ด้านการมีส่วนร่วม และการสนับสนุนจากทุกภาคส่วน และมาตรฐานที่ 6 ด้านส่งเสริมเครือข่ายการพัฒนาเด็กปฐมวัย (กรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น, 2551) ซึ่งมาตรฐานที่ 3 ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ คือ ด้านอาคาร สถานที่ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กโดยรายละเอียดของสภาพแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กประกอบด้วย

2.1.1 ความหมายของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

กรมส่งเสริมปกครองส่วนท้องถิ่น (2551) ให้ความหมายของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก หมายถึง สถานที่ดูแลและให้การศึกษาเด็กอายุระหว่าง 3-5 ปีมีฐานะเทียบเท่าสถานศึกษา เป็นศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจัดตั้งเอง และศูนย์พัฒนาเด็กเล็กของส่วนราชการต่างๆ ที่ถ่ายโอนให้อยู่ในความดูแลรับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เช่น ศูนย์อบรม เด็กก่อนเกณฑ์ในวัด/มัสยิด กรมการศาสนา ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก กรมการพัฒนาชุมชน และศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (เด็ก 3-5 ขวบ) รับถ่ายโอนจากสำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ เรียกว่า ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เด็กเป็นทรัพยากรที่ทรงคุณค่า และมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศชาติในอนาคต การพัฒนาเด็กให้ได้รับความพร้อมทั้งด้านร่างกาย จิตใจ อารมณ์ สังคม และสติปัญญาจึงนับเป็นภารกิจสำคัญที่หน่วยงานซึ่งรับผิดชอบจะต้องตระหนัก และให้ความสนใจ เพื่อให้การพัฒนาเด็กเป็นไปอย่างมีคุณภาพและได้มาตรฐานเหมาะสมกับวัย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในฐานะหน่วยงานซึ่งมีภารกิจหน้าที่รับผิดชอบด้านการพัฒนาเด็ก ตามบทบัญญัติแห่งรัฐธรรมนูญและกฎหมายว่าด้วยแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจ ไม่ว่าจะเป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในรูปแบบใดก็ตาม ทั้งองค์การบริหารส่วนตำบลเทศบาล หรือเมืองพัทยา ล้วนแต่มีบทบาทที่สำคัญในการบริหารจัดการเกี่ยวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งสิ้น ปัจจุบันองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้จัดตั้ง และดำเนินงานศูนย์พัฒนาเด็กเล็กพร้อมทั้งรับถ่ายโอนศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ซึ่งเดิมอยู่ในความดูแลรับผิดชอบของส่วนราชการต่างๆ โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีหน้าที่รับผิดชอบในการส่งเสริมและพัฒนาศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในทุกๆด้าน เพื่อให้เด็กได้รับการพัฒนาอย่างเต็มตามศักยภาพ และได้มาตรฐานกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น ได้เล็งเห็นความสำคัญในการจัดทำมาตรฐานการดำเนินงานศูนย์พัฒนาเด็กเล็กขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ให้สามารถดำเนินงานเพื่อพัฒนาเด็กได้อย่างมีคุณภาพ และเหมาะสม ซึ่งจะเป็นแนวทางให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นถือปฏิบัติในการดำเนินงานศูนย์พัฒนาเด็กเล็กต่อไป

2.1.2 มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

เป็นการกำหนดมาตรฐานสำหรับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ด้านอาคารสถานที่ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย ได้แก่ ด้านอาคารสถานที่ เป็นการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับพื้นที่ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ตั้ง จำนวนชั้นของอาคาร ทางเข้า-ออก และประตูหน้าต่าง ตลอดจนพื้นที่ใช้สอยอื่นๆ ด้านสิ่งแวดล้อม เป็นการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกตัวอาคาร เช่น แสงสว่าง เสียง การถ่ายเทอากาศ สภาพพื้นที่ภายในอาคาร รั้ว สภาพแวดล้อมและมลภาวะ และด้านความปลอดภัย เป็นการกำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวกับความปลอดภัย เช่น การกำหนดมาตรการป้องกันความปลอดภัย และมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน มีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 ด้านอาคารสถานที่

1) ที่ตั้ง

สถานที่ตั้งศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ควรอยู่ในพื้นที่ซึ่งมีขนาดเหมาะสม และต้องไม่อยู่ในพื้นที่ ซึ่งอาจเสี่ยงต่ออันตราย ได้แก่ บริเวณขนถ่ายแก๊ส น้ำมัน สารเคมี หรือสารพิษ มลภาวะทางอากาศ แสง และเสียงที่มากเกินควร หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ต้องมีมาตรการป้องกันภาวะอุบัติภัยต่างๆ ตามมาตรฐานความจำเป็น และเหมาะสม

2) จำนวนชั้นของอาคาร

ตัวอาคารศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ควรมีจำนวนชั้นไม่เกิน 2 ชั้น นับจากพื้น หากสูงเกินกว่า 2 ชั้น ต้องมีมาตรการป้องกันอัคคีภัย และอุบัติภัยต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นตามความเหมาะสม และความสูงของตัวห้อง ไม่ควรน้อยกว่า 2.40 เมตร นับจากพื้นถึงเพดาน

3) ทางเข้า-ออก และประตูหน้าต่าง

ทางเข้า-ออกจากตัวอาคาร ต้องมีความเหมาะสม สามารถเคลื่อนย้ายเด็กออกจากตัวอาคารได้สะดวก หากเกิดอุบัติภัยหรือเหตุร้ายแรงใดๆ ขึ้น โดยอย่างน้อยต้องมีทางเข้า-ออก 2 ทาง และแต่ละทางนั้น ควรมีความกว้างประมาณ 80 เซนติเมตร

4) ประตู-หน้าต่าง

ประตู-หน้าต่าง ต้องมีความแข็งแรง อยู่ในสภาพใช้งานได้ดี มีขนาด และจำนวนเหมาะสมกับขนาดพื้นที่ของห้อง และความสูงของหน้าต่าง ควรอยู่ที่ประมาณ 80 เซนติเมตร นับจากพื้นให้เด็กมองเห็นสิ่งแวดล้อมได้กว้างและชัดเจน นอกจากนี้ บริเวณประตู -หน้าต่าง ไม่ควรมีสิ่งกีดขวางใดๆ มาปิดกั้นช่องทางลม และแสงสว่าง

5) พื้นที่ใช้สอย

พื้นที่ใช้สอย ต้องจัดให้มีบริเวณพื้นที่ในอาคารที่สะอาด ปลอดภัย และเพียงพอเหมาะสมกับการปฏิบัติกิจกรรมของเด็ก เช่น การเล่น การเรียนรู้ การรับประทานอาหาร และการนอน โดยแยกเป็นสัดส่วนจากห้องประกอบอาหาร ห้องส้วม และที่พักของเด็กป่วย โดยเฉลี่ยประมาณ 2.00 ตารางเมตร ต่อเด็ก 1 คน นอกจากนี้พื้นที่สำหรับจัดกิจกรรมพัฒนาเด็กอาจจัดแยกเป็นห้องเฉพาะ หรือจัดรวมเป็นห้องเอนกประสงค์ที่ใช้สำหรับจัดกิจกรรมที่หลากหลายโดยใช้พื้นที่เดียวกันแต่ต่างเวลา และอาจปรับเปลี่ยนวัสดุอุปกรณ์ หรือย้ายเครื่องเรือนตามความเหมาะสม และข้อจำกัดของพื้นที่ ดังนี้

5.1) บริเวณพื้นที่สำหรับการนอน ต้องคำนึงถึงความสะอาดเป็นหลัก อากาศถ่ายเทได้สะดวก และอุปกรณ์เครื่องใช้เหมาะสมกับจำนวนเด็ก มีพื้นที่เฉลี่ยประมาณ 2.00 ตารางเมตร ต่อเด็ก 1 คน โดยมีแนวทางในการจัดดำเนินการ ดังนี้

- จัดให้มีการระบายอากาศที่ดี ปลอดโปร่ง ไม่มีเสียงรบกวน และแสงสว่างไม่จ้าเกินไป

- อุปกรณ์เครื่องนอนต่างๆ มีความสะอาด โดยนำไปปัดฝุ่น ตากแดดอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

- จัดแยกเครื่องนอน หมอน ผ้าห่ม สำหรับเด็กแต่ละคน โดยเขียนหรือปักชื่อไว้ ไม่ใช้ร่วมกัน เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค

- หมั่นตรวจตราดูแลไม่ให้มีสัตว์ หรือแมลงต่างๆ มารบกวน ในบริเวณพื้นที่สำหรับการนอน

5.2) บริเวณพื้นที่สำหรับการเล่นและพัฒนาเด็ก ควรออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับการเรียนรู้รวมกลุ่มและแยกกลุ่มย่อยในกิจกรรมการเรียนรู้อิสระ การเล่นสร้างสรรค์หรือการอ่านหนังสือ เล่นต่อแท่งไม้ที่ต้องการมุมเงียบ และมีพื้นที่สำหรับการเล่นที่เลอะหรือเปียกต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของเด็กเป็นหลัก โดยมีวัสดุอุปกรณ์ ที่ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ และมีอุปกรณ์ หรือเครื่องเล่นที่ส่งเสริมพัฒนาการ และการเรียนรู้ของเด็ก

5.3) บริเวณพื้นที่รับประทานอาหาร ต้องคำนึงถึงความสะอาดเป็นหลัก มีอากาศถ่ายเทได้โดยสะดวก มีแสงสว่างพอเหมาะ มีอุปกรณ์เครื่องใช้ที่เพียงพอ และเหมาะสมกับจำนวนเด็ก ทั้งนี้ บริเวณห้องอาหาร โต๊ะ เก้าอี้ ที่ใช้สำหรับรับประทานอาหาร ต้องทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ และควรจัดให้มีวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้มีขนาดเหมาะสมกับตัวเด็ก มีสภาพแข็งแรงและใช้งานได้

5.4) บริเวณที่พักเด็กป่วย ต้องแยกเป็นสัดส่วน มีอุปกรณ์ปฐมพยาบาล ตู้ยาเครื่องเวชภัณฑ์ที่จำเป็น และเด็กต้องอยู่ในสายตาของผู้ดูแลตลอดเวลา กรณีไม่สามารถจัดห้องพักเด็กป่วยเป็นการเฉพาะได้ ต้องจัดให้มีที่พักเด็กป่วยแยกเป็นสัดส่วนตามความเหมาะสม

5.5) บริเวณสถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัว ต้องแยกห่างจากบริเวณพื้นที่สำหรับเด็กพอสมควร และมีเครื่องใช้ที่จำเป็น รวมทั้งที่ล้าง และเก็บภาชนะเครื่องใช้ต่างๆ ที่ถูกสุขลักษณะ โดยเน้นเรื่องความสะอาด และความปลอดภัยเป็นหลัก

5.6) บริเวณพื้นที่สำหรับใช้ทำความสะอาดตัวเด็ก ต้องจัดให้มีบริเวณที่ใช้สำหรับทำความสะอาดตัวเด็ก และมีอุปกรณ์ที่จำเป็นตามสมควร อย่างน้อยต้องมีที่ล้างมือและแปรงฟัน ในขนาดและระดับความสูงที่เหมาะสมกับเด็กปฐมวัย ในกรณีที่มีห้องอาบน้ำจะต้องมีแสงสว่างเพียงพอ มีอากาศถ่ายเทได้โดยสะดวก และพื้นไม่ลื่น

5.7) ห้องส้วมสำหรับเด็ก ต้องจัดให้มีห้องส้วมสำหรับเด็ก โดยเฉลี่ย 1 แห่งต่อเด็ก 10-12 คน โถส้วมมีขนาดเหมาะสมกับตัวเด็ก โดยมีฐานส้วมที่เด็กสามารถก้าวขึ้นได้ง่าย มีแสงสว่างเพียงพอ อากาศถ่ายเทได้สะดวกและพื้นไม่ลื่น หากมีประตู จะต้องไม่ใส่กลอน หรือ

กุญแจ และมีส่วนสูงที่สามารถมองเห็นเด็กได้จากภายนอก และไม่ควรไกลจากห้องพัฒนาเด็กหาก ห้องส้วมอยู่ภายนอกอาคาร จะต้องไม่ตั้งอยู่ในที่ลับตาคน กรณีที่ไม่สามารถทำห้องส้วมสำหรับเด็ก เป็นการเฉพาะได้ อาจดัดแปลงห้องส้วมที่มีอยู่แล้ว ให้เหมาะสม และปลอดภัยสำหรับเด็ก

5.8) ห้องเอนกประสงค์ สำหรับใช้จัดกิจกรรมพัฒนาเด็ก การรับประทานอาหาร หรือการนอน คำนึงถึงความสะอาด และการจัดพื้นที่ใช้สอยให้เหมาะสมกับลักษณะของกิจกรรม หากเป็นอาคารชั้นเดียวต้องมีฝ้าใต้หลังคา หากเป็นอาคารที่มีมากกว่า 1 ชั้น ควรจัดให้ชั้นบนสุดมีฝ้าใต้หลังคา โดยมีความสูงจากพื้นถึงเพดานไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร แต่กรณีที่มีความสูงเกินกว่า 2.40 เมตร อาจไม่มีฝ้าใต้เพดานก็ได้

5.9) บริเวณพื้นที่เก็บสิ่งปฏิกูล จะต้องมีพื้นที่เก็บสิ่งปฏิกูลทั้งภายใน และภายนอกตัวอาคาร โดยมีจำนวนและขนาดเพียงพอ ถูกสุขลักษณะ และมีการกำจัดสิ่งปฏิกูลทุกวัน

5.10) บันได ควรมีความกว้างแต่ละช่วง ไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ลูกตั้งของบันได สูงไม่เกิน 17.50 เซนติเมตร ลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 20.00 เซนติเมตร บันไดทุกขั้นมีราวและลูกกรงไม่น้อยกว่า 90.00 เซนติเมตร มีราวเตี้ย เหมาะสำหรับเด็กได้เกาะขึ้นบันได และระยะห่างของลูกกรง ต้องไม่เกิน 17.00 เซนติเมตร เครื่องใช้เฟอร์นิเจอร์ควรมีระดับความสูงและขนาดที่เหมาะกับเด็กปฐมวัย ให้เด็กสามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์ได้อย่างสม่ำเสมอด้วยตนเอง โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของเด็กเป็นสำคัญ

2.1.2.2 ด้านสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร

- แสงสว่าง ควรเป็นแสงสว่างจากธรรมชาติ สม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง เอื้ออำนวยต่อการจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาเด็ก เช่น มีแสงสว่างเพียงพอ ในการอ่านหนังสือได้อย่างสบายตา เป็นต้นไม่ควรให้เด็กอยู่ในห้องที่ใช้แสงสว่างจากไฟฟ้าต่อเนื่องนานกว่า 2-3 ชั่วโมง เพราะจะทำให้เกิดภาวะเครียดและมีผลถึงฮอร์โมนการเติบโตของเด็ก

- เสียง เสียงต้องอยู่ในระดับที่ไม่ดังเกินไป (ระหว่าง 60-80 เดซิเบล) อาคารควรจะตั้งอยู่ในบริเวณที่มีระดับเสียงเหมาะสม

- การถ่ายเทอากาศ ควรมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก โดยมีพื้นที่ของหน้าต่าง ประตู และช่องลมรวมกันแล้วไม่น้อยกว่า ร้อยละ 20 ของพื้นที่ห้อง กรณีที่เป็นห้องกระจกหรืออยู่ในบริเวณโรงงานที่มีมลพิษ ต้องติดเครื่องฟอกอากาศและมีเครื่องปรับอากาศอย่างเหมาะสม สำหรับบริเวณที่มีเด็กอยู่ต้องเป็นเขตปลอดบุหรี่

- สภาพพื้นที่ภายในอาคาร ต้องไม่ลื่น และไม่ชื้นแฉะ ควรเป็นพื้นไม้ หรือปูด้วยวัสดุที่มีความปลอดภัยจากอุบัติเหตุ

2.1.2.3 ด้านสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร

- รั้ว ควรมีรั้วกั้นบริเวณให้เป็นสัดส่วน เพื่อความปลอดภัยของเด็ก และควรมีทางเข้า-ออกไม่น้อยกว่า 2 ทาง กรณีมีทางเดียวต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

- สภาพแวดล้อมและมลภาวะ ควรมีสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ถูกสุขลักษณะ และควรตั้งอยู่ห่างจากแหล่งอบายมุข ฝุ่นละออง กลิ่น หรือเสียงที่รบกวน มีการจัดระบบสุขาภิบาล การระบายน้ำ การระบาอากาศ และ การจัดเก็บสิ่งปฏิกูลให้เหมาะสม ไม่ปล่อยให้เป็นแหล่งเพาะ หรือแพร่เชื้อโรคโดยเฉพาะควรกำจัดสิ่งปฏิกูลทุกวัน

- พื้นที่เล่นกลางแจ้ง ต้องมีพื้นที่เล่นกลางแจ้ง เฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2.00 ตารางเมตร ต่อจำนวนเด็ก 1 คน โดยจัดให้มีเครื่องเล่นกลางแจ้งที่ปลอดภัย และมีพอสมควรกับจำนวนเด็ก ในกรณีที่ไม่สามารถจัดให้มีที่เล่นกลางแจ้ง เป็นการเฉพาะ หรือในสถานที่อื่นๆ ได้ ก็ควรปรับใช้ในบริเวณที่ร่มแทน โดยมีพื้นที่ตามเกณฑ์กำหนดหรืออาจจัดจะกิจกรรมกลางแจ้งสำหรับเด็กในสถานที่อื่นๆที่เหมาะสม เช่น ในบริเวณวัด หรือในสวนสาธารณะ เป็นต้น โดยต้องให้เด็กปฐมวัยมีกิจกรรมกลางแจ้งอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ในแต่ละวัน

- ระเบียง ต้องมีความกว้างของระเบียงไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร และหากมีที่นั่งตามระเบียงด้วย ระเบียงต้องกว้างไม่น้อยกว่า 1.75 เมตร ขอบระเบียงต้องสูงจากที่นั่งไม่น้อยกว่า 70 เซนติเมตร นอกจากนี้ควรตรวจสอบสภาพความคงทน แข็งแรง และสภาพการใช้งานที่ปลอดภัยสำหรับเด็กด้วย

2.1.2.4 ด้านความปลอดภัย

- ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ในการรักษาความปลอดภัย หรือเครื่องตัดไฟภายในบริเวณอาคาร

- ติดตั้งเครื่องดับเพลิงอย่างน้อย 1 เครื่อง ในแต่ละชั้นของอาคาร

- ติดตั้งปลั๊กไฟให้สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ถ้าติดตั้งต่ำกว่าที่กำหนดจะต้องมีฝาปิดครอบ เพื่อป้องกันไม่ให้เด็กเล่นได้ และควรหลีกเลี่ยงการใช้สายไฟต่อพ่วง

- หลีกเลี่ยงเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งทำด้วยวัสดุที่แตกหักง่าย หรือแหลมคม หากเป็นไม้ ต้องไม่มีเสี้ยนไม้ หรือเหลี่ยมคม

- จัดให้มีตู้เก็บยา และเครื่องเวชภัณฑ์สำหรับการปฐมพยาบาล วางไว้อยู่ในที่สูง สะดวกต่อการหยิบใช้ และเก็บไว้ในที่ปลอดภัย ให้พ้นมือเด็ก

- ใช้วัสดุกันลื่น ในบริเวณห้องน้ำ-ห้องส้วม และเก็บสารจำพวกเคมี หรือน้ำยาทำความสะอาดไว้ในที่ปลอดภัย ให้พ้นมือเด็ก

- ไม่มีหลุม หรือบ่อน้ำ ที่อาจเป็นอันตรายต่อเด็กในบริเวณโดยรอบตัวอาคาร รวมทั้งไม่ควรปลูกต้นไม้ที่มีหนามแหลมคม

- มีระบบการล็อคประตูในการเข้า-ออกนอกบริเวณอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่เปิด-ปิดได้ ควรมีกริ่งสัญญาณเรียกไว้ที่หน้าประตู สำหรับห้องครัว และที่ประกอบอาหาร ควรมีประตูเปิด-ปิด ที่ปลอดภัย เด็กเข้าไปไม่ได้

- ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อป้องกันพาหะนำโรค และมีมาตรการป้องกันด้านสุขอนามัย

- มีตู้ หรือชั้นเก็บวัสดุอุปกรณ์ และสื่อการเรียนรู้ที่แข็งแรง มั่นคงสำหรับวัสดุอุปกรณ์ ที่อาจเป็นอันตรายต่อเด็กนั้น ควรจัดแยกให้พ้นมือเด็ก

- เครื่องใช้เฟอร์นิเจอร์ ควรมีระดับความสูงและขนาดที่เหมาะสมกับเด็กปฐมวัยให้เด็กสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างสม่ำเสมอด้วยตนเอง

- มีการฝึกซ้อมสำหรับการป้องกันอุบัติภัยอย่างสม่ำเสมอ ไม่น้อยกว่าปีละ1ครั้ง

- มีการฝึกอบรมบุคลากร ในเนื้อหาด้านการปฐมพยาบาลเบื้องต้นการป้องกันอุบัติภัย และความเจ็บป่วยฉุกเฉินของเด็ก

- มีหมายเลขโทรศัพท์ฉุกเฉินของส่วนราชการต่างๆ เช่น สถานีตำรวจหน่วยป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย โรงพยาบาล ไว้เพื่อติดต่อได้อย่างทันท่วงที กรณีเกิดเหตุการณ์คับขัน หรือจำเป็นที่อาจเป็นอันตรายต่อเด็ก และควรมีอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้สำหรับการปฐมพยาบาลติดประจำไว้ในที่เปิดเผย

- มีสมุดบันทึกข้อมูลสุขภาพ และพัฒนาการของเด็กประจำไว้ กรณีอาจต้องพาเด็กไปพบแพทย์ (กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น, 2551)

โดยมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในศูนย์เด็กเล็ก พบว่าปัจจัยในการตัดสินใจของผู้ปกครองในการส่งบุตรหลาน เข้ารับการดูแลในสถานศึกษาเด็กเล็กเอกชนในเขตอำเภอเมืองจังหวัดลำปาง คือ การพิจารนาด้านอาคาร สถานที่ และสภาพสิ่งแวดล้อมในสถานศึกษาเด็กเล็ก ที่ควรต้องมีอาคารเรียนมีความมั่นคง แข็งแรง แสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่ดีเป็นอันดับแรก รองลงมา คือ สถานที่ตั้งไม่อยู่ใกล้แหล่งพนัน สิ่งเสพติด แหล่งมลพิษ (เปรมรุ่ง วงศ์อนัน, 2551) และการศึกษาของ อนุรักษ์ มาสเนตร (2552) โดยทำการศึกษาการดำเนินงานการบริการด้านการศึกษาตามมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กกรมอนามัยของสถานพัฒนาเด็กปฐมวัย ในเขตบางซื่อ ตามมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กกรมอนามัย ของสถานพัฒนาเด็กปฐมวัย ในเขตบางซื่อ ที่ให้ความสำคัญกับความสะอาดปลอดภัย และสภาพแวดล้อมปลอดภัยห่างไกลจากมลพิษ ในขณะเดียวกันผลการศึกษาของ Romagnoli et al. (2013) ที่ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ของบรรยากาศภายในโรงเรียนประเทศอิตาลีพบว่า ความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่นละออง

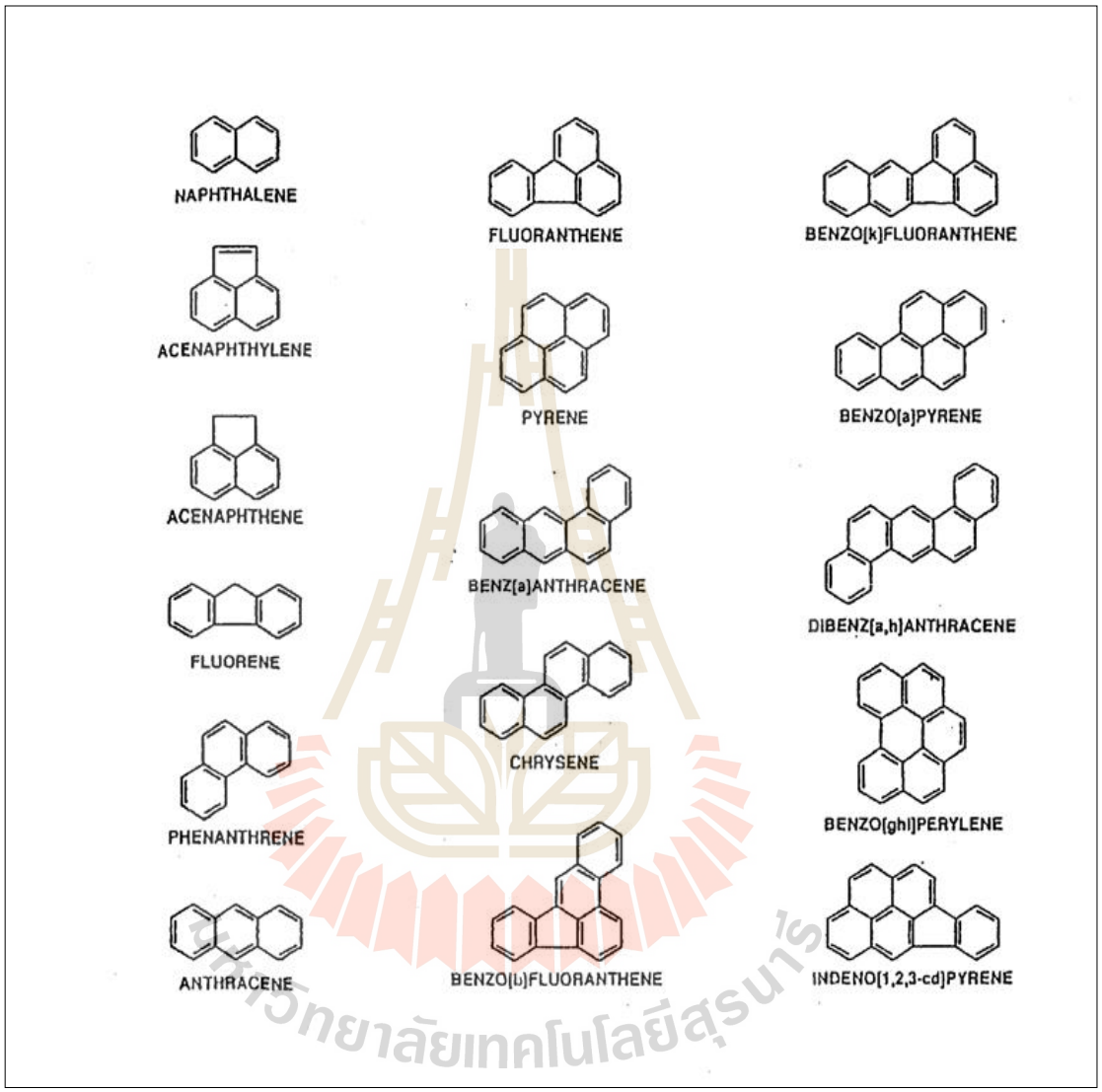
ของบรรยากาศในห้องเรียนมีค่าเท่ากับ 1.29 ng/m^3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า (Toxic Equivalency Factor: TEF) แสดงให้เห็นว่าเด็กนักเรียนมีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs ในห้องเรียน

2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) หรือที่รู้จักกันในชื่อย่อว่า PAHs เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทสารไฮโดรคาร์บอนที่โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สารประกอบ PAHs ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำมีค่าจุดเดือดระหว่าง 150-325°C และจุดหลอมเหลวระหว่าง 101-438°C คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพแสดงในตารางที่ 2.1 แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ได้แก่ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น การเผาถ่านหินและไม้ ไฟไหม้ป่าตามธรรมชาติ การระเบิดของภูเขาไฟ รวมทั้งกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทต่างๆ ในระบบขนส่งมวลชน โรงงานอุตสาหกรรม โรงงานไฟฟ้า เตาเผาขยะ และโรงงานถลุงแร่อลูมิเนียม นอกจากนี้ PAHs ยังมีความทนทานต่อการย่อยสลายในธรรมชาติและเป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการก่อมะเร็ง รวมทั้งสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิตได้ ความสามารถในการละลายน้ำการระเหยเป็นไอของ PAHs แต่ละตัว ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมี โดยความดันไอและความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ PAHs มีความดันไอต่ำเมื่ออยู่ในอากาศ สำหรับ PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 3 วง เช่น acenaphthene, fluorene,phenanthrene และ anthracene ส่วนใหญ่มักจะอยู่ในวัฏภาคก๊าซ ในทางกลับกัน PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 6 วง เช่น indeno[1,2-c,d]pyrene, และ benzo[g,h,i]perylene มักถูกพบในรูปของภาคอนุภาคเป็นส่วนใหญ่ (Pongpiachan et al., 2009)

สารประกอบ PAHs ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 ถึง 6 วงส่วนใหญ่มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 166 ถึง 276 กรัมต่อโมล มีค่าการละลายน้ำอยู่ระหว่าง 0 ถึง 31.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจุดหลอมเหลวตั้งแต่ 80.5 ถึง 217 องศาเซลเซียส ค่าความดันไอสูงสุดเท่ากับ 94.7 ปาสคาล ดังแสดงในตารางที่ 2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นกลุ่มสารที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว หรือสีเหลืองอ่อนปนเขียว ในธรรมชาติจะไม่พบสารนี้อยู่เดี่ยวๆ มักพบปะปนอยู่กับสารอื่นเสมอ PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว (non-polar) ความสามารถในการละลายน้ำจึงน้อยเมื่ออยู่ในน้ำจึงยังคงอยู่ในรูปอนุภาคซึ่งจะถูกดูดซับและเกาะกับดินตะกอน จากการที่สาร PAHs ละลายน้ำได้น้อยส่งผลให้อัตราการย่อยสลาย PAHs โดยจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเข้าทำปฏิกิริยาและความสามารถในการดึงดูดของสิ่งมีชีวิตในทะเล โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการละลายของ PAHs จะลดลงตามน้ำหนักโมเลกุลหรือจำนวนวงแหวนที่เพิ่มขึ้น ตัวการสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของ PAHs คืออุณหภูมิและความเค็ม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพียง 4

องศาเซลเซียส สามารถทำให้การละลายของPhenanthrene, Anthracene 2-Methylanthracene 2-Ethylanthracene Benzo (*a*) pyrene ในน้ำทะเลเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ PAHs
ที่มา: (Howard et al., 1991)

ส่วนความเค็มมีผลต่อสาร PAHs แตกต่างกันไปตามชนิด เช่น Phenanthrene, Anthracene, 2-Methylanthracene 2-Ethylanthracene Benzo (*a*) pyrene ความสามารถในการละลายจะลดลง เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น แต่ใน Benzo (*a*) anthracene ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมความเค็ม (salting-in) และความสามารถในการละลายได้ของ PAHs จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก

ในขณะที่ความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยโดยเฉพาะในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ (Gary and Sam, 1995)

ตารางที่ 2.1 โครงสร้าง คุณสมบัติเคมี และทางกายภาพของ PAHs

ชนิด	วงเบนซีน	มวลโมเลกุล	ค่าละลายน้ำ (mg/L)	จุดหลอมเหลว (°C)	ความดันไอ at 25°C (mPa)
Naphthalene (Nap)	2	128.16	31.7	80.5	11.96
Acenaphthene (Ace)	3	154.21	3.42	95	594
Fluorene (Flu)	4	166.00	1.98	116.5	94.7
Phenanthrene (Phe)	3	178.24	1.29	101	90.7
Anthracene (An)	3	178.24	0.045	216	25
Pyrene (Pyr)	4	202.26	0.135	156	$91.3x10^{-6}$
Fluoranthene (Flr)	4	202.26	0.26	111	132
Benzo[*a*]anthracene (BaA)	5	228	0.0057	162	$14.7x10^{-3}$
Benzo[*a*]pyrene (BaP)	5	252.32	0.0038	179	$0.37x10^{-6}$
Benzo[*b*]fluoranthene (BbF)	5	252.32	0.014	168	$0.13x10^{-5}$
Benzo[*j*]fluoranthene (BjF)	5	252.32	0.0052	166	$0.19x10^{-5}$
Benzo[*k*]fluoranthene (BkF)	5	252.32	0.0043	217	$2.8x10^{-9}$
Indeno[*1,2,3-cd*]pyrene(Icdp)	4	276	0.00053	164	$1.3x10^{-5}$
Chrysene (Chy)	4	228	0.068	198	80.3
Benzo[*ghi*]pyrene (BghiP)	6	276	0.0049	145	92.5
Benzo[*e*]pyrene (BeP)	5	252	1.05	124.5	126

ที่มา : (US-EPA, 1998)

จากการศึกษาของ Robin และ Jose (2004) พบว่าความเค็มมีผลต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลเพียงเล็กน้อย แต่จะมีผลต่อการปนเปื้อนซึ่งเกิดจากการไหลบ่าหน้าดิน (run off) จากบนบก กากตะกอนทับถมจากบรรยากาศ (atmospheric fallout) การรั่วของน้ำมัน (oil spills) การระบายน้ำเสีย (sewage discharge) โดยที่สาร PAHs มีความไวต่อการออกซิไดซ์โดยแสง (photooxidation) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวโดยแสง (photodegradation) ของสาร PAHs คือ อุณหภูมิ (temperature)

ความเค็ม (salinity) และชนิดของสาร PAHs ที่ทำปฏิกิริยาการออกซิไดซ์โดยแสงของสาร PAHs ที่มีการแทนที่ของไนโตรเจนจะเกิดช้ากว่าในกรณีที่ไม่มีการแทนที่ของไนโตรเจน ผลที่ได้จากปฏิกิริยา photooxidation จะถูกอนุภาคของดินตะกอนดูดซับและเสถียรอยู่ในอนุภาค เมื่อจัดลำดับ PAHs ตามน้ำหนักโมเลกุล ตั้งแต่ Naphthalene จนถึง Dibenz (a) anthracene แล้วมาทำ ให้กลายเป็นไอ พบว่า Naphthalene ระเหยได้ง่ายที่สุด ดังนั้นความสามารถในการกลายเป็นไอจะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุล และด้านความสามารถในการละลายน้ำที่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Breedveld and Karlsen (2000) พบว่า สาร PAHs สามารถรวมตัวกับดิน PAHs เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ ค่าคงที่การละลายในน้ำ-ออกทานอลสูง จึงยึดเกาะกับอนุภาคของดินหรือดินตะกอนได้ดี จึงพบการปนเปื้อนในบริเวณดังกล่าวได้สูง การกระจายในดินชั้นต่างๆขึ้นกับขนาดของโมเลกุลและชั้นดิน PAHs ที่มีวงเบนซีน 2-3 วง มีแนวโน้มจะพบมากในชั้นของทรายบริเวณน้ำใต้ดิน ส่วน PAHs ที่มีวงเบนซีน 5-6 วง มีแนวโน้มที่จะพบในชั้นของดินที่มีสารอินทรีย์มาก และ PAHs เหล่านี้มีแนวโน้มจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก

สาร PAHs เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทสารไฮโดรคาร์บอนที่โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปจนถึง 6 วงเบนซีน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอากาศ

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในบรรยากาศจะพบได้ทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาค โดยจะขึ้นกับอุณหภูมิของบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs และการทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นในบรรยากาศ (Bostrom et al., 2002) โดยทั่วไปแล้ว สาร PAHs ที่พบในอากาศมีจำนวน 2 ถึง 3 วงแหวน เช่น Acenaphthylene, Naphthalene, Phenantrene เป็นต้นจะพบได้ในสถานะก๊าซ และสาร PAHs จำนวนวงแหวน 5 ถึง 6 เช่น benz[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene และ benzo[k]fluoranthene เป็นต้น จะพบได้ในรูปของอนุภาค จากการศึกษาปริมาณสาร PAHs ในอากาศของประเทศไทย พบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศในจังหวัดกรุงเทพมหานครมีค่าอยู่ในช่วง 0.21 ถึง 5.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมฝุ่นละออง (Norramit, 2005) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.2 และการจำแนกสถานะของสาร PAHs ที่ตรวจวัดได้ทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาคมีค่าเท่ากับ 55 และ 40 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของปริมาตรอากาศซึ่งแสดงให้เห็นว่า จะพบสาร PAHs ได้ในสถานะก๊าซมากกว่าในฝุ่นละออง (Krugly et al., 2013) และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของพื้นที่อยู่อาศัยพบว่า ปริมาณสาร PAHs ในอาคารต่อภายนอกอาคารมีค่าเท่ากับ 0.30 และ 0.19 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณสาร PAHs ภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร (Edvinas et al., 2013)

จากการศึกษาปริมาณสาร PAHs ในอากาศพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาของ รุ่งนภา รักษาทรัพย์ (2550) ได้ทำการศึกษารูปแบบของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกาะบนอนุภาคในอากาศบริเวณใกล้เคียงโรงไฟฟ้าในประเทศไทยโดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจาก 5 จุด บริเวณใกล้เคียงโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างเดือนละครั้งระหว่างเดือนมกราคม ถึงกรกฎาคม 2549 และวิเคราะห์สารพีเอเอชทั้ง 16 ชนิด ด้วยเครื่อง Gas chromatography mass spectroscopy (GC/MS) โดยค่าร้อยละของการคืนกลับอยู่ในช่วง 85-90 พบว่า ค่าความเข้มข้นรวมของพีเอเอชทั้ง 16 ชนิด มีค่า 0.2-8.0 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดในบรรยากาศภายนอกอาคาร คือ Benzo[a]pyrene (BaP), Benzo[b]fluoranthene (BbF) และ Benzo[g,h,i]perylene ตามลำดับ และการศึกษาของ Krugly et al. (2013) ที่ทำการศึกษาปริมาณสาร PAHs ในอากาศ 2 สภาวะ ได้แก่ สาร PAHs ในสภาวะอนุภาคและสภาวะก๊าซบรรยากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารในโรงเรียนประเทศลิทัวเนีย พบปริมาณสาร PAHs ชนิด Naphthalene มีค่าเท่ากับ 80.3 ng/m^3 สูงที่สุดในอากาศและพบได้ ภายในห้องเรียนสูงกว่านอกห้องเรียน และพบปริมาณสาร PAHs ในสถานะก๊าซสูงกว่าในอนุภาค เช่นเดียวกับการศึกษาของ Titeomle and Simoik (2010) ได้ทำการศึกษาการรับสัมผัสสาร PAHs ในฝุ่นละอองบริเวณตอนใต้ของเมืองไฮท์แลนด์ ประเทศแทนซาเนีย ที่มีที่ตั้งห่างไกลจากพื้นที่การจราจรในเขตบ้านพักอาศัยที่จัดเป็นบรรยากาศภายในอาคาร ภายใต้สภาวะอากาศหนาวเย็น พบว่า ปริมาณสาร PAHs ภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร และชนิดของสาร PAHs ที่พบเป็นหลักได้แก่ Benzo(a)pyrene และ Naphthalene ซึ่งมีค่าสูงกว่าระดับค่าแนะนำที่กำหนดขึ้นโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา และยังพบว่า พบปริมาณสาร PAHs ที่อยู่ในสภาวะก๊าซน้อยกว่าที่อยู่ในสถานะอนุภาค ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับการศึกษาของ Naumova et al. (2008) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศภายในและภายนอกอาคารทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาคฝุ่นละอองในเมือง Los Angeles สหรัฐอเมริกา โดยการหาอัตราส่วนปริมาณสาร PAHs ในสถานะก๊าซต่ออนุภาค พบว่า PAHs มีการกระจายตัวจากบรรยากาศภายในสู่ภายนอกอาคาร ตามสัดส่วนของค่า PAHs ภายในอาคารที่สูงกว่าภายนอกอาคาร และจากการศึกษายังพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณสาร PAHs ที่พบได้ทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาค

โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาอัตราส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาค คือ Multiple Linear Regression (MLR) ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากทั้งในสถานะก๊าซและอนุภาคคือ Benzo(a)pyrene ในขณะที่การศึกษาของ Pandit et al. (2004) ได้ทำการศึกษาสาร PAHs ในฝุ่นละอองรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอนภายในโรงเรียน ทั้งบรรยากาศภายในและภายนอกอาคาร พบว่า ปริมาณสาร PAHs ภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร ใช้เป็นเกณฑ์ในการเทียบอัตราส่วนสาร PAHs กับภายในอาคาร พบว่า อัตราส่วนของสาร PAHs

ภายในอาคารต่อภายนอกอาคารมีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าสาร PAHs มีการกระจายตัวจากภายในอาคารออกสู่ภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสาร PAHs ที่พบในฝุ่นละอองในอากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

PAHs	สัญลักษณ์	ความเข้มข้น (mg/kg_{dust})
Fluoranthene	Flu	5.61
Phenantrene	Phe	3.72
Anthracene	An	0.38
Benzo[e]pyrene	Fl	2.86
Pyrene	Pyr	5.04
Benz[a]anthracene	B(a)A	1.89
Chrysene	Chry	2.53
Benzo[b]fluoranthene	B(b)F	1.25
Benzo[k]fluoranthen	B(k)F	1.57
Benzo[a]pyrene	B(a)P	2.38
Indeno[1,2,3-cd] pyrene	D(b,c)F	2.87
Benzo[ghi]perylene	B(g,h,i)P	3.55
Dibenzo[a,h]anthracene	D(a,h)A	0.21

ที่มา: (Norramit, 2005)

2.4 แหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

แหล่งกำเนิดของ PAHs แบ่งออกเป็น 2 แหล่งใหญ่ดังนี้ คือ จากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์

2.4.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ จากน้ำมันดิบ ถ่านหิน รวมทั้งปรากฏการณ์ในควันจากภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า การระเบิดของภูเขาไฟ การสังเคราะห์แสงของสาหร่าย พืช และแบคทีเรีย พืชชั้นสูงที่สามารถสังเคราะห์สาร PAHs เองได้ การเปลี่ยนแปลงมาจากแหล่งกำเนิดของน้ำมันดิบ และมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบ (Eglinton et al., 1999)

2.4.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (anthropogenic source) กิจกรรมหลายประเภทของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น แก๊สโซลีน ถ่านหิน น้ำมันดีเซล การปล่อยควันเสียจากยานพาหนะ การเผาขยะ การ

ปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ การสูบบุหรี่ การเผาทุ่งหญ้า การประกอบอาหารในครัวเรือน เป็นต้น จากการศึกษาของ UNEP (1991) พบว่า หมูบ้านในชนบทของประเทศกำลังพัฒนาที่มีการประกอบอาหารโดยใช้ฟืน และถ่าน พบสารPAHs อยู่ในช่วง 100 ถึง 1000 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่บริเวณที่มีการจราจรมี 20 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และบริเวณที่มีการสูบบุหรี่มี PAHs 20 ถึง 100 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ ได้แก่ Benzo (a) pyrene, Fluoranthene และ Benzo(g,h,i) perylene สาร PAHs ที่พบทั่วไปในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มาจากการรั่วไหล การหก ของน้ำมันจากถังของเรือบรรทุกน้ำมัน การรั่วจากแท่นขุดเจาะน้ำมัน และการปล่อยของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะไปมีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทั้งพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง โดยเป็นสารก่อมะเร็งและเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม สามารถแบ่งประเภทของ PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ตามกระบวนการเกิดออกเป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ

2.4.21 สาร PAHs ที่มาจากปิโตรเลียม (Petrogenic PAHs) คือ สารที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ เป็นสารที่มีกลุ่มโมเลกุลหลัก (Parent) ของ PAHs ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2 ถึง 4 วง ได้แก่ Naphthalene Fluorene Phenanthrene Dibenzothiophene และ Chrysene กับกลุ่มที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่ในโมเลกุล โดยพบว่าปริมาณของสารกลุ่มที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่มักจะมีปริมาณรวมมากกว่ากลุ่มหลัก

2.4.2.2 สาร PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และจากไฟไหม้ป่า โดยมักพบโมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs ซึ่งมีวงแหวนเบนซีน ตั้งแต่ 3 ถึง 5 วง ที่พบมาก ได้แก่ Fluoranthene และ Pyrene

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่มาจากจากการเผาไหม้ถ่านหิน การผลิตถ่านโค้ก การเผาขยะ การเผาไม้ และจากโรงงานอุตสาหกรรม พบสาร PAHs หลายชนิด ตามประเภทของการเผาไหม้ เช่น Naphthalene, Fluorene, Phenanthrene, และ Benzo(a)pyrene, เป็นต้นแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs

แหล่งกำเนิด	ชนิด PAHs
การเผาไหม้ถ่านหิน	Fluorene, Pyrene, Phenanthrene
การผลิตถ่านโค้ก	Benzo(a)pyrene, Anthracene, Fluoranthene
การเผาขยะ	Fluorene, Pyrene, Phenanthrene
การเผาไหม้ไม้	Benzo(a)pyrene, Fluorene
การเผ้าไหม้น้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรม	Fluorene, Pyrene

ที่มา : (Kulkarni et al., 2000)

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่แบ่งตามชนิดของเครื่องยนต์ พบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ที่แตกต่างกัน โดยสาร PAHs ที่พบได้แก่ Acenaphthylene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, และ Benzo(e)pyrene มีความเข้มข้นตั้งแต่ 141 ถึง 488 นาโนกรัมต่อมิลลิกรัมฝุ่นละออง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสาร PAHs ที่พบตามชนิดของเครื่องยนต์

ชนิดยานพาหนะ	ชนิดเชื้อเพลิง	PAHs (ng/mg dust)	ชนิด PAHs
รถโดยสารขนาดใหญ่	ดีเซล	181	Benzo(e)pyrene, Acenaphthylene, Anthracene,
รถเก๋ง	Gasoline	141	Benzo(e)pyrene, Fluorene
รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ	Gasoline	488	Benzo(e)pyrene, Acenaphthylene, Phenanthrene
รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ	Gasoline	192	Benzo(e)pyrene
เครื่องยนต์ Gasoline	Gasoline	164	Anthracene, Benzo(e)pyrene

ที่มา : (Thongsanit, 2001)

จากการศึกษาของ Ospar et al. (2003) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลทางด้านเคมีและกายภาพของสาร PAHs แหล่งกำเนิด ที่มา ช่วงปริมาณที่พบในอากาศตลอดจนวิธีที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สาร PAHs พบว่า องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของสาร PAHs ถูกกำหนดให้เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองและมีแนวโน้มที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์ สาร PAHs มีแหล่งที่มาจากกระบวนการทางธรรมชาติได้แก่ การเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซ และมีแหล่งกำเนิดหลักจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้แก่ การผลิตถ่านโค้ก การผลิตอะลูมิเนียม การเผาไหม้จากกิจกรรมในชุมชน ไฟป่า การจราจร และมีระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศอยู่ในช่วง 1 ถึงหลายร้อยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการศึกษาของ ดนัย ทิพย์มณี (2551) ได้ศึกษาการจำแนกแหล่งกำเนิดของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในจังหวัดพังงา พบว่าความเข้มข้นรวมของสาร PAHs 13 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 11.9 ถึง 272.0 นาโนกรัมต่อมิลลิกรัมฝุ่นละออง และมีรูปแบบการกระจายของสาร PAHs แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของสารพอลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในบริเวณนี้มาจากการเผาไหม้ เนื่องจากพบการกระจายของสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (วงแหวนเบนซีน 4-6 วง) ในพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของสาร PAHs สูง พบการกระจายของสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (วงแหวนเบนซีน 5-6 วง) บอกถึงแหล่งกำเนิดหลักมีที่มาจาก

การเผาไหม้ของน้ำมันและฝุ่นจากการจราจรบนถนน โดยการใช้อัตราส่วนและรูปแบบองค์ประกอบของสาร PAHs ยืนยันแหล่งกำเนิดหลักมีที่มาจาก ฝุ่นถนน และการศึกษาของกิติโรจน์ หวันตาหลา (2549) พบว่าการแพร่กระจายของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ในบรรยากาศ ณ บริเวณสถานีขนส่งสายใต้ เป็นการตรวจวัดหาปริมาณอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และหาปริมาณ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ในบรรยากาศ โดยการเก็บ PAHs ในรูปก๊าซใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นและได้ผ่านการทดลอง ประสิทธิภาพในการเก็บกัก โดยมีผลการทดสอบคือ ประสิทธิภาพการเก็บกัก PAHs มีความเข้มข้นสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมของปีช่วงฤดูหนาวซึ่งมีปริมาณการแพร่กระจายสูงในสิ่งแวดล้อม และมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับช่วงฤดูร้อน โดยใช้วัสดุในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศที่อยู่ในสถานะก๊าซคือ Polyurethane Foam (PUFs) และชนิดสาร PAHs ที่พบเป็นหลักคือ Anthracene และ Benzo (a)pyrene

2.4.3 การแพร่กระจายของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, PAHs) หรือที่รู้จักกันดีในชื่อของ Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PNA) สาร PAHs หลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง (Grariviat, 1999) สามารถแพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งทางน้ำ อากาศ และดิน การรั่วไหลของน้ำมันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำ ให้ PAHs แพร่ กระจายลงสู่แหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency: EPA) ได้กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิด เป็นสารมลพิษลำดับที่สองรองจากกลุ่มโลหะหนักและไซยาไนด์ที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ สาร PAHs สามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ PAHs ที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น การซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันใต้ดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของ PAHs ในแหล่งน้ำธรรมชาติและดิน ไฟไหม้ป่า และภูเขาไฟระเบิด ส่วนที่เกิดจากการกระทำ ของมนุษย์ที่สำคัญคือ กิจกรรมที่มีการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้ในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด มีผลให้สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ไม่ถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์จนหมด ซึ่งการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์นี้ทำ ให้เกิด PAHs แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับวัสดุที่นำมาเผาไหม้ PAHs ที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมทั่วไปมีดังนี้

2.4.3.1 อนุภาคในบรรยากาศ (Airborne Particulate Matter) เป็นอนุภาคที่ประกอบขึ้นจากสารประกอบเชิงซ้อนของของแข็ง ของเหลว และมี PAHs เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย การเปลี่ยนแปลงของ PAHs โดยแสงนั้นขึ้นกับอนุภาคของสารประกอบที่ PAHs ไปเกาะติด ซึ่งมาจากหลายแหล่งด้วยกัน เมื่ออนุภาคเหล่านั้นปล่อยสู่บรรยากาศจะเกิดการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมนั้น เมื่อมนุษย์หายใจเอาสาร PAHs ในบรรยากาศเข้าไป ก็มีโอกาสเป็นมะเร็งได้

2.4.3.2 ดิน (Soil) สาร PAHs ที่ปนเปื้อนในดิน เกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ การปนเปื้อนมาจากบรรยากาศจากการกำจัดของเสียบางส่วนจากการใช้ปุ๋ย และจากอุบัติเหตุ ปริมาณ

PAHs ที่มีความเข้มข้นสูงในดินที่ใช้เพาะปลูก ไม่เพียงแต่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ซึ่งบริโภคอาหารที่มี PAHs เท่านั้น แต่ยังมีผลต่อคุณสมบัติของดินที่ทำการเพาะปลูก ทำให้เกิดความเสียหายต่อพืชและผลผลิต

2.4.3.3 น้ำ (Water) สาร PAHs สามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วในแหล่งน้ำ เนื่องจาก PAHs ที่เป็นอนุภาค และแพร่กระจายทั่วไปในอากาศ ในที่สุดก็จะตกลงสู่พื้นดินและพื้นน้ำ รวมทั้งจากน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งมลภาวะต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากต้องใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค

2.4.3.4 ดินตะกอน (Sediment) สาร PAHs ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ เมื่อปนเปื้อนในน้ำจะรวมตัวกัน หรือเกาะกับคอลลอยด์ดินตกตะกอนสะสมอยู่ในดินตะกอน และมักพบว่าปริมาณPAHs ในดินตะกอนมีมากกว่าบริเวณผิวหน้าน้ำประมาณ 2.5 เท่า

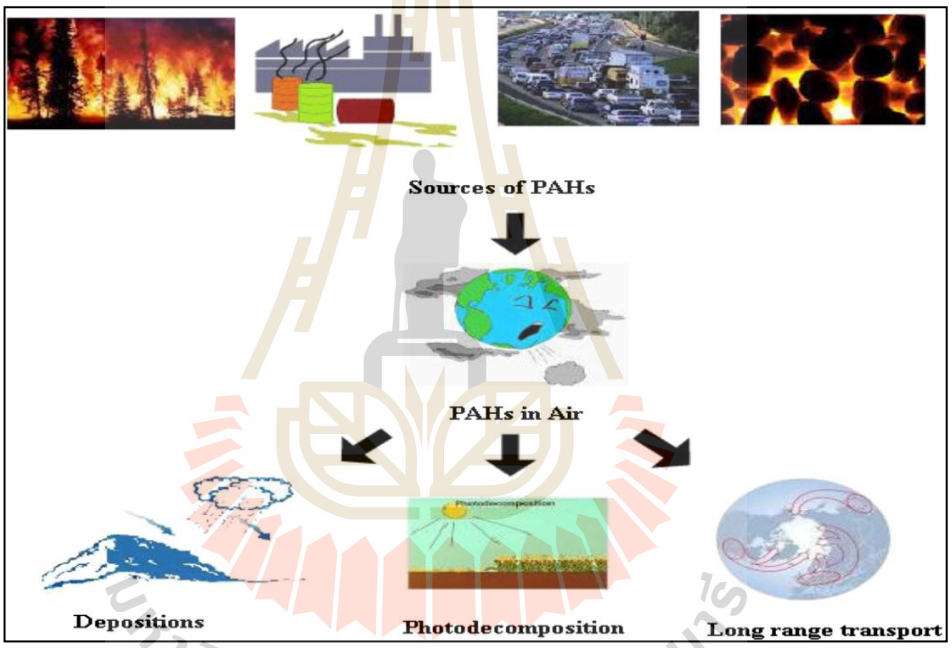
สภาวะการเคลื่อนที่ของสาร PAHs ในบรรยากาศเริ่มต้นจากการที่สาร PAHs ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทั้งจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การจราจรจากยานพาหนะ กระบวนการทางอุตสาหกรรม ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ และทำปฏิกิริยากับสารอื่นในบรรยากาศ ตกลงสู่พื้นดินต่อไป และอาจมีการย่อยสลายด้วยแสงหรือคงเหลือตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม (Kim et al., 2013) รายละเอียดแสดงในรูปที่ 2.2 สภาวะการเคลื่อนที่ของสาร PAHs เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่แตกต่างกันของมลพิษทางอากาศ สาร PAHs ส่วนใหญ่จะมีสภาวะที่ค่อนข้างเสถียร สามารถอยู่ได้ในชั้นบรรยากาศเป็นเวลาหลายสิบปีหรือนานกว่านั้น มีโอกาสเป็นอันตรายโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิต สามารถกระจายไปได้กว้างไกลในชั้นบรรยากาศระดับสูง ที่มลพิษทางอากาศทั่วไป ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ จะแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิด ได้ไม่กว้างไกลมาก แต่ก็สามารถอยู่ในอากาศนานเพียงพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้ สาร PAHs บางชนิดในอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในระดับกว้างได้ จากเปลี่ยนสภาพ (Transformation) โดยกระบวนการทางเคมี และการแพร่กระจายในระยะทางไกล (Long-Range Transport) โดยมีปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาและสภาพลมฟ้าอากาศเป็นตัวควบคุมตามการเคลื่อนย้ายมลพิษทางอากาศ แพร่กระจายในระยะทางไกล หรือเคลื่อนย้ายในระยะทางไกลตามปัจจัยดังต่อไปนี้ (Pochanart et al., 2004)

1) อุณหภูมิ (Temperature) โดยทั่วไปในอากาศเมื่อระดับความสูงมากขึ้นไป อุณหภูมิยิ่งเย็นลง ส่วนอากาศบนพื้นผิวโลกจะอุ่น และลอยตัวสูงขึ้น เมื่อกระทบอากาศเย็นก็จะขยายตัวออก ในขณะที่อากาศอุ่นลอยตัวสูงขึ้นไป จะพาเอาสาร PAHs จากระดับพื้นดินขึ้นไปด้วย

2) ทิศทางและความเร็วลม (Direction and Velocity of Wind) ลมที่แรงและพัดพาเอาสาร PAHs จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง จนทำให้บริเวณที่มีสารมลพิษถูกพัดเข้าไป มีความเข้มข้นของสาร PAHs สูงขึ้น

3) ฝน (Rain) ฝนที่ตกลงมาจะช่วยชะล้างเอาสิ่งสกปรกที่แขวนลอยและสะสมในชั้นบรรยากาศ ส่งผลนำพาสาร PAHs ให้ตกลงมาสู่พื้นดินได้ น้ำฝนเป็นตัวทำละลายที่ดี (Solvent) สามารถรวมตัวกับก๊าซชนิดต่างๆ ที่อยู่ในอากาศ เช่น รวมตัวกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลายเป็น ทำให้เกิดการกัดกร่อนโลหะต่างๆได้

4) ความชื้น (Humidity) บริเวณที่มีความชื้นสูงๆ จะทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคฝุ่นละอองกับสาร PAHs ให้เกาะติดไปพร้อมกับฝุ่นละอองได้ และอีกส่วนจะอยู่ในสถานะก๊าซในอากาศ และพื้นที่ราบจะช่วยทำให้สาร PAHs ที่ลอยตัวในบรรยากาศถูกพัดพาถ่ายเทได้ง่าย ทำให้การถ่ายเทของสาร PAHs ในอากาศเป็นไปได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.2 สภาวะของสาร PAHs ในบรรยากาศ
ที่มา : (Kim et al., 2013)

2.5 การเก็บและการวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

การเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศ แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ สาร PAHs ที่อยู่ในสถานะอนุภาค และสาร PAHs ที่อยู่ในสถานะก๊าซในอากาศ ทั้ง 2 สถานะต้องอาศัยปั๊มในการดูดตัวอย่างอากาศเพื่อเพื่อเก็บตัวอย่างอากาศให้ได้ทั้งอนุภาคและฝุ่นละออง โดยจะใช้กระดาษกรองในการเก็บสาร PAHs ที่อยู่ในอนุภาคฝุ่นละออง และใช้ (Polyurethane Foam :PUF) ในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในสถานะก๊าซผ่านตัวกลาง (Collection medium) เข้าสู่ปั๊มดูดอากาศที่เป็นอุปกรณ์

สำคัญที่จะดูดเอาอากาศที่มีสารเคมีปะปนหรือปนเปื้อนอยู่เข้าไปเก็บสะสมในอุปกรณ์ดักจับสารเคมี แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

2.5.1 ประเภทของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

2.5.1.1 ปั๊มดูดอากาศแบบติดตัวบุคคล (Personal sampling pumps)

ปั๊มประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่ที่ทำให้สามารถดูดอากาศได้ในช่วง 5 มิลลิลิตรต่อนาที ถึง 5 ลิตรต่อนาที รูปร่างจะเล็กและมีน้ำหนักเบา เพื่อใช้ติดที่ตัวบุคคลจะได้ไม่เป็นปัญหาในการใช้งาน ในอดีตปั๊มประเภทนี้จะแบ่งย่อยเป็นปั๊มที่มีอัตราไหลของอากาศต่ำประมาณไม่เกิน 500 มิลลิลิตรต่อนาที และปั๊มที่มีอัตราไหลของอากาศสูงเกิน 500 มิลลิลิตรต่อนาที

2.5.1.2 ปั๊มดูดอากาศประเภทดูดอากาศปริมาตรมากได้ (High-volume pump)

ปั๊มดูดอากาศประเภทนี้ สามารถที่จะเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลานานๆ เพื่อให้ได้ปริมาตรอากาศมากๆ ได้ การทำงานอาจมาจากแบตเตอรี่ที่มากับตัวเครื่อง หรือใช้กระแสไฟฟ้าก็เป็นได้ ส่วนใหญ่ใช้ปั๊มดูดอากาศประเภทนี้กับการเก็บตัวอย่างอากาศในงานสิ่งแวดล้อมภายนอกโรงงาน หรืองานคุณภาพอากาศภายใน (Indoor Air Quality)

2.5.2 การสอบเทียบ การสอบเทียบเครื่องมือจะทำให้ทราบปริมาตรอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศในการเก็บตัวอย่างอากาศ และทำให้ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของอัตราไหลในโรตามิเตอร์ของปั๊มดูดอากาศ โดยมีการสอบเทียบดังนี้ (เกศศินี อุนะพำนัก, 2550)

2.5.2.1 ทำให้ทราบปริมาตรอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ ในการเก็บตัวอย่างอากาศ จะใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านอุปกรณ์ดูดจับสารเคมี ด้วยอัตราไหล (Flow Rate) ที่เหมาะสม หลังจากนั้นเมื่อทำการชั่งน้ำหนักหรือวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีในห้องปฏิบัติการแล้วก็จะสามารถคำนวณความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศได้ ซึ่งปริมาตรอากาศ สามารถคำนวณได้จากอัตราไหลของอากาศคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศ ดังนั้นหากอัตราไหลของอากาศมีความผิดพลาดจะส่งผลให้การคำนวณปริมาตรอากาศและความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศผิดพลาดเป็นทอดๆ ไป ก่อนจะทำการเก็บตัวอย่างอากาศจึงต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) อัตราไหลของอากาศจากปั๊มที่ใช้

2.5.2.2 ทำให้ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของอัตราไหลในโรตามิเตอร์ โดยทั่วไปในปั๊มดูดอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ จะมีโรตามิเตอร์ (Rotameter) ติดมาด้วย และในการเก็บตัวอย่างสารเคมีบางชนิดในอากาศ เช่น การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และการใช้อิมพิงเจอร์เก็บตัวอย่าง ผู้เก็บตัวอย่างต้องตั้งอัตราไหลของอากาศตามที่กำหนดไว้ การสอบเทียบจะทำให้สามารถจัดทำเส้นกราฟของการสอบเทียบ (Calibration Curve) ได้ และทำให้ทราบได้ว่าตรงตำแหน่งใดของโรตามิเตอร์ที่จะให้อัตราไหลของอากาศตามที่ต้องการ

2.5.3 ประเภทของอุปกรณ์สอบเทียบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบอัตราไหลของอากาศ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.3.1 ประเภทมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standards) เป็นอุปกรณ์สอบเทียบที่ใช้วัดอัตราไหลของอากาศโดยตรง โดยใช้ปริมาตรปิดที่ทราบความจุแน่นอนหรือใช้หลักการแทนที่น้ำในภาชนะปิด จึงมีความแม่นยำสูง ตัวอย่างอุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ หลอดแก้วบิวเรท

2.5.3.2 ประเภทมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standards) อุปกรณ์สอบเทียบประเภทนี้ไม่ได้วัดปริมาตรอากาศโดยตรงจากการตวงวัด โดยใช้ภาชนะปิดหรือไม่ได้ใช้หลักการแทนที่น้ำในภาชนะปิด จึงไม่สามารถใช้วัดอัตราไหลของอากาศได้โดยตรง เวลาจะใช้สอบเทียบต้องใช้เทียบกับอุปกรณ์ประเภทแรก จึงมีความแม่นยำน้อยกว่าประเภทแรก ตัวอย่างเช่น โรตามิเตอร์ ดายแก๊สมิเตอร์

อุปกรณ์สอบเทียบแต่ละชนิดจะมีความแม่นยำแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและโมเดลที่ใช้ และเท่าที่มีอยู่ในตลาดซื้อขาย ทุกชนิดมีความแม่นยำเพียงพอที่จะนำไปใช้งาน

อุปกรณ์ทั้ง 2 ประเภทนี้ สามารถแบ่งตามวิธีการที่ใช้ได้ 4 กลุ่ม คือ

1. อุปกรณ์ที่วัดปริมาตรอากาศโดยตรง
2. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volumetric Flow Rate)
3. อุปกรณ์วัดความเร็วของการไหล (Flow Velocity)
4. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate)

1) อุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศโดยการแทนที่น้ำ ตัวอย่างคือ ขวดมาริอ๊อตติ (Mariotti Bottle) ซึ่งมีลักษณะเป็นขวดแก้วขนาดใหญ่บรรจุน้ำและที่ด้านข้างของก้นขวดมีทางปล่อยให้น้ำไหลออก ส่วนที่ปากขวดมีจุกปิดโดยมีหลอดทะลุผ่านจุกสำหรับใช้ต่อกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ เมื่อไขน้ำให้ไหลออกอากาศก็จะถูกดูดเข้าไปแทนที่น้ำในปริมาตรที่เท่ากับ ผลคูณของความสูงของระดับน้ำที่ลดลง และพื้นที่หน้าตัดของผิวน้ำในขวด

2) สไปโรมิเตอร์ (Spirometer) เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นถังโลหะทรงกระบอก 2 ใบซ้อนกัน ใบที่เล็กกว่าคว่ำอยู่ในใบที่ใหญ่กว่าซึ่งภายในบรรจุน้ำ การแทนที่น้ำโดยอากาศเกิดขึ้นภายในถังโลหะใบเล็ก โดยอากาศที่เข้าไปหรือถูกดูดออกมาจะทำให้ถังใบเล็กเลื่อนขึ้นหรือลง และปริมาตรอากาศจะมีค่าเท่ากับผลคูณของระดับความสูงของถังใบเล็กที่เปลี่ยนไปกับพื้นที่หน้าตัดภายในของถังใบเล็ก และเพื่อที่จะลดแรงเสียดทานต่อการเลื่อนขึ้นลงของถังใบเล็ก จึงมีการใช้น้ำหนักถ่วงผ่านรอกมาติดกับก้นถังใบเล็ก อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้เป็นมาตรฐานปฐมภูมิในการปรับความเที่ยงตรงของเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ

3) มาตรวัดอัตราไหลแบบฟองสบู่ (Soap Film Flow Meter) อุปกรณ์แบบนี้จะใช้หลอดแก้วบิวเรท (Burette) ที่ทราบปริมาตรแน่นอน โดยทั่วไปนิยมใช้ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วจับเวลาที่ฟองสบู่จะเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่ขีดศูนย์ไปจนถึงจุดสุดท้าย (ที่ขีด 1,000 มิลลิลิตร) ในที่สุดก็สามารถคำนวณเป็นอัตราไหลของอากาศหน่วยลิตรต่อนาที

การสอบเทียบด้วยอุปกรณ์หลอดแก้วนี้ สามารถทำเองได้ด้วยตนเอง (Manual) หรืออาจใช้แบบอัตโนมัติ ซึ่งเรียกเป็น (Automated Soap Film Flow Meter) โดยมีแสงอันฟราเรดเป็นตัวจับสัญญาณการเคลื่อนที่ของฟองสบู่ วิธีหลังนี้จะใช้เวลาน้อยกว่า (คือฟองสบู่จะเคลื่อนที่เร็วกว่า) และบางอุปกรณ์จะใช้ลูกสูบ (Piston) แทนการใช้ฟองสบู่ (Piston Flow Meter) ด้วยเหตุที่แบบหลังนี้จะใช้อิเล็กทรอนิกส์ในการจับเวลา จึงทำให้มีความแม่นยำมากกว่าการใช้สายตาคนจับเวลา

4) เวท-เทสต์มิเตอร์ (Wet Test Meter) มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกในแนวนอน ภายในแบ่งเป็นช่องด้วยแผ่นกั้นตามรัศมีของทรงกระบอกและมีน้ำบรรจุอยู่ เมื่ออากาศเข้าไปในถังโดยทางเข้าซึ่งอยู่ ณ ศูนย์กลางของทรงกระบอกก็จะทำให้แผ่นกั้นนี้หมุนไปรอบแกน อุปกรณ์นี้ออกแบบให้แผ่นกั้นหมุนไปเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรอากาศที่ผ่านเข้าออกและอากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ไม่จำกัด ดังเช่นอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ปริมาตรอากาศที่วัดสามารถอ่านค่าได้จากมาตรซึ่งติดอยู่ด้านหน้าของอุปกรณ์ การใช้อุปกรณ์ชนิดนี้วัดปริมาตรอากาศต้องเป็นไปอย่างถูกวิธีไม่เช่นนั้นจะผิดพลาดได้ง่าย ถ้าใช้อย่างถูกวิธีแล้วค่าผิดพลาดจะมีไม่เกินร้อยละ 1

2.5.4 อุปกรณ์เก็บสะสมตัวอย่างก๊าซและไอระเหย

อุปกรณ์เก็บสะสมตัวอย่างก๊าซและไอระเหย ทำหน้าที่ในการดักจับก๊าซและไอระเหยที่ปั๊มดูดอากาศ ดูดเข้ามาในชุดเก็บตัวอย่างอากาศ เรียกว่าเป็นอุปกรณ์เก็บสะสมที่ทำงานแบบ Active ส่วนอุปกรณ์เก็บสะสมอีกแบบหนึ่งจะทำงานโดยไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มดูดอากาศ เรียกเป็นทำงานแบบ Passive (พันศักดิ์ ถิรมงคล, 2550) รายละเอียดดังนี้

2.5.4.1 อุปกรณ์เก็บสะสมตัวอย่างก๊าซและไอระเหยชนิดต้องดูดอากาศเข้ามา (Active Sample Collector) หลอดบรรจุตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง (Solid Sorbent Tubes หรือ Adsorption Tubes) อุปกรณ์เก็บสะสมสารเคมีนี้จะทำเป็นหลอดแก้วใส ภายในบรรจุตัวดูดซับที่เป็นของแข็งที่นิยมใช้ในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal) เจลซิลิก้า (Silica Gel)

1) การบรรจุตัวดูดซับและกลไกการดูดซับ

การบรรจุตัวดูดซับภายในหลอด จะแบ่งเป็น 2 ส่วนๆ แรกเป็นส่วนที่จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมี ส่วนที่สองซึ่งถูกคั่นด้วยช่องว่าง เมื่ออากาศถูกปั๊มดูดเข้ามาในหลอดแล้ว สารเคมีในรูปของก๊าซและไอระเหยจะถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ จนเมื่ออิ่มตัว (Saturated) คือมีสารเคมีเต็มรูพรุนของตัวดูดซับ สารเคมีก็จะผ่านทะลุ (Breakthrough) เข้ามาและถูกดูดซับใน

ส่วนที่สองต่อไปตามโครงสร้างและการบรรจุตัวดูดซับในหลอดเก็บตัวอย่าง และหลอดจริงที่ผลิตขึ้นมาจำหน่ายในท้องตลาด

2) ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมก๊าซและไอระเหยของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง

ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- อุณหภูมิ ความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่ที่อุณหภูมิสูง การเพิ่มอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนทางตรงกับการเพิ่มขึ้นของการผ่านทะลุ หมายความว่าอัตราการทำปฏิกิริยาจะสูงขึ้นที่อุณหภูมิสูง

- ความชื้น ไอระเหยของน้ำจะถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับ จึงเพิ่มความเป็นไปได้หรือโอกาสที่ของการผ่านทะลุของสารเคมี ดังนั้นถ้าความชื้นมีมากขึ้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของการผ่านทะลุ

- อัตราไหล ที่ปริมาตรอากาศน้อย การใช้อัตราไหลของอากาศที่มาก จะมีผลต่อการผ่านทะลุในรายละเอียดขอให้ศึกษาแต่ละสารดูดซับ เพราะจะมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน

- ความเข้มข้นของสารเคมี การผ่านทะลุของสารเคมีจะเกิดขึ้นหรือมีโอกาสเกิดมากขึ้น เมื่อมีความเข้มข้นของสารเคมีมากขึ้น

- ขนาดของอนุภาค (Particle Size) ของสารดูดซับ การลดขนาดของอนุภาคของสารดูดซับ จะเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มประสิทธิภาพการสุ่มตัวอย่างและการลดลงของความดัน

- ขนาดของหลอดเก็บตัวอย่าง การเพิ่มปริมาณสารดูดซับเป็น 2 เท่า จะทำให้ความเข้มข้นต้องเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าสำหรับการผ่านทะลุ

3) ชนิดของสารหรือตัวดูดซับที่เป็นของแข็งที่มีใช้ในท้องตลาด

- ถ่าน (Charcoal Sorbents) สารดูดซับชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซและไอระเหยของสารอินทรีย์หลายชนิดในเวลาเดียวกัน ในหลักการแล้วสามารถใช้สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาทำตัวดูดซับนี้ได้ แต่โดยทั่วไปนิยมใช้ถ่านที่ทำจากมะพร้าวเพราะจะมีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่า ถ่านที่จะนำมาใช้นี้ต้องผ่านการทำให้ร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ถ่านนั้นมีโครงสร้างของรูพรุนที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้จึงนิยมเรียกเป็นถ่านกัมมันต์หรือ (Activated Charcoal) จากนั้นจึงนำไปบรรจุในขนาด 150-1000 มิลลิกรัม อย่างไรก็ตามที่นิยมใช้จะเป็นตามข้อแนะนำของ NIOSH ที่ให้ใช้หลอดแก้วความยาว 7 เซนติเมตร ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 6 และ 4 มิลลิเมตร ตามลำดับ และบรรจุผลถ่านจำนวน 100 มิลลิกรัมในส่วนแรกของหลอด ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เก็บและวิเคราะห์หาสารเคมี และ 50 มิลลิกรัมในส่วนหลังโดยมีโฟมยูรีเทนมากั้นทั้ง 2 ส่วนไม่ให้รวมกัน

- ซิลิก้าเจล (Silica Gel Sorbents) เป็นตัวดูดซับที่มีความเฉพาะเจาะจงในการดูดซับสารเคมีมากกว่าถ่าน เจลนี้ได้จากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมซิลิเคตและกรดซัลฟูริคและอยู่ในรูป

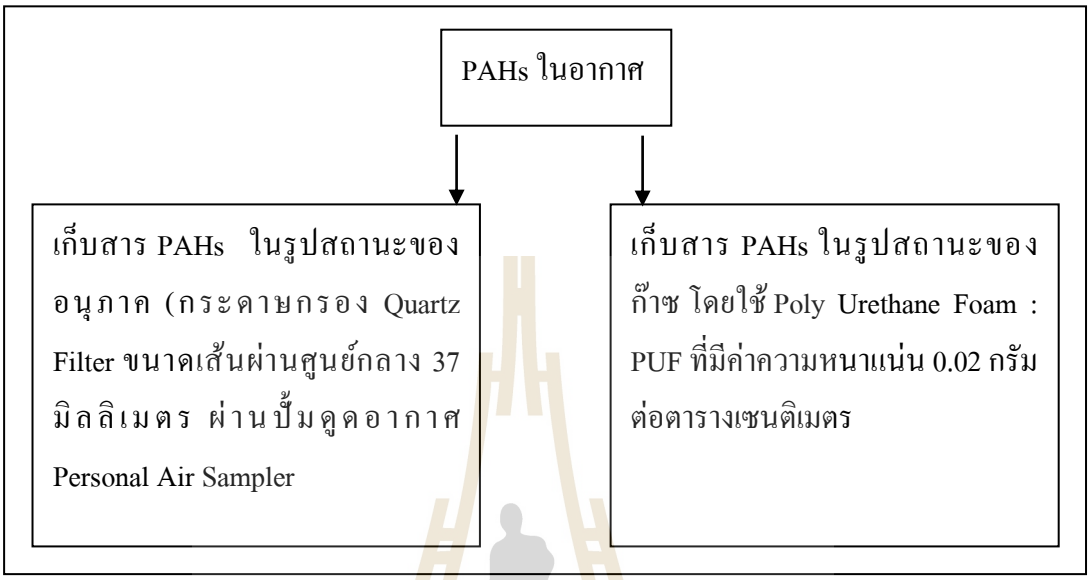
อสัณฐาน (Amorphous Form) คือไม่มีรูปร่างแน่นอนนิยมใช้ซิลิก้าเจลเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์เอมีน (Organic Amines)

2.5.4.2 อุปกรณ์เก็บสะสมตัวอย่างก๊าซและไอระเหยชนิดไม่ต้องดูดอากาศเข้ามา (Passive Collectors for Gases and Vapors) เก็บตัวอย่างอากาศอาศัยความเร็วลมเล็กน้อยพัดพาสารเคมีไปสัมผัสและถูกดูดซับด้วยวัสดุดูดซับที่ใช้ นอกจากนี้หากแหล่งกำเนิดก๊าซและไอระเหยมีอัตราการแพร่กระจายไม่คงที่ อาจเป็นปัญหาต่อการทำงานของอุปกรณ์ประเภทนี้ กลไกสำคัญที่ทำให้ก๊าซและไอระเหยถูกดูดซับคือการแพร่ (Diffusion) และการซึมผ่าน (Permeation) แต่ผู้ผลิตนิยมใช้กลไกการแพร่เป็นพื้นฐานในการผลิตปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำในการใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีป คือระยะเวลาเก็บตัวอย่าง กระแสลม อุณหภูมิและความชื้น สารรบกวนในอากาศ และการเก็บตัวอย่างขณะรอส่งวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศทั้งที่อยู่ในอนุภาคและก๊าซสามารถทำได้โดยใช้กระดาษกรอง (Quartz Filter) ในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในอนุภาคฝุ่นละอองและใช้วัสดุดูดซับสาร (Adsorbent) PAHs ในอากาศ ชนิดที่เป็น (Polyurethane Foam: PUF) ตามวิธีมาตรฐานของ TO-13A Method (US EPA, 1999) รายละเอียดการเก็บตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.3

จากการศึกษา วิชัย เพชรเลียบ (2550) พบว่าการประเมินความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ และสารเคมีก่ออันตราย ของพนักงานสัมผัสฝุ่นควัน จากการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ PAHs จำนวน 15 สารประกอบจากอนุภาคฝุ่นควันในพื้นที่การทำงาน พบปริมาณ Total PAHs ในอาคารอยู่ในช่วง 35.74-191.52 ng/m^3 โดยใช้การเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศด้วยเครื่องมือ Personal Pump ยี่ห้อ SKC และยี่ห้อ Gilian ที่มีอัตราการไหลของอากาศ 2 ลิตร/นาที และ Filter ยี่ห้อ SKC โดยใช้วิธีของ NIOSH 5506 ใช้กระดาษกรองชนิด Quartz Filter ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ผ่านปั๊มดูดอากาศ Personal Air Sampler ในขณะที่ศึกษาของ Pandit et al. (2004) พบว่าการหาปริมาณสาร PAHs อากาศที่อยู่ฝุ่นละอองรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอนจะใช้กระดาษกรองชนิด (Quartz Filter)ในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในอนุภาค และวัสดุที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในสถานะก๊าซคือ polyurethane foam (PUF) ที่ใช้ติดตั้งเชื่อมต่อกับส่วนที่เป็นกระดาษกรอง และมีวิธีการที่ใช้สกัดสาร PAHs ที่อยู่ในสถานะก๊าซคือ "Soxhlet Extraction" และการศึกษาของ Laowagul et al., (2005) หาปริมาณสาร PAHs อากาศเขตพื้นที่การศึกษากรุงเทพมหานครเขตอุตสาหกรรมและเขตเมือง ใช้กระดาษกรองชนิด (Glass Fiber Filter) ในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในอนุภาค และวัสดุที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในสถานะก๊าซคือ XAD-2 resin เป็นวัสดุในการดูดซับสาร PAHs ที่อยู่ในอากาศ และการศึกษาของ กิติโรจน์ หวันตาหลา (2549) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสาร Polycyclic Aromatic

Hydrocarbons (PAHs) ในสถานะก๊าซ คือ Polyurethane Foam (PUFs) ชนิดสาร PAHs ที่พบเป็นหลักคือ Anthracene และ Benzo(a)pyrene



รูปที่ 2.3 การเก็บสาร PAHs ในอากาศ

2.5.5 การวิเคราะห์สาร PAHs

การวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ที่มีอยู่ในอากาศซึ่งผ่านการเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลายแล้ว สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือ High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) ที่อาศัยหลักการแยกสารเคลื่อนที่ตามเฟสของของเหลว และตามค่าเฉพาะของการดูดกลืนแสงยูวีของสาร PAHs แต่ละชนิด และการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) อาศัยหลักการการละลายที่แตกต่างกันสาร PAHs แต่ละชนิดแยกออกจากกัน

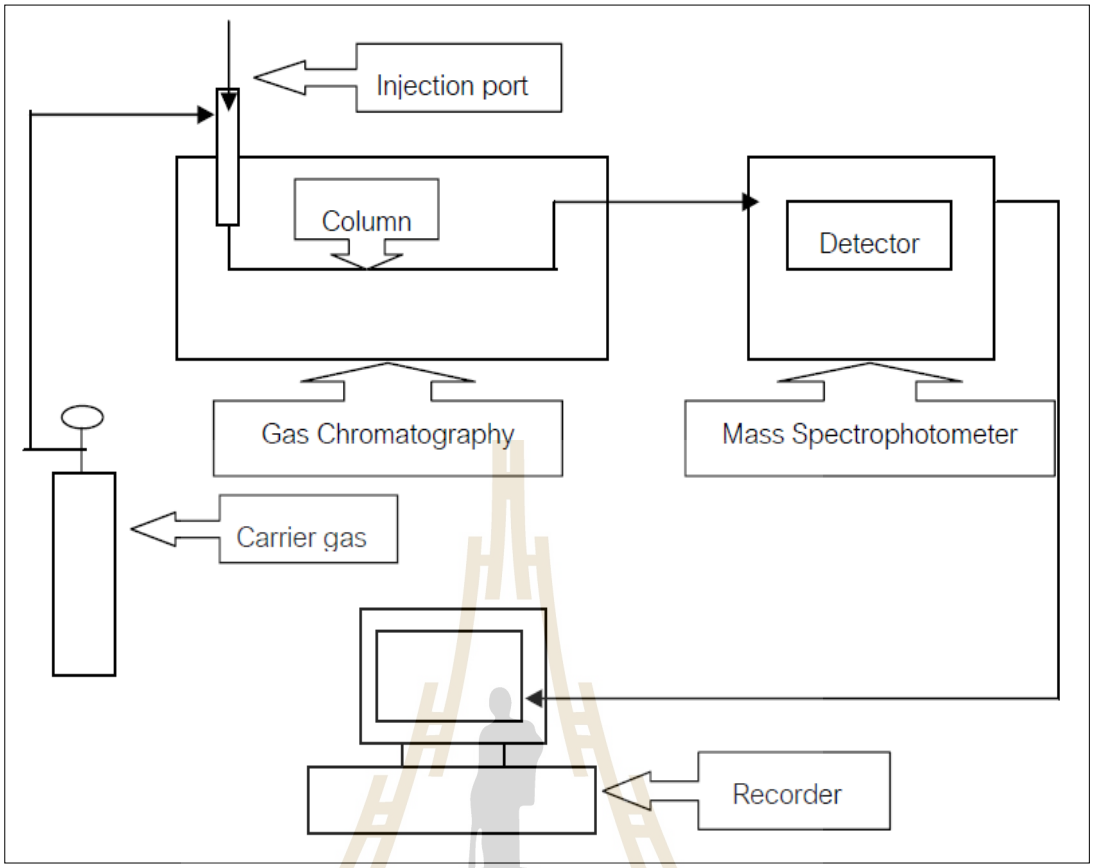
วิเคราะห์หาปริมาณ PAHs โดยใช้เครื่องมือ High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) โดยการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน HPLC เป็นเทคนิคการแยกสารประกอบ (Substances) โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบใน Stationary Phase ของคอลัมน์ โดยมี Mobile Phase เป็นตัวพาไป เมื่อต่อเข้ากับ Detector จะสามารถตรวจวัดสารที่ออกมาจากคอลัมน์ (Analysts or Solutes) ได้อย่างต่อเนื่องสามารถตรวจวัดทั้งเชิงคุณภาพ (Qualitative

Analysis) และเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ส่วนใหญ่นิยมใช้วิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยยาก (Low Volatile Substation) หรือน้ำหนักโมเลกุลสูง (High Molecular Weight Compounds)

การวิเคราะห์ปริมาสาร PAHs โดยใช้เครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) มีส่วนประกอบแสดงในรูปที่ 2.4 การหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography: GC) เป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการแยกสารทางโครมาโทกราฟี โดยที่โครมาโทกราฟีทุกรูปแบบเกี่ยวข้องกับ Distribution หรือ Partition ของสารประกอบใดๆ ระหว่าง Phase ทีแตกต่างกัน 2 Phase ซึ่งเป็น Mobile phase และ Stationary Phase ในการแยกสารขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย (Relative Solubility) เมื่อสารประกอบในของผสมเคลื่อนที่ผ่าน Stationary phase โดยมี Mobile Phase นำไป สารแต่ละตัวจะถูกเหนี่ยวรั้งมากน้อยต่างกัน เนื่องจากความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน สารจึงถูกแยกออกจากกัน สารใดมีความสามารถละลายได้ใน Stationary Phase มากกว่าก็จะใช้เวลามากกว่า ในการเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์ (Column) James และ Martin ผู้ให้กำเนิดเทคนิค GC ได้เป็นผู้ริเริ่มใช้แก๊สเฉื่อยเป็น Mobile Phase หรือเรียกว่าเป็นแก๊สพา (Carrier Gas) โดยปกติมักจะใช้แก๊สฮีเลี่ยม ไฮโดรเจน หรือไนโตรเจน

2.4.5.1 คอลัมน์ (Column) คอลัมน์ที่ใช้กันในเครื่อง GC โดยทั่วไป จัดได้เป็น 2 ประเภทคือ แพ็คคอลัมน์ (Pack column) และ WCOT (Wall-coated open tubular column) หรือคาพิลลารีคอลัมน์ (Capillary column) ทั้งนี้ แพ็คคอลัมน์ ได้มีการพัฒนามาก่อน ส่วนคาพิลลารีคอลัมน์ ได้พัฒนามาจากคาพิลลารีคอลัมน์ทำจากฟิวส์ซิลิกา (Fused silica) ที่ทนทาน มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการวิเคราะห์ หาปริมาณน้อยๆของสารประกอบอินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจงในของผสมที่ซับซ้อน ชนิดของคอลัมน์และดีเทคเตอร์แบ่งได้ดังนี้ (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2552)

1) แพ็คคอลัมน์ (Pack column) แพ็คคอลัมน์ มิได้มีประสิทธิภาพ และขีดความสามารถในการแยกสูงเหมือนกับคาพิลลารีคอลัมน์ (Capillary column) แต่เป็นคอลัมน์ที่มีความจุมากกว่า ซึ่งทำให้การนำสารเข้าสู่คอลัมน์ง่ายขึ้น กับทั้งยังมีองค์ประกอบของสารตัวอย่างในปริมาณมากขึ้นสำหรับการนำเข้าสู่ดีเทคเตอร์ แพ็คคอลัมน์สำหรับการวิเคราะห์ทั่วไปมีความยาว 2-5 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตรเป็นคอลัมน์ที่ใช้อัตราการไหลของแก๊สพาประมาณ 20-50 ml/min สำหรับคอลัมน์ที่ใหญ่กว่านี้สามารถที่จะออกแบบให้เป็นการเฉพาะที่จะใช้งานสำหรับ GC ชนิดที่ใช้เตรียมสาร (Preparatory-scale GC) 2) คาพิลลารี่คอลัมน์ (Capillary column) คาพิลลารีคอลัมน์ทำจาก SiO_2 ที่บริสุทธิ์และแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษเมื่อเคลือบฉาบผิวด้านนอกด้วย Polyimide polymer ปัจจุบันคาพิลลารีคอลัมน์ได้มีเทคโนโลยีการผลิตที่มีคุณภาพสูงควบคุมเส้น



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer
ที่มา : (แม้น อมรสิทธิ์, 2552)

ผ่าศูนย์กลางภายในและความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ซึ่งมีทั้งแบบ Phase ที่มีขั้วและไม่มีขั้ว คอลัมน์ที่ผลิตลักษณะนี้มีความยาว 10-100 เมตรเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.20-0.35 มิลลิเมตรและใช้อัตราการไหลของ Carrier gas 2-5 ml/min

2.4.5.2 ดีเทคเตอร์ (Detector) ดีเทคเตอร์ เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากทางออกของคอลัมน์ ทำหน้าที่ตรวจวัดองค์ประกอบต่างๆ ของสารตัวอย่างในขณะที่สารเคลื่อนที่ผ่านออกมาจากคอลัมน์ โดยที่ดีเทคเตอร์จะต้องไม่ว่องไวต่อ Carrier gas เมื่อดีเทคเตอร์ ตรวจวัดองค์ประกอบของสาร จะทำการบันทึกผลเทียบกับเวลา ทำให้ได้โครมาโทแกรม (Chromatogram) ดีเทคเตอร์ที่มีการใช้กันมาก ได้แก่ เฟรมไอออไนเซชัน (Flame Ionization Detector: FID) แมสสเปกโทรเมตรี (Mass Spectrometry: MS) เทอร์มอลคอนดักทิวิตี (ThermalConductivity Detector: TCD) และอิเล็กตรอนแคพเจอร์ (Electron Capture Detector: ECD)

1) ดีเทคเตอร์แบบเฟรมไอออไนเซชัน (Flame ionization detector; FID) ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ อาศัยหลักการพื้นฐานของการสันดาปไอของสารที่ออกมาจากคอลัมน์ในเปลวไฟของไฮโดรเจน และวัดไอออนที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบของพีค ที่ออกมาจากคอลัมน์ ปริมาณที่สามารถตรวจวัดต่ำสุด (Minimum detectable quantity: MDQ) โดยดีเทคเตอร์ FID เท่ากับ 10^{-11}กรัมและช่วงของกราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรงมีค่าถึง 107 การตอบสนองของดีเทคเตอร์ชนิดนี้เร็วมากโครมาโทแกรมแสดงผลเคมีวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงคุณภาพวิเคราะห์อยู่ในรูปของ Retention time ซึ่งค่อนข้างจะเฉพาะสำหรับแต่ละสารส่วนข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์อยู่ในรูปของพื้นที่ใต้พีค (Peak area) โดยโครมาโทแกรมมีผลจากตัวแปรต่างๆเช่นอุณหภูมิ อัตราการไหลของ Carrier gas และชนิดของคอลัมน์เป็นต้น Parameter เหล่านี้สามารถจะคำนวณหาค่าที่เหมาะสมได้เพื่อการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพเปลวไฟเกิดขึ้นโดยการเผาไฮโดรเจนในอากาศหรือในออกซิเจนและไอออนประจุลบที่เกิดขึ้นจากการสันดาปสามารถจะวัดปริมาณได้โดยการใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 200-300 โวลต์ ไปยัง Collector electrode เปลวไฮโดรเจนผลิตไอออนได้ไม่มากนักคิดเป็นกระแสประมาณ 10-14 แอมแปร์แต่เมื่อมีสารประกอบอินทรีย์จะทำให้มีไอออนเกิดขึ้นปริมาณมากมายกระแสไฟฟ้าอาจมีปริมาณถึง 10^{-6}แอมแปร์สารประกอบที่จะตรวจวัดด้วย FID ได้จะต้องสามารถผ่านกระบวนการออกซิเดชันได้การตอบสนองของ FID ขึ้นกับจำนวนไอออนที่เกิดขึ้นจากแต่ละสารประกอบการตอบสนองนี้แตกต่างกันไประหว่างสารประกอบแต่ละกลุ่มสำหรับ Flame ionization detector

2) ดีเทคเตอร์แบบแมสสเปกโทรเมตรี (Mass spectrometry: MS) กระบวนการในแมสสเปกโทรเมตรี สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการคือ ไอออไนเซชัน (Ionization) และการแยกมวล (Mass separation) วิธีการไอออไนซ์ (Ionize) เป็นการทำให้เกิดไอออน เมื่อโมเลกุลถูกไอออไนซ์ใน สูญญากาศ กลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะของไอออนของมวลต่างๆ กันก็จะเกิดขึ้น เมื่อแยกไอออนเหล่านี้หาความสัมพันธ์ระหว่าง Relative abundance เทียบกับมวล ก็จะได้แมสสเปกตรัม (Mass spectrum) สเปกตรัมเหล่านี้ สามารถใช้ในการบ่งบอกเอกลักษณ์ของโมเลกุลได้

2.5.6 การคำนวณความเข้มข้นของ PAHs

ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละตัวหาได้จากการใช้เทคนิค External Standard ทำได้โดยฉีดสารละลายมาตรฐาน (Pure Standard) ที่มีปริมาณต่างๆเข้าไปใน GC/MS เมื่อได้ Chromatogram จะทำให้ทราบถึงพื้นที่ใต้กราฟ นำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ไปเขียนกราฟเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐาน หรือเทียบกับปริมาตรของสารมาตรฐาน จะได้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรง โดยคำนวณจาก Response Factor และ Peak response ใช้ Calibration Curve เป็นตัวเปรียบเทียบหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างเมื่อเราทราบปริมาตรหลังจากผ่านกระบวนการ Evaporation แล้วสามารถหาปริมาณของสาร PAHs ได้ แต่จะต้องมีการเปรียบเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐาน (Internal Standard) ว่ามีการสูญเสีย (Loss) ไปเท่าไรเพื่อนำกลับมาคำนวณหาปริมาณของ PAHs ใน

บรรยากาศจริงๆว่ามีปริมาณเท่าไร โดยจะต้องปรับเทียบกับประสิทธิภาพของตัว PUFs ที่สามารถเก็บสาร PAHs ได้ในแต่ละตัวจึงจะได้ปริมาณที่มีอยู่จริงในบรรยากาศ

จากการศึกษาของ Meng Yuaru (2005) พบว่าความเหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์หาปริมาณสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองโดยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectroscopy ควรมีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อการวิเคราะห์ตั้งแต่กระบวนการเก็บตัวอย่าง จะใช้กระดาษกรองชนิด glass micro filter ในการดักจับอนุภาคฝุ่นละออง และจะใช้สาร Anhydrous Sodium Sulfate เป็นสารดูดซับความชื้นออกจากตัวอย่างฝุ่นละออง และใช้ตัวทำละลายเป็นสารชนิด Cyclohexane ด้วยเครื่องมือ Soxhlet Extractor และสภาวะของเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectroscopy ที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรกำหนดคืออุณหภูมิของ Oven 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรที่ใช้วิเคราะห์คือ 1 ไมโครลิตรตัวอย่าง ใช้ก๊าซตัวพาคือ ก๊าซฮีเลียม มีอัตราการไหลของก๊าซเป็น 1 มิลลิลิตรต่อนาที และมีคอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ Perkin Elmer-(30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร) ซึ่งเป็นสภาวะของเครื่องที่พร้อมต่อการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs

2.6 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อสุขภาพ

2.6.1 การแพร่กระจาย PAHs เข้าสู่ร่างกาย

PAHs สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางตรง เช่น จากการหายใจเอาอากาศที่มี PAHs ปนเปื้อนเข้าไป หรือการสัมผัสวัตถุที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง เช่น การสัมผัสดินที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ การกิน หรือการดื่มน้ำที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ สาร PAHs สามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางปาก พบว่าบางส่วนของ PAHs ที่ไม่ถูกเมตาโบไลต์จะถูกเนื้อเยื่อไขมันในส่วนต่างๆ ของร่างกายจับเอาไว้ เมื่อ PAHs ผ่านเข้าไปในร่างกายจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นสารที่มีขั้วมากขึ้น นั่นหมายถึงว่า วงแหวนเบนซีนของ PAHs จะต้องถูกเติมด้วยหมู่ OH โดยตับจะเป็นอวัยวะที่สลายหรือเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของ PAHs ได้มากที่สุด สารตัวกลางที่ได้เป็นอนุพันธ์ ของ PAHs ปฏิกิริยาเติมหมู่ OH อาศัยการเร่งของเอนไซม์จากไมโครโซม เป็นสาร ไม่มีขั้วจึงละลายได้ดีในน้ำมันและไขมัน ดังนั้นจึงสะสมในไขมันของร่างกายได้เป็นเวลานาน และถูกขับออกจากร่างกายได้ยากมาก นอกจากจะถูกเมตาโบไลต์และถูกทำ ลายโดยขบวนการทำ ลายสารพิษของร่างกาย สาร PAHs ในเนื้อเยื่อไขมันอาจไม่ทำ ให้เกิดพิษภัยต่อร่างกาย จนกว่ามันจะเข้าไปสู่เซลล์ แต่ PAHs นี้อาจสะสมได้ในชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยชั้นของฟอสโพลิปิด PAHs มีความเป็นพิษในระดับโมเลกุล เกิดขึ้นโดยเมตาโบลิซึมในเซลล์ ซึ่งมี 2 ขั้นตอน (ไมตรี, 2532)

2.6.1.1 ผ่านทางเอนไซม์ (P-450 Cytochrome) ทำ ให้เกิดออกซิเดชัน และไฮดรอกซิเลชัน ได้สารตัวกลางที่เป็น Phenols ซึ่งเป็นพิษร้ายแรงและเป็นสารก่อมะเร็งปฏิกิริยามักเกิดใน

บริเวณที่เรียกว่า (Bay Region) ของกลุ่ม PAHs ที่มีวงแหวน 3 ถึง 5 วง ได้แก่ Anthracene, Phenanthrene, Chrysene, Benzopyrene การที่ PAHs ถูกเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ นี้เอง ที่เป็นกลไกของการเกิดมะเร็ง เนื่องจากสารตัวกลางนี้มีความว่องไวทางชีวเคมี สามารถรวมตัวแบบพันธะโควาเลนท์ได้ดีกับ DNA ได้อนุพันธ์ออกซิไดส์ของ PAHs นั้น และอาจถูกเติมด้วยหมู่เมธิล (Omethylation) ต่อไปอีกเป็นอนุพันธ์ Methoxy ได้ เกิดเป็น (PAH-DNA) ทำให้เซลล์มีการแปลรหัสทางพันธุกรรมผิดปกติไปและมีการกลายพันธุ์ได้ (Mishra, 2003)

รกลายพันธุ์ได้ (Mishra, 2003)

2.6.1.2 การกำจัดพิษ Epoxides และ Phenols โดยปฏิกิริยาคอนจูเกชั่นกับสารอื่น เช่น Glucoronide, Sulfate, Glutathione ได้สารคอนจูเกต (Conjugates) ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำและถูกชะพาออกไปทางน้ำดี อุจจาระ และปัสสาวะ

2.6.2 ความเป็นพิษของ PAHs

พิษเฉียบพลันของ PAHs ในมนุษย์และสัตว์ทดลอง จากการศึกษาพบ Anthracene มีฤทธิ์ในการกระตุ้นให้ร่างกายมนุษย์มีความไวต่อแสงมากขึ้น (Photosensitivity) มีผลทำให้เกิดอาการผิดปกติของผิวหนังคือ แสบร้อน คัน และมีอาการระคายเคืองของเยื่อบุตาและหลอดลมด้วย และในการป้าย Chrysene บนผิวหนังของหนู (Mouse) ในปริมาณ 0.0125 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร 2 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 2 วัน ทำให้ผิวหนังมีเซลล์สีผิว (Melanocyte) มีจำนวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย Naphthalene ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolytic Anemia) และต้อกระจก (Cataract) ความผิดปกติทั้ง 2 อย่างนี้เกิดได้ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง มีการแทรกตัวของเม็ดเลือดขาวชนิด (Polymorphonuclear Leucocytes) และ (Lymphocytes) พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเซลล์ตับ นอกจากนี้ยังมีรายงานการเสียชีวิตของเด็กอายุ 6 ปีที่กิน Naphthalene ในขนาด 2 กรัม จากการคำนวณพบว่า ปริมาณของ Naphthalene ที่ทำให้คนเสียชีวิตได้มีขนาด 71.4 ถึง214.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว โดยคิดจากคนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 70 กิโลกรัม และ Pyrene ทำให้เกิดการอักเสบ บวมแดงของผิวหนังได้มากที่สุด (US.EPA, 1998)

2.6.3 พิษเรื้อรังของ PAHs ในมนุษย์และสัตว์ทดลอง

สาร PAHs อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดมะเร็งหลายตัว เช่น Benzo (a) anthracene, Benzo (a)pyrene, Benzo (b) fluoranthrene, Chrysene, Dibenzo (a,h) anthracene และ Indeno (1, 2, 3-cd) pyrene เป็นสาเหตุของการเกิดเนื้องอก จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยให้สัตว์ทดลองกินรับทางผิวหนัง หรือหายใจเอาอากาศที่มีสารเหล่านี้เข้าไปเป็นระยะเวลานาน สำหรับมนุษย์มีรายงานว่าการได้รับสารเหล่านี้ โดยทางเดินหายใจหรือผิวหนังสัมผัสกับสารผสมของ PAHs เป็นระยะเวลานาน อาจทำให้เกิดมะเร็งได้ พิษเรื้อรังของ PAHs ต่อมนุษย์และสัตว์ทดลอง สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.6.3.1 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity) จัดแบ่ง PAHs ออกเป็น 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ กลุ่มที่ก่อมะเร็งและกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง เป็นที่น่าสังเกตว่าไม่มี PAHs สารใดที่ IARC จัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในคน (Group 1) แม้ว่า PAHs หลายสารเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง เป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยา แล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำ ให้เกิดมะเร็งในคน เช่น ควันบุหรี่ น้ำมันดิน เขม่า ควันเสียจากเตาเผาถ่านหิน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากเป็นการยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณหรือความเข้มข้นของ PAHs แต่ละสารที่มนุษย์ได้รับจากสารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่นๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543)

2.6.3.2 ผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อน มีการรายงานไม่พบผลของ PAHs ต่อการพัฒนาตัวอ่อนในมนุษย์ มีเพียงรายงานผลของ Benzo (a) pyrene ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเท่านั้น โดยหนูที่ได้รับ Benzo (a) pyrene ระหว่างการตั้งท้อง ทำ ให้การพัฒนาของตัวอ่อนผิดปกติไป คือ อัตราการรอดชีวิตของลูกหนูเมื่อคลอดลดลง การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของลูกหนูที่มีชีวิตลดลง การพัฒนาระบบสืบพันธุ์ของตัวอ่อนผิดปกติ คือ เซลล์สืบพันธุ์มีรูปร่างผิดปกติ ซึ่งเมื่อลูกหนูเหล่านี้เติบโตเต็มที่ ความสมบูรณ์ทางเพศลดลง และบางตัวเป็นหมัน

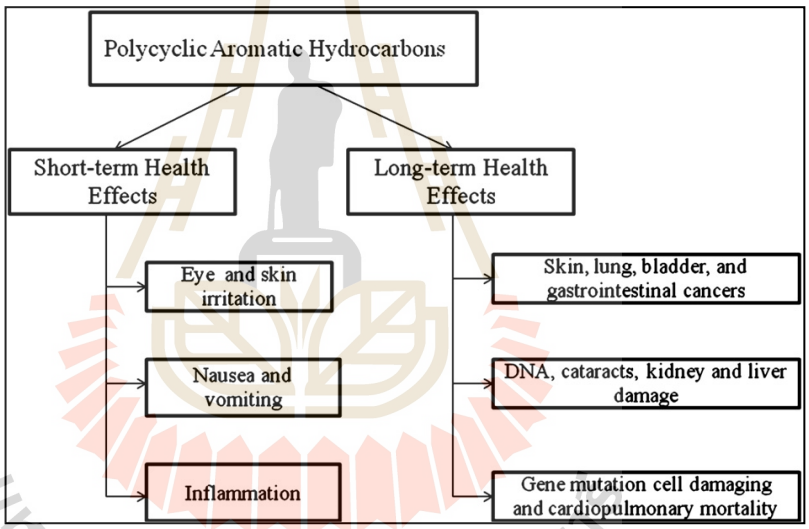
2.6.3.3 ความผิดปกติต่อการสืบพันธุ์ (Reproductive Toxicology) ไม่พบรายงานความเป็นพิษของ PAHs ที่มีต่อระบบสืบพันธุ์ในมนุษย์ และมี PAHs เพียง 2 สารเท่านั้น ที่มีรายงานว่า ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ คือ Acenaphthene และ Benzo (a) pyrene การทดสอบความเป็นพิษของ Acenaphthene ในหนู mouse ทั้ง 2 เพศ โดยการให้ Acenaphthene เข้าทางกระเพาะอาหารในขนาดตั้งแต่ 0 ถึง 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน ติดต่อกันนาน 13 สัปดาห์ พบว่าหนูเพศผู้ไม่มีความผิดปกติใดๆ ของระบบสืบพันธุ์ ในขณะที่หนูเพศเมียที่ได้รับ Acenaphthene ในขนาด 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน มีน้ำหนักของรังไข่ลดลงอย่างสอดคล้องกับการลดลงของการทำงานของรังไข่และมดลูก (US-EPA, 1989)

2.6.3.4 ความผิดปกติกับทารก (Teratogenicity) ไม่มีรายงานความผิดปกติจากPAHs ที่เกิดกับทารกในมนุษย์ มีรายงานแต่เพียง Benzo (a) pyrene ในสัตว์ทดลอง

จากผลการศึกษาของ สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ (2550) พบว่า เจ้าหน้าที่ตำรวจจราจรที่ปฏิบัติหน้าที่บนถนนในกรุงเทพฯได้รับสัมผัสสารโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) จากท่อไอเสียรถยนต์ ทำให้มีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ หรือมะเร็งปอดสูงกว่าตำรวจที่ปฏิบัติหน้าที่อยู่ในสำนักงานที่มีเครื่องปรับอากาศ และข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพชีวิตในการทำงานของพนักงานขับรถโดยสารของหน่วยงานขนส่งมวลชนกรุงเทพ ซึ่งพบว่า ในปีพ.ศ. 2544 มีพนักงานป่วยด้วยโรคต่าง ๆ

จำนวน 10,180 ราย นั้นเป็นผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจมากที่สุดจำนวน 1,919 ราย ในขณะที่การศึกษาของ วิชัย เพชรเลียบ (2550) พบว่าความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจจากการรับสัมผัสสาร PAHs จากอนุภาคฝุ่นควันในพื้นที่การทำงานในอาคาร 1.835-23.250 ng/m^3 โดยสารที่พบมากที่สุดคือ Benzo (a) pyrene จากสาร PAHs ทั้งหมด 16 ชนิดในอากาศ

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เมื่อเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตแล้วจะออกฤทธิ์ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยขึ้นกับระยะเวลาในการรับสัมผัสสาร PAHs ในรูปแบบของการรับสัมผัสในช่วงเวลาสั้นๆหรือรับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน ซึ่งผลกระทบในระยะสั้นอาจมีอาการระคายเคืองดวงตา เวียนศรีษะ อาเจียนเป็นต้น ส่วนผลกระทบในระยะยาวอาจก่อโรคมะเร็งผิวหนัง มะเร็งปอด การถูกำลายตับ ไต และการผ่าเหล่าทางพันธุกรรม เป็นต้น (Kim et al., 2013) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลกระทบจากการรับสัมผัสสาร PAHs
ที่มา : (Kim et al., 2013)

2.6.4 ตัวชี้บ่งทางชีวภาพของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ตัวชี้บ่งทางชีวภาพของการรับสัมผัสสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นเข้าสู่ร่างกาย และเกิดการขับออกจากร่างกาย สามารถวัดได้ด้วยสารชี้บ่งเหล่านี้ (Bostrom et al., 2002)

2.6.4.1 Urinary Metabolites การรับสัมผัสสาร PAHs จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกายและถูกขับออกทางปัสสาวะ คือ การวัดระดับของ 1-Hydroxypyrene เป็นตัวชี้วัดสำคัญที่สุดของ

Pyrene สามารถบอกได้ว่ามีปริมาณมากถึงร้อยละ 2-10 ของสาร PAHs ทั้งหมดที่รับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายซึ่งถือว่าอยู่ในอัตราส่วนที่สูง 1-Hydroxypyrene ใช้เป็นตัวชี้บ่งทางชีวภาพจาก 1-Hydroxypyrene PAHs เข้าสู่ร่ายกายและขับออกทางปัสสาวะภายเวลา 24-72 ชั่วโมง และยังพบว่าในผู้ที่สูบบุหรี่จะพบสารนี้เป็น 2 เท่าของผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ และ 1-Hydroxypyrene จะใช้เป็นตัวชี้วัดของสาร Benzo[a]pyrene โดยปริมาณที่พบในปัสสาวะจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการรับสัมผัสของแต่ละบุคคล

2.6.4.2 DNA Adducts การนำเข้าสู่ร่างกายของสาร PAHs ที่ผ่านกระบวนการของ DNA จากการรับสัมผัสสาร Benzo[a]pyrene ซึ่งจะตรวดได้จากเซลล์เม็ดเลือดขาวในรูปของ (Epoxides) จากเซลล์เนื้อเยื่อของโปรตีนในร่างกาย ที่ใช้เป็นสารชี้วัดที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการเมตาบอลิซึ่มของร่างกาย

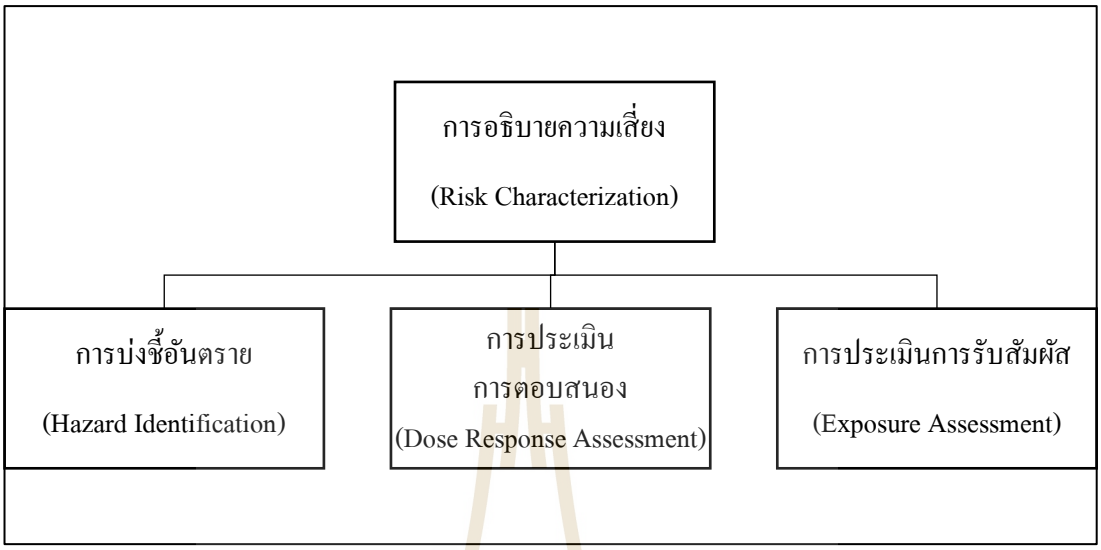
2.6.4.3 Protein Adducts การรับสัมผัสสาร PAHs จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกายที่มีปฏิกิริยากับโปรตีนในร่างกายจะถูกวัดได้ในเซลล์เม็ดเลือดแดง (Hemoglobin and Serum Albumin) ที่เป็นตัวชี้วัดของสาร Benzo[a]pyrene และ Fluoranthene sจากการกระบวนการไฮโดรไลซีสของเซลล์ สารชีวัดทางชีวภาพเหล่านี้สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) และเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS)

2.7 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

2.7.1 ความหมายการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment) เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการสัมผัสสารอันตราย และประเมินผลว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือไม่ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมีความสำคัญ ในด้านของความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้สัมผัสสารก่อมะเร็ง เป็นแนวทางในการตัดสินใจเกี่ยวกับการลดความเสี่ยงที่คุ้มค่า เพื่อดำเนินการป้องกันควบคุมความเสี่ยงด้วยวิธีที่จะให้ผลคุ้มค่าในเชิงการลงทุน ผลของการประเมินความเสี่ยงสุขภาพสามารถประเมินผลการคุ้มครองสุขภาพประชาชน ซึ่งในประเทศอุตสาหกรรมได้กำหนดกฎหมายให้ทำการประเมินความเสี่ยง วัตถุประสงค์ของการประเมินความเสี่ยงสุขภาพเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสารเคมีทำให้ทราบว่ามีการสัมผัสสารเคมีในปริมาณเท่าใดและในลักษณะใด ซึ่งความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นนั้นต้องอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และการประเมินความเสี่ยงยังช่วยในการตัดสินใจในการจัดการความเสี่ยงของผู้บริหารทั้งภาครัฐและเอกชนเพื่อจัดการกับความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีได้อย่างเหมาะสมกับระดับของความเสี่ยงนั้นๆ (USEPA, 1999 quoted in Janhua and Wichitra, 2012) ขั้นตอนของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักได้แก่ การอธิบายความเสี่ยง การบ่งชี้อันตราย การประเมินการตอบสนอง การ

ประเมินการรับสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ
ที่มา: (USEPA, 1999)

2.7.1.1 การชี้บ่งอันตราย (Hazard Identification)

การชี้บ่งอันตรายเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมีด้วยการรวบรวมข้อมูล "Data Collection" และการประเมินผลข้อมูล "Data Evaluation" ซึ่งผลจากการชี้บ่งอันตรายจะทำให้ผู้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมีข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับสถานที่ที่มีการปนเปื้อนของสารเคมี ผู้ที่สัมผัสสารเคมี และสามารถชี้บ่งสารเคมีที่ควรให้ความสำคัญในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพได้อย่างชัดเจน ตลอดจนการประเมินอันตรายของสารเคมีว่ามีความเป็นพิษในเชิงเป็นสารก่อมะเร็งด้วยหรือไม่ หรือมีความเป็นพิษรุนแรงต่อร่างกายอย่างไร กลุ่มประชากรที่มีโอกาสได้รับสัมผัสสารเคมีดังกล่าวคือกลุ่มประชากรในพื้นที่ใด เป็นต้น

การชี้บ่งอันตรายเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองในบรรยากาศประกอบไปด้วยการรวบรวมข้อมูล "Data Collection" ซึ่งเป็นการระบุถึงแหล่งที่มีการปนเปื้อนของ PAHs ในฝุ่นละอองที่พบบริเวณทั่วไป และการประเมินผลข้อมูล "Data Evaluation" เพื่อระบุถึงความอันตรายของสารเคมีจัดอยู่ในกลุ่มสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็งหรือไม่ ตามการกำหนดกลุ่มสารเคมีก่อมะเร็ง

จากการศึกษาของ Thongsanit (2007) พบว่า ปริมาณสาร PAHs ที่พบใน

กรุงเทพมหานครมีค่าอยู่ในช่วง 13.0-77.0 ng/m^3 ในปี ค.ศ. 2004 ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการศึกษาในปีที่ผ่านมา และมีปริมาณสาร PAHs ในอากาศสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลการศึกษาในต่างประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณที่พบ PAHs ในบรรยากาศ

เมือง	ปริมาณ PAHs (ng/m^3)	ชนิดที่พบมาก	ปี
Bangkok, Thailand	14.7-43.0	BaP, BeP	1997
Bangkok, Thailand	6.5-58.0	BeP, Ace, Acy	2001
Bangkok, Thailand	5.0-74.0	BaP, Pyr	2003
Bangkok, Thailand	13.0-77.0	BeP, Ace, Acy	2004
Jakarta, Indonesia	13.3	Ace, BeP, BaP	2005
Darwin, Australia	77.2	NaP, Ace	2005
Mumbai, India	36.8	Nap, Acy	2005
Naples, Italy	24.5	BaP, Pyr	2005

ที่มา : (Thongsanit, 2007)

หมายเหตุ NaP คือ Naphthalene
BaP คือ Benzo(a)pyrene
BeP คือ Benzo(e)pyrene
Ace คือ Acenaphthene
Acy คือ Acenaphthylene

การบ่งชี้อันตรายของสารกลุ่มโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนทั้ง 16 ชนิด ยังถูกจัดแบ่งกลุ่มให้มีแนวโน้มเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองและโอกาสก่อมะเร็งในมนุษย์ดังนี้ (ตารางที่ 2.6)

2.7.1.2 การประเมินระดับการตอบสนอง (Dose Response Assessment)

การประเมินระดับการตอบสนอง เป็นขั้นตอนที่จะทำการประเมินว่าผลต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายมีอะไรบ้าง รุนแรงเพียงใด และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกายและการตอบสนองของร่างกาย และเพื่อกำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหรือขนาดของสารเคมีที่ร่างกายได้รับและการตอบสนองที่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เกิดขึ้น จนถึงค่าความเข้มข้นหนึ่งที่ทำให้ร่างกายปรากฏผลกระทบต่อสุขภาพขึ้น USEPA ได้กำหนดค่าปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับต่อวันที่ผู้สัมผัสและประชาชนทั่วไป รวมถึงผู้ที่ไวต่อการ

ตารางที่ 2.6 การแบ่งกลุ่มสาร PAHs ในการก่อให้เกิดมะเร็ง

ชนิด PAHs	การแบ่งกลุ่ม
Benzo(a)pyrene	2A
Dibenzo(a,h)anthracene	2A
Dibenzo(a,e)pyrene	2B
Benzo(a)anthracene	2A
Dibenzo(a,h)pyrene	2B
Anthracene	2B
Benzo(e)pyrene	2B
Benzo(g,h,i)perylene	2B
Dibenzo(a,i)pyrene	2B
Dibenzo(a,l)pyrene	2B
Fluoranthene	2B
Fluorene	2B
Chrysene	2B
Naphthalene	2B
Phenantharene	2B
Pyrene	2B

ที่มา : (IARC, 1997)

หมายเหตุ 2A คือ กลุ่มที่มีโอกาสก่อมะเร็งในมนุษย์

2B คือ กลุ่มที่อาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์

สัมผัสยังปลอดภัยและไม่มีอาการใดๆ เกิดขึ้นตลอดอายุขัย เรียกเป็น Reference Dose (RfD) เพื่อใช้กำหนดค่าความเป็นพิษของสารเคมีนั้นๆ สารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็งนั้นไม่สามารถกำหนดได้ว่าปริมาณใดของสารเคมีที่จะปลอดภัยต่อผู้สัมผัสเพราะถึงแม้ว่าร่างกายได้รับสัมผัสสารเคมีในปริมาณน้อยก็ตาม อาจมีผลต่อเซลล์เซลล์เดียวและเมื่อเวลาผ่านไปเซลล์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงจนไปสู่การเกิดมะเร็งได้ การประเมินความเป็นพิษสำหรับสารก่อมะเร็งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การกำหนดความเชื่อมั่นต่อน้ำหนักของหลักฐาน ในขั้นตอนนี้จะต้องมีการประเมิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข้อมูลต่างๆ ที่มีอยู่ เพื่อพิจารณาว่ามีโอกาสความเป็นไปได้ที่สารเคมีนั้นจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ โดยต้องนำข้อมูลการศึกษาในมนุษย์และในสัตว์ทดลองมาศึกษาอย่างละเอียด ซึ่งมีการพิจารณาความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลและข้อจำกัดที่มีของการศึกษานั้น ๆ และสุดท้ายต้องกำหนดว่าสารเคมีนั้นจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งกลุ่มใด

2) การกำหนดค่า Slope Factor ค่า Slope Factor (SF) คือค่าความเป็นพิษที่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง โดยจะใช้ประมาณค่าความเป็นไปได้ในการเกิดมะเร็งของกลุ่มประชากรอันเนื่องมาจากการสัมผัสสารก่อมะเร็งตลอดอายุขัย ซึ่งจะคำนวณค่าดังกล่าวเฉพาะกลุ่มของสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็งที่อยู่ในกลุ่ม 2A และ 2B เท่านั้น

การกำหนดค่าความเป็นพิษของสารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ตอบสนองต่อการเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งในระยะยาวของสาร PAHs บางชนิดดังนี้ (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 ค่า Cancer slope factor (SF) ผ่านทางการหายใจ ของ PAHs

PAHs	กลุ่มสารก่อมะเร็ง	SF (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
Benzo(a)pyrene	2A	1.39
Dibenzo(a,h)anthracene	2A	0.39
Benzo(a)anthracene	2A	0.60
Dibenzo(a,e)pyrene	2B	0.70
Dibenzo(a,h)pyrene	2B	0.27
Dibenzo(a,i)pyrene	2B	0.90

ที่มา : (US-EPA, 1998)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.7.1.3 การประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment)

การรับสัมผัส (Exposure) หมายถึงการที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับสิ่งคุกคามทางเคมี ทางกายภาพหรือทางชีวภาพ การรับสัมผัสที่เกิดขึ้นจากการทำงานที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถรับสิ่งคุกคามเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ได้แก่ ทางการหายใจ ทางการกิน การสัมผัสผ่านทางผิวหนัง เป็นต้น การประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) หมายถึง กระบวนการในการจัดทำข้อมูลการรับสัมผัส และทำการตัดสินใจว่าการรับสัมผัสสิ่งคุกคามที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถยอมรับได้หรือไม่ การประเมินการรับสัมผัสเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ ซึ่งจะพิจารณาควบคู่ไปกับอีกองค์ประกอบหนึ่งคือ ความรุนแรงหรือความเป็นพิษของการรับสัมผัสที่พิจารณา โดยแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณคือ ADD: Average Daily Dose ใช้สำหรับ

สารเคมีที่ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง (สมการที่ 2.1) และใช้แบบจำลอง LADD: Lifetime Average Daily Dose สำหรับประเมินการรับสัมผัสกรณีที่เป็นสารก่อมะเร็งตามสมการการคำนวณดังนี้ (สมการที่ 2.2)

$$ADD = [C \times CR \times ED \times F]/[BW \times AT] \quad (2.1)$$

$$LADD = [C \times CR \times ED \times F]/[BW \times LT] \quad (2.2)$$

กำหนดให้

C คือ ปริมาณสารเคมี นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

CR คือ อัตราการรับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายลิตรต่อวัน

ED คือ ระยะเวลาการรับสัมผัส ปี

F คือ ความถี่ของการรับสัมผัสสารเคมี วันต่อปี

BW คือ น้ำหนักตัว กิโลกรัม

AT คือ เฉลี่ยช่วงเวลาการรับสัมผัสสารเคมีกรณีที่ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง (ED x 365 วันต่อปี)

LT คือ ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาการรับสัมผัสสารเคมี (70 ปี x 365 วันต่อปี)

ขั้นตอนการประเมินการรับสัมผัส จะมีปริมาณการรับสัมผัสมากหรือน้อยควรพิจารณาร่วมกับข้อมูลความเป็นพิษต่างๆ ได้แก่ ผลกระทบของพิษ เส้นทางการรับสัมผัสสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย ความถี่ของการสัมผัส ระยะเวลาในการสัมผัส และปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับแล้วทำให้เกิดผลกระทบ

2.7.1.4 การอธิบายความเสี่ยง (Risk Characterization) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงสุขภาพ ซึ่งใช้ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและการตอบสนอง และขั้นตอนการประเมินการสัมผัส และสรุปว่าเป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือไม่หากสัมผัสสารเคมีนั้นๆ

1) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง การพิจารณาค่าความเสี่ยงสำหรับสารพิษที่ไม่ก่อมะเร็งจะมีหลักคิดคือ ถ้าปริมาณสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกายน้อยกว่าค่า RfD ถือว่าปลอดภัยสำหรับประชาชนทั่วไปที่จะสัมผัสได้ การพิจารณาความเสี่ยงสำหรับสารไม่ก่อมะเร็งนี้สามารถคำนวณได้ 2 กรณี คือความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารเคมีชนิดเดียว (Hazard Quotient) (สมการที่ 2.3) และสารเคมีหลายชนิด (Hazard Index) ตามสมการดังนี้ (สมการที่ 2.4)

$$\text{Hazard Quotient} = ADD/RfD \quad (2.3)$$

$$\text{Hazard Index} = \text{Summation of HQ} \quad (2.4)$$

ถ้า ADD / RfD > 1 อาจจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร

ADD / RfD < 1 คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร

2) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง การอธิบายลักษณะความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งเป็นการสรุปความเสี่ยง จะพิจารณาโอกาสที่ผู้สัมผัสจะเป็นมะเร็งตลอดระยะเวลาอายุขัย การประเมินโอกาสจะพิจารณาข้อมูลสารเคมีที่ร่างกายได้รับและค่าปริมาณการตอบสนองของสารเคมีนั้นๆ การอธิบายลักษณะความเสี่ยงด้วยการใช้แบบจำลอง (Cancer Risk)ในการคำนวณความเสี่ยงเพื่อพิจารณาความเสี่ยงที่สัมผัสสารก่อมะเร็งนั้นโดยคิดว่าโอกาสการเกิดมะเร็งนั้นเกิดได้ตลอดอายุขัยของผู้สัมผัสโดยปกติจะคิดเป็น 70 ปี โดยมีสมการคำนวณดังนี้ (สมการที่ 2.5)

$$\text{Cancer Risk} = \text{LADD} \times \text{Slope Factor} \quad (2.5)$$

พิจารณาความเสี่ยง จากข้อมูลที่ได้จากการประเมินทั้งหมด โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาความเสี่ยงและดัชนีความเสี่ยง คือ กรณีสารก่อมะเร็ง ความเสี่ยงระหว่าง $1x10^{-6}$ ถึง $1x10^{-4}$ เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ และกรณีสารไม่ก่อมะเร็ง ดัชนีความเสี่ยงน้อยกว่า 1 เป็นดัชนีความเสี่ยงที่ยอมรับได้

การใช้ค่า TEF : Toxic Equivalency Factor ที่ใช้เป็นค่าประมาณการศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง โดยจะแบ่งเป็น 2 กุ่ลม หลักสาร PAHs ได้แก่ กลุ่มที่ก่อให้เกิดมะเร็งจะกำหนดให้ค่า TEF เท่ากับ 1 คือสาร Benzo(a)pyrene เท่านั้น และสารชนิดอื่นในกลุ่ม PAHs ที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (US.EPA, 1998)

จากการศึกษาของ Hongmeixu et al. (2012) พบว่า การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ของกลุ่มพนักงานในบริษัท ประเทศจีน การใช้ค่า TEF : Toxic Equivalency Factor มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่อยู่ภายในอาคาร และชนิดของสาร PAHs ที่พบเป็นหลักได้แก่ Benzo(a)pyrene และจากการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs มีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs ผ่านทางการหายใจมากที่สุด และการศึกษาของ Wang et al. (2012) พบว่า การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพผ่านทางการหายใจ ตามวิธีการคำนวณความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการคูณค่าปัจจัย Toxic

Equivalency Factor พบความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs ในฝุ่นละออง และพบความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs ในเด็กมีความเสี่ยงมากกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับการรับสัมผัสในผู้ใหญ่ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Slezakova et al. (2012) พบว่า การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในบริเวณพื้นที่การจราจร พบความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs ผ่านทางการหายใจมากที่สุด และยังพบอีกว่าในพื้นที่ชุมชนเมืองมีความเสี่ยงในการรับสัมผัสสูงกว่าในพื้นที่นอกเขตชุมชนที่มีการจราจรหนาแน่นเบาบางกว่า และการศึกษาของ วิทชย เพชรเลียบ (2551) พบว่าการประเมินความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ และสารเคมีก่ออันตราย ของพนักงานสัมผัสฝุ่นควันจากการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ PAHs จำนวน 15 สารประกอบจากอนุภาคฝุ่นควันในพื้นที่การทำงาน พบปริมาณ Total PAHs ในอาคารอยู่ในช่วง 35.74-191.52 ng/m^3 และพบปริมาณ Benzo (a) pyrene ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์อยู่ในช่วง 1.835-23.250 ng/m^3 โดยสารที่พบนอกจาก Benzo (a) pyrene ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง พนักงานมีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs ได้แก่ Naphthalene , Benzo (b) fluoranthene , Benzo (k) fluoranthene และ Indeno(1,2,3cd) pyrene ซึ่งสารประกอบ PAHs 4 ตัวอย่างดังกล่าว จัดเป็นสารที่มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ โดยปริมาณสารประกอบ PAHs ที่พบมากที่สุดใน คือ Benzo (ghi) perylene ที่ปริมาณเฉลี่ย 107.732±83.88 ng/m^3 ซึ่งสารชนิดนี้เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และการศึกษาของ Norramot et al., (2005) การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่เป็นชนิดที่ก่อมะเร็งในมนุษย์ด้วยการใช้ค่า TEF : Toxic Equivalency Factor ได้แก่ Benzo(b) fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)anthracene, Benzo(a)pyrene และ Indeno(1,2,3-c,d)pyrene ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่เขตเมืองกรุงเทพมหานคร โดยความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.54 ng/m^3

2.8 สรุปที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

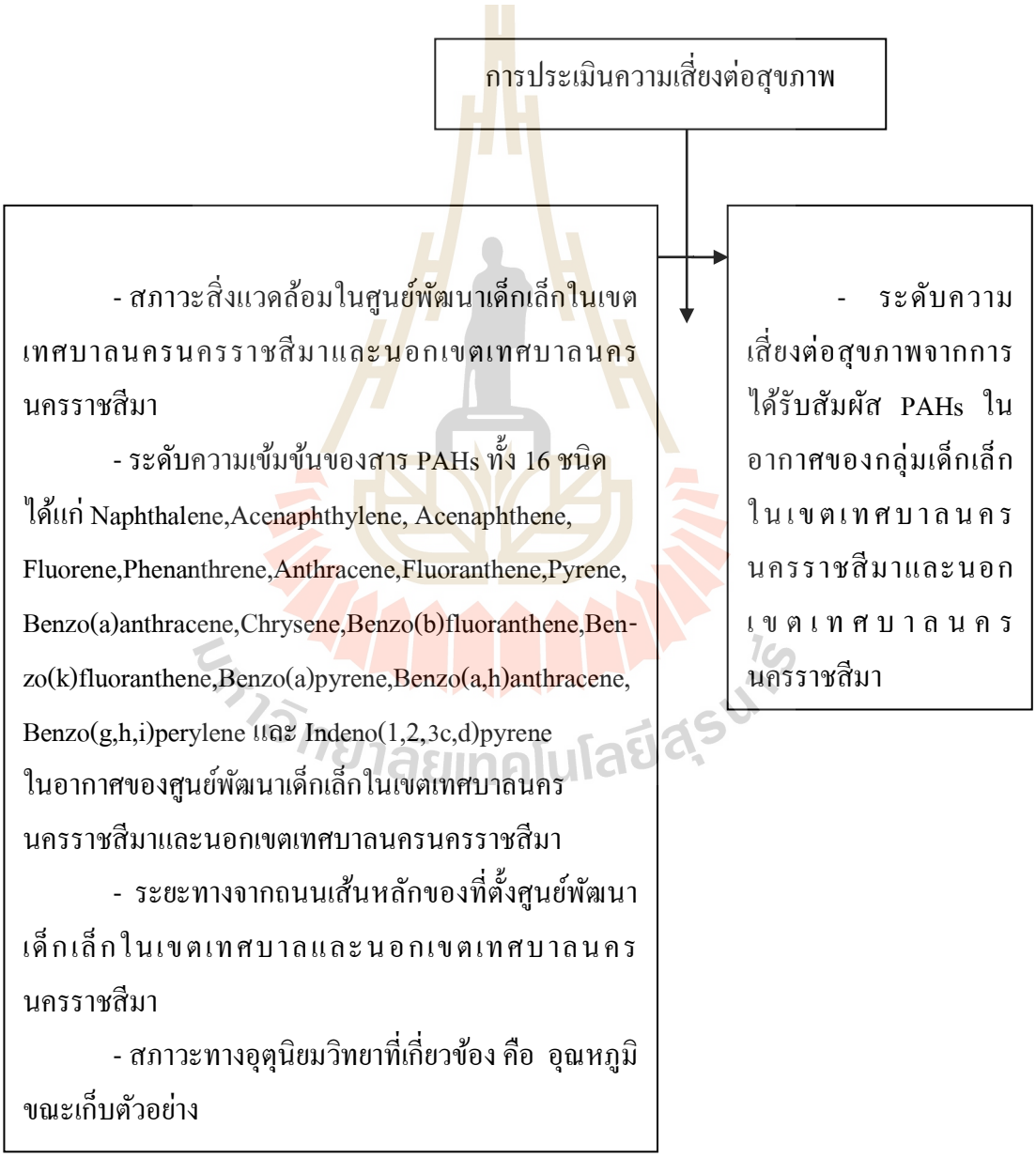
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า สารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon : PAHs) สามารถพบได้ในฝุ่นละอองทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและอนุภาค องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US EPA)ได้กำหนดให้ PAHs 16 ชนิดให้เป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-c,d)pyrene โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก (anthropogenic source) เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงได้แก่ แก๊สโซลีน ถ่านหิน น้ำมันดีเซล การปล่อยควันเสียจากยานพาหนะ การเผาขยะ การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ การสูบบุหรี่ การเผาทุ่งหญ้า การ

ประกอบอาหารในครัวเรือน โดยเฉพาะบรรยากาศในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นหรือพื้นที่ในเขตเมืองที่พบปริมาณสาร PAHs สูงกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่นอกเขตเมือง สารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดหลักที่พบคือ ชนิดที่ประกอบด้วยวงเบนซีน 2 ถึง 3 วงจะพบอยู่ในรูปก๊าซ เช่น Anthracene และชนิดที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 5 ถึง 6 วงจะพบอยู่ในรูปอนุภาค เช่น Benzo(a)pyrene สารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ จากการเกาะติดกับอนุภาคในบรรยากาศ (Airborne Particulate Matter) การเปลี่ยนแปลงของสารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยแสงนั้นขึ้นกับอนุภาคของสารประกอบที่ PAHs ไปเกาะติด ซึ่งมาจากหลายแหล่งด้วยกัน เมื่ออนุภาคเหล่านั้นปล่อยสู่บรรยากาศจะเกิดการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมนั้นได้ สารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางตรง เช่น จากการหายใจเอาอากาศที่มี PAHs ปนเปื้อนเข้าไป หรือการสัมผัสวัตถุที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง เช่น การสัมผัสดินที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ การกิน หรือการดื่มน้ำที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ เมื่อเข้าสู่ร่างกาย พบว่า สาร PAHs บางส่วนจะไม่ถูกเมตาโบไลต์ และถูกเนื้อเยื่อไขมันในส่วนต่างๆ ของร่างกายจับเอาไว้ และเนื่องจาก PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว (Nonpolar) จึงละลายได้ดีในน้ำมันและไขมัน ดังนั้นจึงสะสมในไขมันของร่างกายได้เป็นเวลานาน และถูกขับออกจากร่างกายได้ยากมาก นอกจากจะถูกเมตาโบไลต์และถูกทำลายโดยขบวนการทำลายสารพิษของร่างกาย สาร PAHs ในเนื้อเยื่อไขมันอาจไม่ทำให้เกิดพิษภัยต่อร่างกาย จนกว่าจะเข้าไปสู่เซลล์ แต่ PAHs นี้อาจสะสมได้ในชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยชั้นของฟอสโพลิปิด PAHs มีความเป็นพิษในระดับโมเลกุล ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolytic Anemia) และต้อกระจก (Cataract) ความผิดปกติทั้ง 2 อย่างนี้เกิดได้ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง สาร Benzo(a)pyrene เมื่อสัมผัสผ่านทางผิวหนัง หรือหายใจเอาอากาศที่มีสารเหล่านี้เข้าไปรับติดต่อกันเป็นระยะเวลานานหรือได้รับในปริมาณที่สูง จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของผู้ที่ได้รับ และมีโอกาสเกิดมะเร็งได้ ในที่สุด การเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศแบ่งเป็น 2 สถานะ ได้แก่ การใช้กระดาษกรองในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในอนุภาคฝุ่นละอองและการใช้วัสดุดูดซับสาร PAHs ที่อยู่ในสถานะก๊าซ และวิเคราะห์หาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่มีอยู่ในอากาศได้ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) ที่อาศัยหลักการแยกสารเคลื่อนที่ตามเฟสของของเหลว และตามค่าเฉพาะของการดูดกลืนแสงยูวีของสาร PAHs แต่ละชนิด และการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) โดยการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และใช้สมการคณิตศาสตร์ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งในกรณีที่เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic Risk) และไม่เป็นสารก่อมะเร็ง (Non-Carcinogenic Risk) โดยเด็กเล็กถูกจัดให้เป็นประชากรกลุ่มเสี่ยง (Vulnerable groups) ซึ่งเป็นกลุ่มที่

มีภูมิต้านทานต่ำและมีความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงและมีโอกาสได้รับสัมผัสสาร PAHs มากกว่าผู้ใหญ่ รวมถึงผู้ที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองมีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสาร PAHs มากกว่าผู้ที่อาศัยอยู่นอกเขตเมือง

2.9 กรอบแนวคิดงานวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถสร้างกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กรอบแนวคิดในการศึกษา

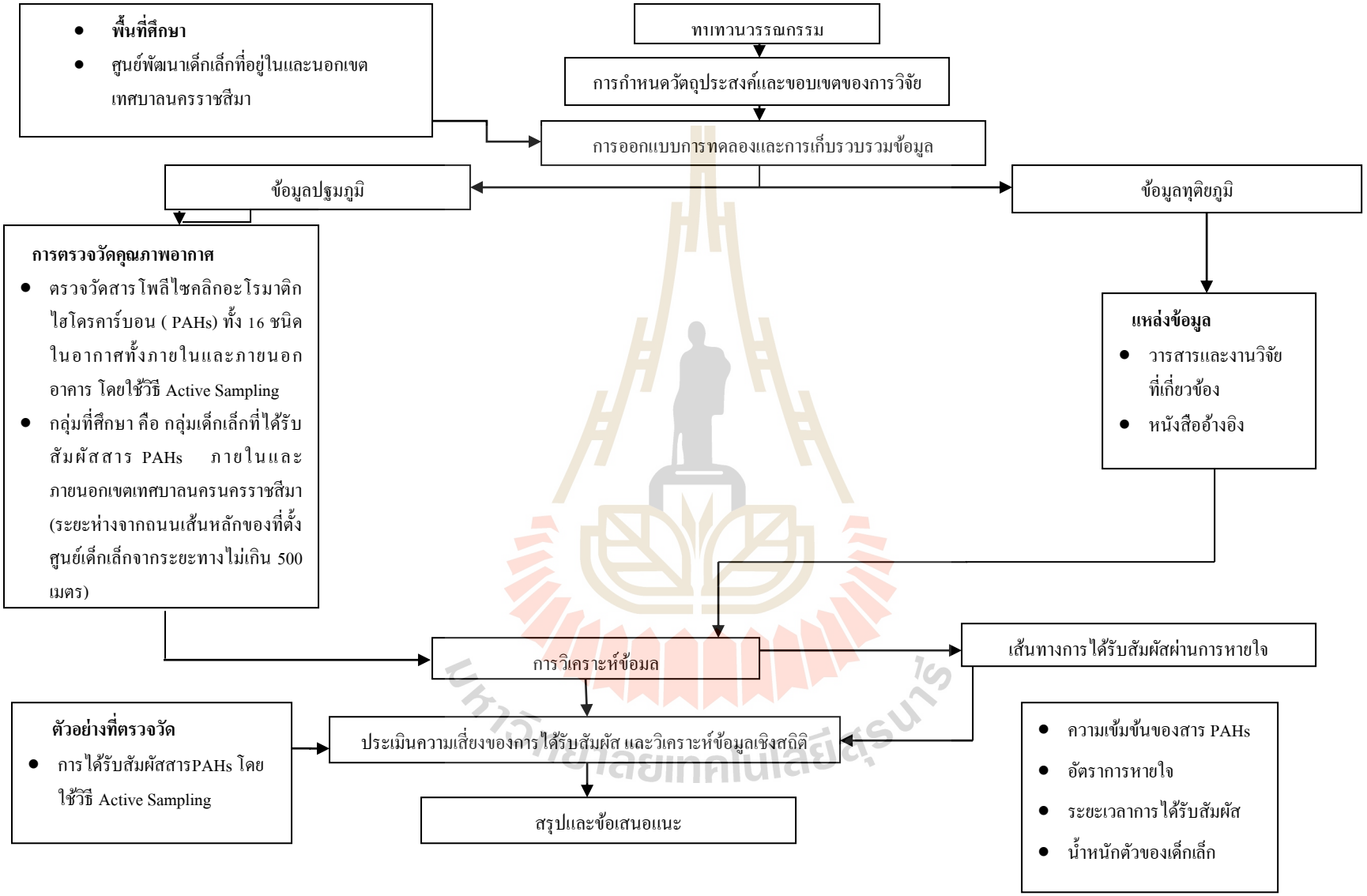
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็งได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a) pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene และทำการศึกษาระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กระหว่างพื้นที่ในเขตเทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 3.1 และมีหัวข้อการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การดำเนินการศึกษา

3.1.1 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมามีทั้งหมด 8 ศูนย์ เป็นศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในสังกัดสำนักงานการศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา การศึกษานี้ได้ทำการสำรวจทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมีนาคม 2558 ถึงเดือนตุลาคม 2558 โดยพิจารณาตามช่วงเวลาตามเวลาการเปิด-ปิดภาคการศึกษาของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในสังกัดสำนักงานการศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา และทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) จากการสำรวจเบื้องต้นศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในสังกัดสำนักงานการศึกษา เทศบาลนครนครราชสีมา โดยทั่วไปแล้ว ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 8 ศูนย์ มีลักษณะที่ตั้งห่างจากถนนเส้นหลักที่มีการจราจรต่อเนื่องตลอดเวลาเป็นระยะทางไม่เกิน 500 เมตร สภาพบรรยากาศทั่วไปมีผนังกำแพงกั้นเป็นแบบเปิดอากาศถ่ายเทได้ถึง มีจำนวนเจ้าหน้าที่ในการดูแลเด็กเล็ก 1 ถึง 5 คนที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร และมีจำนวนเด็กเล็กที่มีอายุอยู่ในช่วงไม่เกิน 5 ปี จำนวนตั้งแต่ 20 คนและไม่เกิน 109 คนต่อการดูแลของเจ้าหน้าที่ เด็กเล็กอยู่อาศัยภายในอาคารประมาณ 6 ชั่วโมง และชั่วโมงการทำกิจกรรมนอกอาคารประมาณ 2 ชั่วโมง โดยศูนย์เด็กเล็กทั้ง 8 ศูนย์มีข้อมูลดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการศึกษา

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	ชื่อศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	หัวหน้าศูนย์ (คน)	จำนวนผู้ดูแล (คน)	จำนวนเด็ก (คน)
1	ราชนิกูล	1	4	91
2	หนองไผ่ล้อม	1	2	55
3	สวนหม่อน	1	3	75
4	สามัคคีรถไฟ	1	3	20
5	ชลประทานสงเคราะห์	1	5	109
6	ท้าวสุระซอย 3	1	4	80
7	บ้านหลักร้อย	1	4	90
8	บ้านเกาะ	1	3	64

ที่มา: (เทศบาลนครนครราชสีมา, 2556)

3.1.2 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา มีทั้งหมด 32 ศูนย์ เป็นศูนย์เด็กเล็กในสังกัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมีนาคม 2558 ถึงเดือนตุลาคม 2558 โดยพิจารณาตามช่วงเวลาตามเวลาการเปิด-ปิดภาคการศึกษาของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) จากการสำรวจเบื้องต้นศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในสังกัดสำนักงานการศึกษา เทศบาลนครนครราชสีมา โดยทั่วไปศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 32 ศูนย์ มีลักษณะที่ตั้งห่างจากถนนเส้นหลักเป็นระยะทางไม่เกิน 500 เมตร และอยู่ในพื้นที่ที่มีการจราจรเบาบางกว่า สภาพบรรยากาศทั่วไปมีผนังกำแพงกั้นเป็นแบบเปิดอากาศถ่ายเทได้ถึง มีจำนวนเจ้าหน้าที่ในการดูแลเด็กเล็ก 1 ถึง 6 คนที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร และมีจำนวนเด็กเล็กที่มีอายุอยู่ในช่วงไม่เกิน 5 ปี จำนวนตั้งแต่ 20 คนและไม่เกิน 114 คนต่อการดูแลของเจ้าหน้าที่ ดังตารางที่ 3.3 เด็กเล็กอยู่อาศัยภายในอาคารประมาณ 6 ชั่วโมง และชั่วโมงการทำกิจกรรมนอกอาคารประมาณ 2 ชั่วโมง โดยศูนย์เด็กเล็กทั้ง 32 ศูนย์มีข้อมูลดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	ชื่อศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	หัวหน้าศูนย์	จำนวนผู้ดูแล	จำนวนเด็ก
1	อบต.จอหอ	1	3	114
2	หนองสองห้อง	1	4	130
3	บ้านพะไล	1	2	20
4	วัดทุ่งสว่าง	1	3	80
5	ทต.จอหอ	1	2	75
6	อบต.หมื่นไวย	1	2	39
7	อบต.มะเริง	1	2	36
8	ทต.โคกสูง	1	6	157
9	ร.ร.ทหารอากาศบำรุง	1	1	34
10	ทต.โพธิ์กลาง	1	2	57
11	ตำบลบ้านใหม่	1	1	55
12	อบต.พุดซา	1	1	39
13	อบต.โคกกรวด	1	2	64
14	อบต.หนองจะบก (บ้านต่างตา)	1	1	36
15	บ้านหนองจะบก (บ้านหนองปรู)	1	2	39
16	ตำบลสีมุม	1	3	87
17	ทุ่งกระโดน	1	3	47
18	พนมวัน	1	2	62
19	อบต.สุรนารี	1	2	94
20	อบต.ไชยมงคล	1	2	50
21	อบต.หนองศาลา	1	5	113
22	เคหะประชาสามัคคี	1	1	36
23	ทต.หนองไข่น้ำ	1	2	50
24	อบต.ปรุใหญ่	1	3	59
25	อบต.บัวใหญ่	1	2	41
26	อบต.ท้าวสุระซอย3	1	4	91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	หัวหน้าศูนย์	จำนวนผู้ดูแล	จำนวนเด็ก
30	อบต.หนองสาหร่าย	1	3	83
31	อบต. มะค่า	1	2	65
32	ทต.หนองน้ำแดง	1	2	60

ที่มา: (เทศบาลนครนครราชสีมา, 2556)

3.1.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

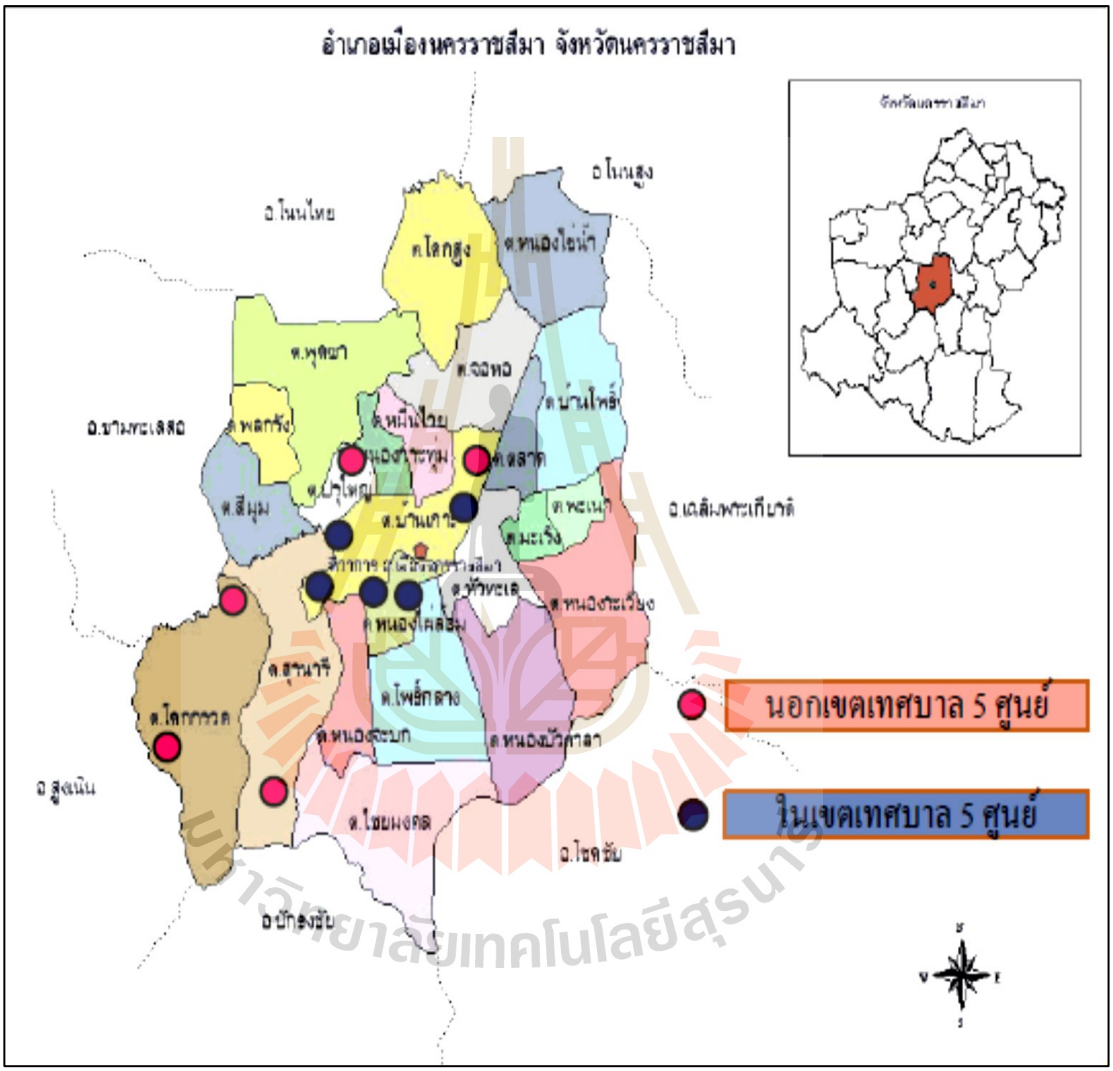
ในการศึกษานี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ได้แก่ ปริมาณสาร PAHs อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศภายในและภายนอกอาคาร และทำการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศทั้งในสภาวะก๊าซและอนุภาค และเก็บข้อมูลเปรียบเทียบทั้งในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครราชสีมา (พื้นที่ในเขตเมือง) และนอกเขตเทศบาลนครราชสีมา (พื้นที่นอกเขตเมือง) เพื่อหาระดับความแตกต่างของปริมาณสาร PAHs ใน 2 พื้นที่ และระดับความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs

3.14 การเลือกกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งในและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาจากศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งสิ้นจำนวน 40 ศูนย์แสดงดังนี้ (รูปที่ 3.2) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่างได้แก่ ศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 5 ศูนย์ และศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 5 ศูนย์ ตามเกณฑ์ในการเลือกกลุ่มตัวอย่างดังต่อไปนี้

- กลุ่มตัวอย่างที่ 1 คือ ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา โดยเกณฑ์พิจารณาเบื้องต้นจากสถานที่ตั้งศูนย์เด็กเล็กที่อยู่ในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ตั้งอยู่ห่างจากถนนสายหลักไม่เกิน 500 เมตร อยู่ในสภาพแวดล้อมปกติ ปราศจากกิจกรรมการเผาไหม้ใดๆ เช่น การเผาไหม้ขยะมูลฝอย และเป็นศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ยินยอมให้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ และทำการสุ่มตัวอย่างศูนย์เด็กเล็กอย่างง่าย (Sample Random Sampling) ซึ่งเป็นวิธีที่แต่ละศูนย์เด็กเล็กมีโอกาสถูกสุ่มมาเป็นกลุ่มตัวอย่างเท่าๆ กัน เป็นจำนวน 5 ได้แก่ 1) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม 2) สวนหม่อน 3) สามัคคีรถไฟ 4) ชลประทานสงเคราะห์ และ 5) ศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ
- กลุ่มตัวอย่างที่ 2 คือ ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา โดยเกณฑ์พิจารณาเบื้องต้นจากสถานที่ตั้งศูนย์เด็กเล็กที่อยู่ในพื้นที่ที่มีตำแหน่งที่ตั้งห่างไกลจากถนนสายหลักไม่เกิน 500 เมตร และห่างจากถนนเส้นหลักไม่เกิน 500 เมตร (Naser et al., 2008) เพื่อใช้เป็น

ข้อมูลในการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างที่ตั้งของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กจากถนนเส้นหลักที่มีระยะทางต่างกัน และอยู่ในสภาพแวดล้อมปกติ ปราศจากกิจกรรมการเผาไหม้ใดๆโดยการศึกษานี้ทำการสุ่มตัวอย่างศูนย์เด็กเล็กอย่างง่ายเป็นจำนวน 5 ศูนย์ ได้แก่ 1) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี 2) บ้านใหม่ 3) โคกกรวด 4) เคหะประชาสามัคคี และ 5) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กปรุใหญ่



รูปที่ 3.2 กลุ่มตัวอย่างศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเมืองนครราชสีมาทั้ง 10 ศูนย์

3.1.5 การประเมินสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

การศึกษาเป็นการประเมินสภาวะแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่อยู่ในสังกัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ที่มีที่ตั้งศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งภายในและภายนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา โดยทำการประเมินตามแบบประเมินมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กน่าอยู่ (กรมอนามัย, 2552)

โดยแบบประเมินแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับพื้นฐาน ดี และดีมาก หัวข้อการประเมินประกอบด้วย 5 ด้านคือ ด้านการส่งเสริมสุขภาพ ด้านการพัฒนาเด็ก ด้านด้านบริการอาหารสะอาดปลอดภัย ด้านสิ่งแวดล้อมสะอาดและปลอดภัย และด้านการมีส่วนร่วมของผู้ปกครอง ชุมชนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบบประเมินทั้งหมดมี 27 ข้อ รายละเอียดคือภาคผนวก (ก) โดยการศึกษานี้ทำการประเมินเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อมสะอาดและปลอดภัย ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมสะอาดและความปลอดภัยมี 9 ข้อดังนี้

1. บริเวณศูนย์เด็กเล็กมีสภาพแวดล้อมภายในภายนอกอาคารสะอาดและปลอดภัย
2. ห้องน้ำ ห้องส้วม สะอาดถูกสุขลักษณะ
3. พื้นที่ใช้สอยจัดเป็นสัดส่วน และเพียงพอ
4. เครื่องใช้สำหรับเด็ก สะอาด และเพียงพอ
5. ตัวอาคารมั่นคง แข็งแรงและปลอดภัย
6. มีการจัดการขยะถูกสุขลักษณะ
7. มีแสงสว่างและการระบายอากาศเพียงพอ
8. มีการป้องกันแมลงและพาหะนำโรค
9. มีมาตรการความปลอดภัย

เกณฑ์ในการประเมินแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับพื้นฐาน ดี และดีมาก ซึ่งคิดจากทั้งหมด 9 ข้อ ที่เกี่ยวข้องกับด้านสิ่งแวดล้อมสะอาดและปลอดภัยในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การประเมินศูนย์เด็กเล็กน่าอยู่ด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย

เกณฑ์การประเมิน	**จำนวนข้อที่ต้องผ่านการประเมิน (ข้อ)**
ระดับดีมาก	8-9
ระดับดี	4-7
ระดับพื้นฐาน	ไม่ต่ำกว่า 3 ข้อ

ปรับปรุงมาจาก: (กรมอนามัย, 2552)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

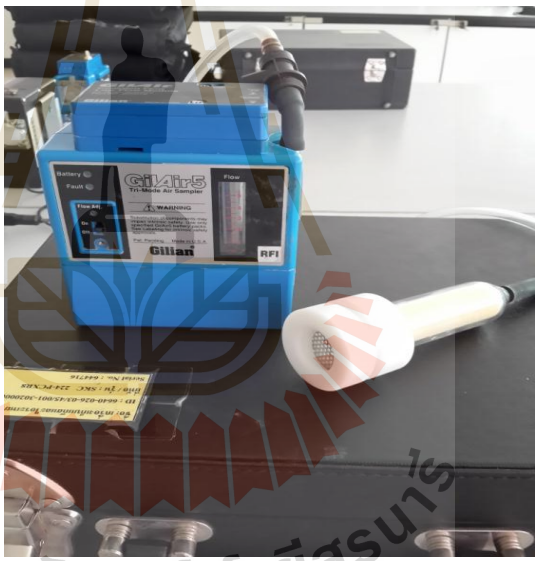
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศทั้งในรูปแบบก๊าซและฝุ่นละออง มีวัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างตามวิธีการมาตรฐาน Method TO13A (US EPA, 1999) สารเคมีในการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างตามวิธีการมาตรฐาน Method 3620B (US EPA, 1996) และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs Method 8270C (US EPA, 1996) มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 วัสดุ อุปกรณ์เก็บอนุภาค

กระดาษกรอง Quartz Filter เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 mm. ใช้เป็นตัวเก็บอนุภาคฝุ่นละออง

3.2.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอากาศ และที่ติดกับตัวบุคคลยี่ห้อ AIRCHEK SAMPLER รุ่น Model 224-PCXR4 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศ แบบ Active Sampler

3.2.3 วัสดุ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซ

1) หลอดแก้วสำหรับบรรจุ Poly urethane foam (PUFs) ซึ่งเป็นหลอดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และยาว 75 มิลลิเมตร

2) Polyurethane Foam (PUF) มีความหนาแน่น 0.020-0.021 g/cm^3

3.2.4 สารเคมี และ สารละลายมาตรฐาน PAHs

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1) ตัวทำละลาย Methylene Chloride และตัวทำละลาย Acetone เพื่อเป็นตัวทำละลาย PAHs จากตัวอย่างที่เก็บและล้างอุปกรณ์

2) สารละลายมาตรฐาน Mixed PAHs 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene,Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene

3.2.5 อุปกรณ์อื่นๆ

1) เครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AX105RD

2) Micro syringe ขนาด 20 ไมโครลิตร

3) Soxhlet Extractor ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น SE-416 แสดงดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่อง Soxhlet Extractor

4) GC-MS (Gas Chromatography/Mass Spectrophotometer) ใช้ในการวิเคราะห์สารPAHs ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนของเครื่อง GC (Gas Chromatography) และส่วนของเครื่อง Mass Spectrometer ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เครื่อง GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectrometer) (2010SE, Shimadzu)

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร PAHs ในเด็กเล็กที่มีอายุไม่เกิน 5 ปี ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมาจำนวน 10 ศูนย์ โดยมีการเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs ระหว่างบรรยากาศภายในและภายนอกอาคารทั้งในสภาวะก๊าซและอนุภาค ในพื้นที่เขตเทศบาลนครราชสีมา และพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครราชสีมา มีวิธีดำเนินการศึกษา ดังนี้

3.3.1 พื้นที่ในการศึกษาของงานวิจัยนี้ คือ ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมาจำนวน 5 ศูนย์จากทั้งหมด 8 ศูนย์ และศูนย์เด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครราชสีมา 5 ศูนย์จากทั้งหมด 32 ศูนย์ที่ผ่านเกณฑ์การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

3.3.2 ทำการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศ ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene,Chrysene,Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene โดยใช้วิธี Active Sampling ใช้กระดาษกรอง Quartz Filter เพื่อเก็บตัวอย่างอนุภาค และใช้ Polyurethane Foam (PUF) บรรจุในหลอดแก้วต่อเข้ากับปั๊มดูดอากาศเพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซ และนำไปตั้งไว้ภายในห้องที่มีการทำกิจกรรมของเด็กเล็ก (ชั่วโมงการเรียนของเด็กเล็ก) เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดยกำหนดจุดเก็บ

ตัวอย่างคือ สูงเหนือพื้นดินไม่เกิน 1.50 เมตร ระยะห่างจากประตูหรือผนังห้องเรียน ไม่เกิน 2.0 เมตร (Titcombe and Simcik, 2008) เพื่อหาระดับความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ภายในอาคาร และตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณสนามเด็กเล่นเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างคือ สูงเหนือพื้นดินไม่ต่ำกว่า 1.20 เมตร ระยะห่างจากอาคารห้องเรียน 5-6 เมตร (Pendit et al., 2008) เพื่อทำการหาระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ภายนอกอาคาร

3.3.3 นำหลอด PUFs ที่ได้หลังจากเก็บตัวอย่างไปเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 4°C นำกระดาษกรองและ Polyurethane Foam ไปสกัดด้วย Methylene Chloride โดยเครื่องมือ Soxhlet Extractor และนำสารตัวอย่างที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ PAHs โดยใช้เครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) โดยการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ตามวิธีมาตรฐานของ TO-13A Method (US EPA, 1999)

3.3.4 ทำการประเมินการได้รับสัมผัสสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ผ่านทางการหายใจ และทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ของกลุ่มเด็กเล็ก

3.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

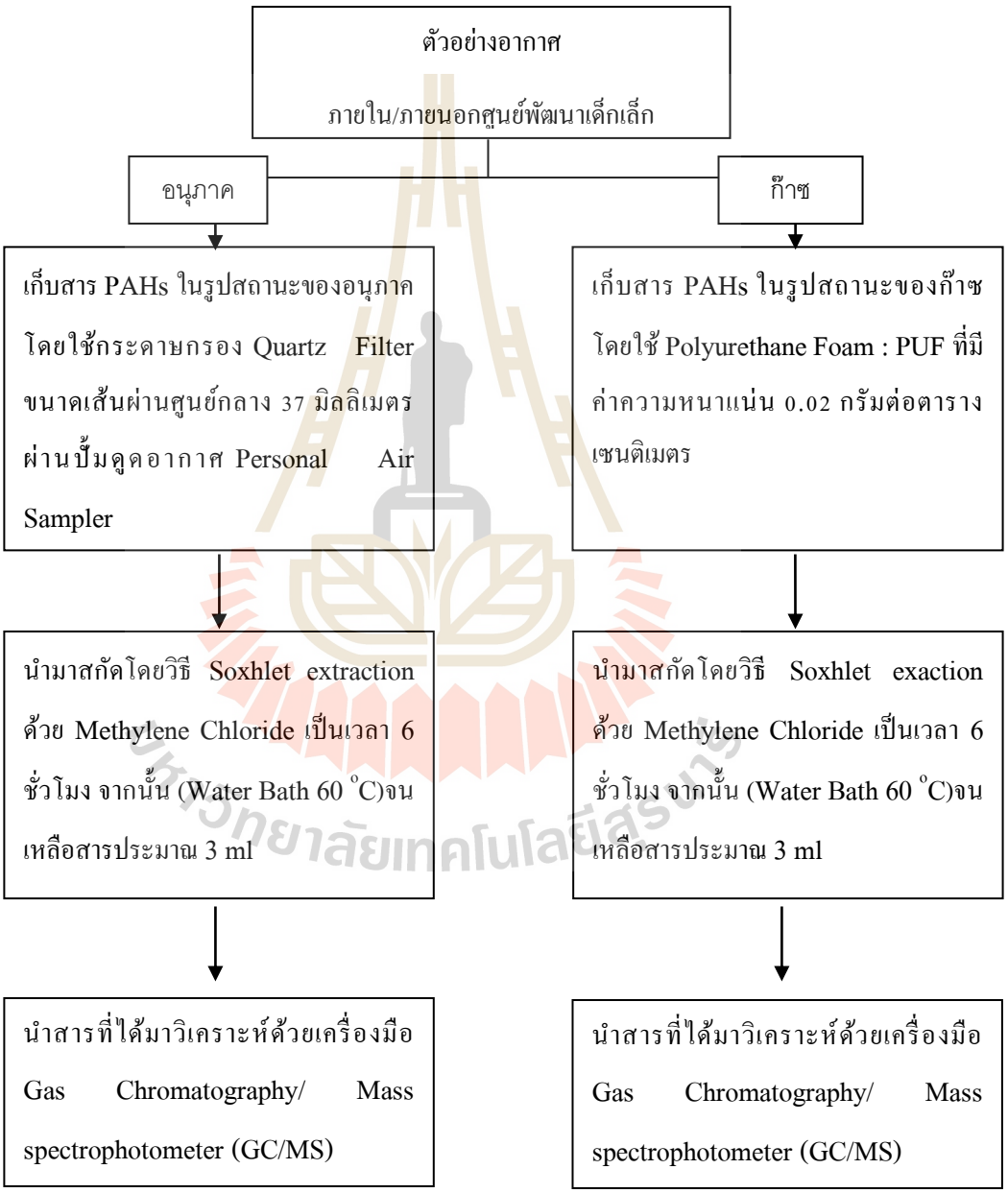
การเก็บและการวิเคราะห์สาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ในอากาศทั้งที่อยู่ในรูปสถานะของอนุภาคและก๊าซ มีวัสดุอุปกรณ์และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 3.6

3.4.1 การเตรียม Polyuretane Foam และ กระดาษกรองเพื่อเก็บตัวอย่าง

การทำความสะอาด Polyuretane Foam โดยการสกัดด้วย Methylene Chloride เป็นตัวทำความสะอาดโดยวิธี Soxhlet Extraction เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำ Polyuretane foam ไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนแห้งแล้วถึงจะนำมาบรรจุลงในหลอด PUFs และนำกระดาษกรอง (Quartz Filter) ไปอบที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อขจัดสารปนเปื้อนออกให้หมดจากนั้นเก็บในขวดแก้วสีน้ำตาล ปรับอัตราการดูดอากาศของปั๊ม (Pump) โดยการเทียบปรับกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในแต่ละวันให้มีอัตราการดูดอากาศของปั๊ม (Pump) ที่ 2 ลิตรต่อนาที ที่สภาวะมาตรฐาน ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง (Quartz Filter) แล้วประกอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง เปิดปั๊ม (Pump) ดูดอากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมงจากนั้นนำกระดาษกรองที่ได้ไปชั่งหาน้ำหนักของ และเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาลและเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C นำหลอด PUFs ที่ได้หลังจากเก็บตัวอย่างก๊าซที่ฉีดสารละลายมาตรฐาน (Mixed 16 PAHs standard) ไปเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C นำกระดาษกรองและ Polyurethane Foam ไปสกัดด้วย Methylene Chloride โดยวิธี Soxhlet Extraction จำนวน 6 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้ไประเหยด้วย Water Bath 60°C จนเหลือปริมาตรประมาณ 2-3 มิลลิลิตร (ml) (Hwantahla, 2007) และนำสารไปวิเคราะห์หาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยใช้

เครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) โดยการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (Method TO-13A)

การวิเคราะห์หาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยใช้เครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) หาความเข้มข้นของสารตัวอย่างเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน กำหนดให้มีสภาวะของเครื่อง GC/MS ดังแสดงในภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเก็บและวิเคราะห์สาร PAHs ในอากาศทั้งในรูปของอนุภาคและก๊าซ

ตารางที่ 3.4 สภาวะของการวิเคราะห์ PAHs โดยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS)

Column	**PE–5MS (30 m x 0.32 mm, 1.0 µm film thickness)**
Injection Temp	250
Carrier Gas	He
Oven Temp	เริ่มต้น 50°C คงที่เป็นเวลา 10 นาที เพิ่มอุณหภูมิ 15°C /นาที จนถึงอุณหภูมิ 130°C คงที่เป็นเวลา 10 นาที เพิ่มอุณหภูมิ 6°C/นาที จนถึงอุณหภูมิ 235°C คงที่เป็นเวลา 10 นาที เพิ่มอุณหภูมิ 3°C/นาที จนถึงอุณหภูมิ 280°C คงที่เป็นเวลา 2.17 นาที
Injection Volume	2 ไมโครลิตร
Detector	Mass Spectrophotometer (MS)

ที่มา: (Hwantahla, 2007)

3.4.2 การคำนวณความเข้มข้นของ PAHs

ความเข้มข้นของ PAHs หาได้จากการใช้เทคนิค External Standard ทำได้โดยฉีดสารละลาย มาตรฐาน (Pure Standard) ที่มีปริมาณต่างๆ เข้าไปใน GC/MS เมื่อได้ Chromatogram จะทำให้ทราบถึงพื้นที่ใต้กราฟ นำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ไปเขียนกราฟเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐาน หรือเทียบกับปริมาตรของสารมาตรฐาน จะได้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรง โดยคำนวณจาก Response Factor และ Peak Response ใช้ Calibration Curve เป็นตัวเปรียบเทียบหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างเมื่อเราทราบปริมาตรหลังจากผ่านกระบวนการ Evaporation แล้วสามารถหาปริมาณของสาร PAHs ได้ โดยวิธีการคำนวณความเข้มข้นของสาร PAHs ในหน่วยมวลต่อปริมาตรสามารถคำนวณตามวิธีการมาตรฐาน Method TO-13A ได้ดังนี้ สมการที่ 3.1 (US EPA, 1999)

$$C_i = \frac{A_x I_s V_t D_f}{V_i} \qquad (3.1)$$

เมื่อ C_i คือ ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศ (ng/m^3)

A_x คือ พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง (จำนวนนับ)

I_s คือ ปริมาณของ Internal Standard (นาโนกรัม/ไมโครลิตร)

V_i คือ ปริมาตรอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)

V_t คือ ปริมาตรสารละลายตัวอย่าง (ไมโครลิตร)

D_f คือ อัตราส่วนการเจือจาง (ไม่มีการเจือจางให้เป็น 1)

3.4.3 การควบคุมคุณภาพ/ประกันคุณภาพ (Quality Control/ Quality Assurance)

การประกันและการควบคุมคุณภาพในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ที่อยู่ในอากาศ เครื่องมือเก็บตัวอย่าง ทำการสอบเทียบปั๊มดูดอากาศที่อัตราการไหล 2.0 ลิตรต่อนาที ด้วยอุปกณ์สอบเทียบอัตราการดูดอากาศของ (Personal Pump) โดย (Pump Calibrators)

การประกันและการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างอากาศ ด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) ทำได้โดยการเทียบแบลงค์กับร้อยละของการคืนกลับของสารลายมาตรฐาน (Standard Recovery) ได้จากการฉีดสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้วให้เครื่อง GC/MS วิเคราะห์ค่า Detection Limit ใช้สารมาตรฐาน PAHs ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน เป็นสารสอบเทียบและควบคุมการวิเคราะห์สาร PAHs ในอากาศทั้งที่ผ่านกระดาษกรองและตัวดูดซับ และวิเคราะห์ 2 ซ้ำ (Duplicate) ของตัวอย่างสารละลายมาตรฐาน 10 ตัวอย่างในเวลาเดียวกัน โดยค่าที่วิเคราะห์ได้จะต้องมีสัมประสิทธิ์ความผันแปร (The Variation Coefficient of PAHs) ของการวิเคราะห์ทั้ง 2 ซ้ำแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 (Wang et al., 2013) สภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง GC/MS การตรวจสอบค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) และกราฟมาตรฐานของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดแสดงดังภาคผนวก ค.

3.4.4 จำนวนตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศ

การศึกษาปริมาณสาร PAHs ในอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่อยู่ภายในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา 5 แห่ง (ห่างจากถนนเส้นหลักที่มีการจราจรหนาแน่นต่อเนื่องตลอดเวลาเป็นระยะทางไม่เกิน 500 เมตร) และศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่อยู่นอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมาอีก 5 แห่งด้วยกัน (ห่างจากถนนเส้นหลักไม่ไม่เกิน 500 เมตร) เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยด้านระยะทางที่มีผลต่อการรับสัมผัสสาร PAHs โดยจะทำการเก็บตัวอย่างอากาศทั้ง Indoor/Outdoor ของทุกศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก โดยในแต่ละศูนย์เด็กเล็กทำการเก็บตัวอย่าง 1 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างอากาศในวันจันทร์ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร เก็บตัวอย่างทั้ง 2 สถานะ (สถานก๊าซและอนุภาค) ดังนั้นในแต่ละศูนย์เด็กเล็กจะมีจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บตัวอย่างอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่อยู่ภายในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา 5 แห่งรวมเป็น 20 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

ที่อยู่ภายนอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา 5 แห่งรวมเป็น 20 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างในการศึกษานี้ทั้งสิ้น 40 ตัวอย่าง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.5 โดยมีช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง (Dry Season) และนำตัวอย่างอากาศ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปสกัดตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในอากาศด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) ต่อไป

ตารางที่ 3.5 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

สถานที่เก็บตัวอย่าง	การตรวจวัด	เดือน/ปี เก็บตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง
ในเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา			
ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็กหนองไผ่ล้อม	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็กสามัคคีรถไฟ	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็กสวนหม่อน	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
รวมจำนวนตัวอย่าง			20
นอกเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา			
ศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็ก อบต. หนองปรู	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็ก อบต. โคกกรวด	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
ศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านใหม่	Indoor/Outdoor air	พ.ค. 60	4
รวมจำนวนตัวอย่าง			20

3.4.5 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การศึกษานี้จะประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยการรับสัมผัสสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ (Inhalation)ในกลุ่มเด็กเล็กที่มีอายุไม่เกิน

5 ปี ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา และนอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา โดยมีการประเมินความเสี่ยงดังนี้

1) การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ ในการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งนั้นเกิดได้ตลอดอายุขัยของผู้สัมผัส โดยปกติจะคิดเป็น 70 ปี โดยวิเคราะห์ผลจากสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณสำหรับประเมินการรับสัมผัสกรณีที่เป็นสารก่อมะเร็งตามสมการดังนี้ (US.EPA, 1997) สมการที่ 3.2

$$\text{Cancer Risk} = \{[C \times CR \times ED \times F]/[BW \times LT]\} \times \text{Slope Factor} \qquad (3.2)$$

กำหนดให้

C คือ ปริมาณสารเคมี (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

CR คือ อัตราการหายใจรับสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

ED คือ ระยะเวลาการรับสัมผัส (ปี)

F คือ ความถี่ของการรับสัมผัสสารเคมี (วันต่อปี)

BW คือ น้ำหนักตัวเฉลี่ยของเด็กเล็กในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (กิโลกรัม)

LT คือ ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาการรับสัมผัสสารเคมี (2 ปี x 220 วันต่อปี หรือ 440 วัน)

Slope Factor ของสาร Benzo(a)pyrene ผ่านทางการหายใจเท่ากับ 1.39×10^{-6} $(ng/kg/day)^{-1}$

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene ผ่านทางการหายใจซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ Cancer Risk (Hongmei et al., 2013) โดยสมมติกำหนดค่า C = 1.135 ng/m^3

$$\text{Cancer Risk} = \frac{\{(1.135\ ng/m^3)(17\ m^3/day)(2\ year)(220\ day/365)\} \times (1.39)}{(15kg)(2 \times 365\ day)(\ ng/kg/day)(10^6)}$$

$$\text{Cancer Risk} = 1.08 \times 10^{-6}$$

พิจารณาความเสี่ยงจากข้อมูลที่ได้จากการประเมินทั้งหมด โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาความเสี่ยงและดัชนีความเสี่ยง คือ กรณีสารก่อมะเร็ง ความเสี่ยงระหว่าง $1x10^{-6}$ ถึง $1x10^{-4}$ เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ หากความเสี่ยงมีค่ามากกว่า $1x10^{-6}$ ถือว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งไม่สามารถยอมรับได้

การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs จากค่าการใช้ค่า TEF : Toxic Equivalency Factor ที่ใช้เป็นค่าประมาณการศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ตามการประเมินการได้รับสัมผัสโดยทำการวิเคราะห์ผลใช้สมการคณิตศาสตร์ แสดงดังสมการที่ 3.3 ในการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

$$\sum\{BaP\}eq = \sum(C_i \times TEF_i) \quad (3.3)$$

เมื่อ Ci คือ ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศแต่ละชนิด (mg/m^3)

TEF_i คือ ค่าศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของสาร PAHs แต่ละชนิด

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene ในอากาศที่เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ $\sum\{BaP\}eq$ (Hongmei et al., 2013) โดยกำหนดค่า $C = 1.135\ ng/m^3$

$$\sum\{BaP\}eq = (1.135\ ng/m^3) \times (1)_{TEF\ of\ Benzo(a)pyrene}$$
$$\sum\{BaP\}eq = 1.135\ ng/m^3$$

การประเมินการได้รับสัมผัสสาร PAHs แต่ละชนิดเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการหายใจโดยทำการวิเคราะห์ผลใช้สมการคณิตศาสตร์ดังนี้ สมการที่ 3.4

$$\text{Inhalation Cancer Risk} = \sum\{BaP\}eq \times UR\{BaP\} \quad (3.4)$$

เมื่อ UR{BaP}คือ Unit Risk ของสาร Benzo(a)pyrene ต่อการเกิดมะเร็งผ่านทางการหายใจมีค่าเท่ากับ 1.1×10^{-6} (USEPA, 1999)

ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene ผ่านทางการหายใจซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ Inhalation Cancer Risk

$$\text{Inhalation Cancer Risk} = (1.135\ ng/m^3) \times (1.1 \times 10^{-6}\ (ng/m^3)^{-1})$$
$$\text{Inhalation Cancer Risk} = 1.25 \times 10^{-6}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตัวอย่างการคำนวณค่า (Inhalation Cancer Risk) เท่ากับ 1.25 x 10^{-6} ซึ่งมีค่ามากกว่า 1x10^{-6} ถือว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ไม่สามารถยอมรับได้

การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs จากค่าการใช้ค่า TEF : Toxic Equivalency Factor ที่ใช้เป็นค่าประมาณการศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง โดยจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลักสาร PAHs ได้แก่ กลุ่มที่ก่อให้เกิดมะเร็งจะกำหนดให้ค่า TEF เท่ากับ 1 คือสาร Benzo(a)pyrene และ Dibenzo(a,h)anthracene (US.EPA, 1998) และสารชนิดอื่นในกลุ่ม PAHs ที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งจะกำหนดให้ค่า TEF ของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่า Toxic Equivalency Factor ที่ใช้ประมาณการศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

ชนิด PAHs	ค่า TEF (ng/m^3)
Benzo(a)pyrene	1
Acenaphthene	0.001
Anthracene	0.01
Benzo(a)anthracene	0.1
Benzo(b)fluoranthene	0.1
Benzo(k)fluoranthene	0.1
Benzo(e)pyrene	0.1
Benzo(g,h,i)perylene	0.01
Chrysene	0.01
Dibenzo(a,h)anthracene	1
Fluoranthene	0.001
Fluorene	0.001
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	0.1
Naphthalene	0.001
Phenantharene	0.001
Pyrene	0.001

ที่มา : (US.EPA, 1998)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene ที่อยู่ในอากาศทั้งที่อยู่ในรูปของก๊าซและฝุ่นละออง ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าความถี่ (Frequency) ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ใช้สถิติเชิงอนุมาน Independent-test และใช้สถิติ t-test ในการทดสอบความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของ PAHs เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัส PAHs ระหว่างกลุ่มข้อมูลพื้นที่ในเขตเทศบาลและพื้นที่นอกเขตเทศบาลที่ตรวจวัดได้ในทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (SPSS)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาปริมาณการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดของในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ตั้งอยู่ในเขตเมืองนครราชสีมา โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ศึกษาสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่เขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่เขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเขตเมืองนครราชสีมา ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

การศึกษาสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กใช้แบบสอบถามในการศึกษาข้อมูลด้านสภาวะสิ่งแวดล้อมโดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์เด็กเล็ก ตอนที่ 2 สิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็ก และตอนที่ 3 แบบประเมินศูนย์เด็กเล็กด้านสิ่งแวดล้อม มีผลการสำรวจดังต่อไปนี้

4.1.1 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์เด็กเล็ก

1. ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล

ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งหมด 5 ศูนย์ ได้แก่ 1) ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ 2) สามัคคีรถไฟ 3) หนองไผ่ล้อม 4) สวนหม่อน และ 5) ศูนย์เด็กเล็ก อบต.บ้านเกาะ เด็กเล็กมีอายุตั้งแต่ 3-5 ปี มีจำนวนเด็กเท่ากับ 90 38 48 128 และ 56 คนตามลำดับ มีจำนวนบุคลากรในการดูแลเด็กเล็ก 6 2 3 8 และ 4 คนตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยจากการสำรวจพบว่าทุกศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคยได้รับการประเมินมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กจากสำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (สมศ.) ผ่านเกณฑ์การประเมินจัดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ยกเว้นศูนย์เด็กเล็กสวนหม่อนที่ได้รับการประเมินมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กจัดอยู่ในเกณฑ์ดีเนื่องจากมีจำนวนเด็กมากถึง 128 คนแต่พื้นที่เล่นกลางแจ้งมีจำกัดเฉลี่ยไม่ถึง 2 ตารางเมตรต่อคนในขณะที่ศูนย์เด็กเล็กอื่นๆ มีพื้นที่ใกล้เคียงกันแต่มีจำนวนเด็กเล็กน้อยกว่าทำให้พื้นที่เล่นกลางแจ้งเฉลี่ยเพียงพอกับเด็กเล็กได้มากกว่าจึงผ่านเกณฑ์การประเมินอยู่ในระดับที่กว่าศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน

2. ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งหมด 5 ศูนย์ ได้แก่ 1) ศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี 2) อบต. ปรุใหญ่ 3) อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ 4) อบต. บ้านใหม่ และ 5) เคหะประชาสามัคคี อายุเด็กเล็กตั้งแต่ 3-5 ขวบ มีจำนวนเด็กเท่ากับ 85 38 98 106 และ 110 คนตามลำดับ มีจำนวนบุคลากรในการดูแลเด็กเล็ก 8 4 7 5 และ 7 คนตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยจากการสำรวจพบว่าศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ และเคหะประชาสามัคคีเคยได้รับการประเมินมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กจากสำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (สมศ.) ผ่านเกณฑ์การประเมินจัดอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นศูนย์เด็กเล็ก อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ และ อบต. บ้านใหม่ ที่ได้รับการประเมินมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กน่าอยู่จากกรมอนามัยซึ่งผ่านเกณฑ์การประเมินจัดอยู่ในเกณฑ์ดีและดีมาก ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล

ศูนย์เด็กเล็ก	จำนวนเด็กเล็ก	จำนวนบุคลากร	เคยผ่านการรับรองมาตรฐาน
ชลประทานสงเคราะห์	90	6	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดีมาก
สามัคคีรถไฟ	38	2	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดีมาก
หนองไผ่ล้อม	48	3	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดีมาก
สวนหม่อน	128	8	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดี
อบต. บ้านเกาะ	56	4	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดีมาก

หมายเหตุ สมศ. คือ สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

ศูนย์เด็กเล็ก	จำนวนเด็กเล็ก	จำนวนบุคลากร	เคยผ่านการรับรองมาตรฐาน
อบต. สุรนารี	85	8	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดี
อบต. ปรุใหญ่	38	4	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดี
อบต. โคกกรวด	98	7	เคยผ่านการรับรอง จาก : กรมอนามัย เกณฑ์ : ดี
อบต. บ้านใหม่	106	5	เคยผ่านการรับรอง จาก : กรมอนามัย. เกณฑ์ : ดีมาก
เคหะประชาสามัคคี	110	7	เคยผ่านการรับรอง จาก : สมศ. เกณฑ์ : ดี

หมายเหตุ สมศ. คือ สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา

4.1.2 สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็ก

1. สิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาล

ผลการศึกษาสิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ พิจารณาตามเกณฑ์การสำรวจทั้ง 10 ข้อดังต่อไปนี้

ข้อที่ 1 พื้นที่เผาไหม้รอบบริเวณศูนย์เด็กเล็ก พบว่าศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีกิจกรรมการไหม้ใดๆ เช่น การเผาไหม้ขยะมูลฝอยจากชุมชน

ข้อที่ 2 กิจกรรมการสูบบุหรี่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก พบว่าไม่มีบุคลากรภายในศูนย์เด็กเล็กทั้งหมดสูบบุหรี่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการสำรวจพบว่าบุคลากรส่วนใหญ่ที่ดูแลเด็กเล็กเป็นหญิงจึงไม่มีการสูบบุหรี่ภายในศูนย์เด็กเล็ก

ข้อที่ 3 สถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัว พบว่าศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ไม่มีการปรุงประกอบอาหารภายในศูนย์เด็กเล็ก เนื่องจาก อาหารที่ให้เด็กเล็กรับประทานนั้นทางศูนย์เด็กเล็กได้เหมาจ่ายสั่งอาหารจากภายนอกทั้งหมด

ข้อที่ 4 สภาพการจราจรบริเวณศูนย์เด็กเล็ก พบว่า ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์มีสภาพการจราจรที่หนาแน่นเนื่องมาจากมีปริมาณยานพาหนะมากกว่า 2,000 คันต่อ 6 ชั่วโมง (กรมทางหลวง, 2554)

ข้อที่ 5 ระยะห่างของศูนย์เด็กเล็กจากถนนเส้นหลัก พบว่า ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟ หนองไผ่ล้อม สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ เท่ากับ 400 400 460 480 และ 500 เมตร ตามลำดับ ซึ่งการที่ศูนย์เด็กเล็กตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีตำแหน่งที่ตั้งห่างไกลจากถนน สืบศิริ ถนนโพธิ์กลาง ถนนโพธิ์กลาง ถนนกีฬากลาง และ ถนนสุรนารายณ์ ตามลำดับไม่เกิน 500 เมตร

ข้อที่ 6 การระบายอากาศในศูนย์เด็กเล็ก พบว่า ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟ สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ มีการใช้เครื่องปรับอากาศภายในศูนย์เด็กเล็ก ยกเว้นศูนย์เด็กเล็กสวนหม่อนเป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติไม่มีเครื่องปรับอากาศภายในห้องเรียน

ข้อที่ 7 ระยะเวลาการอยู่อาศัยของเด็กเล็กภายในศูนย์เด็กเล็ก พบว่า เด็กเล็กอาศัยอยู่ในศูนย์เด็กเล็กเป็นเวลาทั้งหมด 6 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มเข้าเรียน 9.00 น.จนถึง เวลาเลิกเรียน 15.00 น.

ข้อที่ 8 น้ำหนักตัวของเด็กเล็ก จากข้อมูลทุติยภูมิสถิตินำ้หนักตัวเฉลี่ยของเด็กชายต่อน้ำหนักตัวเฉลี่ยของเด็กหญิงของศูนย์เด็กเล็ก ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟ หนองไผ่ล้อม สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ เท่ากับ 15.0:14.1 15.6:14.4 16.1:14.6 15.5:14.22 และ 15.4:14.0 กิโลกรัม

ข้อที่ 9 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างผู้วิจัยได้ตรวจวัดอุณหภูมิของศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟ หนองไผ่ล้อม สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ มีค่าเท่ากับ 31.0 29.7 30.0 30.5 และ 28.3 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ร้อยละ 48 54 69 59 และ 67 ซึ่งมีสภาพอากาศปกติไม่มีฝนตก

ข้อที่ 10 ทิศทางลม ได้จากฐานข้อมูลออนไลน์กรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนครราชสีมา ขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ พบว่าศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ และหนองไผ่ล้อม ลมทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) สามัคคีรถไฟ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) สวนหม่อน ลมทิศใต้ (S) และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) สภาวะแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลแสดงดังตารางที่ 4.3 และภาพของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลแสดงดังภาพผนวก จ.1

ตารางที่ 4.3 สิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล

เกณฑ์การพิจารณา	**ชลประทานสงเคราะห์**	**สามัคคีรถไฟ**	**หนองไผ่ล้อม**	**สวนหม่อน**	**อบต. บ้านเกาะ**
1.มีเขตพื้นที่การเผาไหม้อยู่รอบบริเวณศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2. มีกิจกรรมการเผาไหม้การสูบบุหรี่	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3.สถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัว	สั่งอาหารจากภายนอก	สั่งอาหารจากภายนอก	สั่งอาหารจากภายนอก	สั่งอาหารจากภายนอก	สั่งอาหารจากภายนอก
4.สภาพการจราจรบริเวณศูนย์เด็กเล็ก	หนาแน่น	หนาแน่น	หนาแน่น	หนาแน่น	หนาแน่น
5. ระยะห่างของศูนย์เด็กเล็กจากถนนเส้นหลัก	400 ถนน สืบศิริ	400 ถนน โพธิ์กลาง	460 ถนน โพธิ์กลาง	480 ถนน กีฬากลาง	500 ถนน สุร-นารายณ์
6. การระบายอากาศในศูนย์เด็กเล็ก	เครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศ	ธรรมชาติ	เครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศ
7. ระยะเวลาการอยู่อาศัยของเด็กเล็ก	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
8. น้ำหนักตัวเฉลี่ยชายและหญิง	ชาย : 15.0 หญิง : 14.1	ชาย : 15.6 หญิง : 14.4	ชาย : 16.1 หญิง : 14.6	ชาย : 15.5 หญิง : 14.2	ชาย : 15.4 หญิง : 14.0
9. อุณหภูมิ ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ %	31.0 48	29.7 54	30.0 60	30.5 50	28.3 67
10. ทิศทางลม	SE	NE	SE	S	SW

หมายเหตุ ข้อที่ 9 ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. สิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

ผลการศึกษาสิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ พิจารณาตามเกณฑ์การสำรวจทั้ง 10 ข้อดังต่อไปนี้

ข้อที่ 1 พื้นที่เผาไหม้รอบบริเวณศูนย์เด็กเล็ก พบว่าศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีกิจกรรมการไหม้ใดๆ เช่น การเผาไหม้ขยะมูลฝอยจากชุมชน

ข้อที่ 2 กิจกรรมการสูบบุหรี่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก พบว่าบุคลากรภายในศูนย์เด็กเล็กทั้งหมดไม่สูบบุหรี่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการสำรวจพบว่าบุคลากรส่วนใหญ่ที่ดูแลเด็กเล็กเป็นหญิงจึงไม่มีการสูบบุหรี่ภายในศูนย์เด็กเล็ก

ข้อที่ 3 สถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัว พบว่าศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ไม่มีการปรุงประกอบอาหารภายในศูนย์เด็กเล็ก เนื่องจาก อาหารที่ให้เด็กเล็กรับประทานนั้นทางศูนย์เด็กเล็กได้เหมาจ่ายสั่งอาหารจากภายนอกทั้งหมด

ข้อที่ 4 สภาพการจราจรบริเวณศูนย์เด็กเล็ก พบว่า ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์มีสภาพการจราจรที่เบาบางมาจากมีปริมาณยานพาหนะน้อยกว่า 2,000 คันต่อ 6 ชั่วโมง (กรมทางหลวง, 2554)

ข้อที่ 5 ระยะห่างของศูนย์เด็กเล็กจากถนนเส้นหลัก พบว่าศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และ เคหะประชาสามัคคี เท่ากับ 500 450 400 500 และ 480 เมตร ตามลำดับ

ข้อที่ 6 การระบายอากาศในศูนย์เด็กเล็ก พบว่า ศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ และ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติอากาศถ่ายเทผ่านประตูหน้าต่างไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศภายในห้องเรียน แต่ศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านใหม่ และ เคหะประชาสามัคคี ใช้เครื่องปรับอากาศภายในศูนย์เด็กเล็ก

ข้อที่ 7 ระยะเวลาการอยู่อาศัยของเด็กเล็กภายในศูนย์เด็กเล็ก พบว่าเด็กเล็กอาศัยอยู่ในศูนย์เด็กเล็กเป็นเวลาทั้งหมด 6 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มเข้าเรียน 8.30 น.จนถึง เวลาเลิกเรียน 14.30 น.

ข้อที่ 8 น้ำหนักตัวของเด็กเล็ก จากข้อมูลทุติยภูมิสถิตินำหนักตัวเฉลี่ยของเด็กชายต่อน้ำหนักตัวเฉลี่ยของเด็กหญิงของศูนย์เด็กเล็ก ศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และ เคหะประชาสามัคคี เท่ากับ 16.3:14.5 14.7: 15.3 15.7:16.2 14.8:15.5 และ 15.6:16.0 ตามลำดับ

ข้อที่ 9 จากการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างผู้วิจัยได้ตรวจวัดอุณหภูมิของศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และ เคหะประชาสามัคคี มีค่าเท่ากับ 26.4 26.7 38.7 30.5 แล 33.7 องศา

เซลเซียส ในขณะเดียวกันมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 94 91 73 65 และ 56 ซึ่งมีสภาพอากาศปกติ ไม่มีฝนตก

ข้อที่ 10 ทิศทางลม ได้จากฐานข้อมูลออนไลน์ขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ พบว่า ศูนย์เด็กเล็ก อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และเคหะประชาสามัคคี ลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) อบต. สุรนารี ลมทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และ อบต. ปรุใหญ่ ลมทิศใต้ (S) สภาวะแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลแสดงดังตารางที่ 4.3 และภาพของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลแสดงดังภาพผนวก จ.2

ตารางที่ 4.4 สิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

เกณฑ์การพิจารณา	**อบต. สุรนารี**	**อบต. ปรุใหญ่**	**อบต. โคกกรวด**	**อบต. บ้านใหม่**	**เคหะประชา สามัคคี**
1.มีเขตพื้นที่การเผาไหม้อยู่รอบบริเวณ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2. มีกิจกรรมการเผาไหม้การสูบบุหรี่	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3.สถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัว	สั่งอาหารภายนอก	สั่งอาหารภายนอก	สั่งอาหารจากภายนอก	สั่งอาหารจากภายนอก	สั่งอาหารจากภายนอก
4.สภาพการจราจร	เบาบาง	เบาบาง	เบาบาง	เบาบาง	เบาบาง
5. ระยะห่างจากถนนเส้นหลัก	500	450	400	500	480
6. การระบายอากาศในศูนย์เด็กเล็ก	ธรรมชาติ	ธรรมชาติ	ธรรมชาติ	เครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศ
7. เวลาอยู่อาศัย	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
8. น้ำหนักตัวของเด็กเล็ก	ชาย : 16.3 หญิง : 14.5	ชาย : 14.7 หญิง : 15.3	ชาย : 15.7 หญิง : 16.2	ชาย : 14.8 หญิง : 15.5	ชาย : 15.6 หญิง : 16.0
9. อุณหภูมิ ^{o}C	26.4	26.7	38.7	30.5	33.7
ความชื้นสัมพัทธ์%	94	91	73	65	56
10. ทิศทางลม	SE	S	SW	SW	SW

หมายเหตุ ข้อที่ 9 ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.3 ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

จากการใช้แบบประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็กด้านสิ่งแวดล้อมจำนวน 10 ชุด โดยแบ่งเป็นศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาล 5 ชุด และศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล 5 ชุด ซึ่งแบบประเมินศูนย์เด็กเล็กด้านสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยเกณฑ์การประเมินด้านสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 15 ข้อ แสดงในภาคผนวก ก. และแบ่งเกณฑ์การประเมินออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับดีมาก (ผ่านเกณฑ์การประเมิน 12-15 ข้อ) ระดับดี (ผ่านเกณฑ์การประเมิน 8-11 ข้อ) และไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน (ผ่านเกณฑ์การประเมินน้อยกว่า 8 ข้อ) โดยมีผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กดังนี้

1. ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลทั้ง 5 ศูนย์ ได้แก่ ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟ หนองไผ่ล้อม สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ ผ่านเกณฑ์การประเมินจำนวน 14 15 14 13 และ 14 ข้อ ตามลำดับซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาพบข้อที่แต่ละศูนย์เด็กเล็กไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินมากที่สุด คือ ข้อที่ 14 มาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน แสดงดังตารางที่ 4.6 เนื่องจากในแต่ละศูนย์เด็กเล็กไม่เคยมีการซ้อมสำหรับป้องกันอุบัติภัยอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

2. ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ ได้แก่ ศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และ เคหะประชาสามัคคี มีจำนวนข้อที่ผ่านเกณฑ์การประเมิน 15 14 13 14 และ 14 ข้อ ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับดีมาก เช่นเดียวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยทุกศูนย์เด็กเล็กจะไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินข้อที่ 14 คือขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินประจำปี รองลงมาคือ ข้อที่ 9 พื้นที่เล่นกลางแจ้งที่เพียงพอต่อจำนวนเด็กเล็ก แสดงดังตารางที่ 4.7 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจำนวนเด็กเล็กในศูนย์เด็กเล็กที่มากเกินกว่าพื้นเล่นกลางแจ้งที่ทางศูนย์เด็กเล็กได้จัดเตรียมไว้ไม่ควรน้อยกว่า 2 ตารางเมตรต่อเด็ก 1 คน (กรมอนามัย, 2552)

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (เกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อม 15 ข้อ)

ศูนย์เด็กเล็ก ในเขตเทศบาล	จำนวนข้อที่ผ่านเกณฑ์	ผลการประเมิน	ศูนย์เด็กเล็ก นอกเขตเทศบาล	จำนวนข้อที่ผ่านเกณฑ์	ผลการประเมิน
ชลประทาน	14	ดีมาก	อบต.สุรนารี	15	ดีมาก
สามัคคีรถไฟ	15	ดีมาก	อบต.ปรุใหญ่	14	ดีมาก
หนองไผ่ล้อม	14	ดีมาก	อบต.โคกกรวด	13	ดีมาก
สวนหม่อน	13	ดีมาก	อบต. บ้านใหม่	14	ดีมาก
อบต.บ้านเกาะ	14	ดีมาก	เคหะประชาสามัคคี	14	ดีมาก

หมายเหตุ ผ่านเกณฑ์การประเมินตั้งแต่ 12-15 ข้อ จัดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น)

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล (ข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์)

ศูนย์เด็กเล็ก	ข้อที่ไม่ผ่าน	รายละเอียด
ชลประทาน	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน
สามัคคีรถไฟ	-	-
หนองไผ่ล้อม	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน
สวนหม่อน	ข้อที่ 9	พื้นที่เล่นกลางแจ้งเฉลี่ย < 2 ตร.ม.ต่อเด็ก 1 คน
	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน
อบต.บ้านเกาะ	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน

ตารางที่ 4.7 ผลการประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล (ข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์)

ศูนย์เด็กเล็ก	ข้อที่ไม่ผ่าน	รายละเอียด
อบต.สุรนารี	-	-
อบต.ปรุใหญ่	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน
อบต.โคกกรวด	ข้อที่ 9	พื้นที่เล่นกลางแจ้งเฉลี่ย < 2 ตร.ม.ต่อเด็ก 1 คน
	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน
อบต. บ้านใหม่	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน
เคหะประชาสามัคคี	ข้อที่ 14	ขาดมาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน

จากผลการประเมินแสดงถึงมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กที่จำเป็นต้องมี คือ การส่งเสริมพัฒนาการเด็กจากการมีศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ดีอยู่ในสภาพแวดล้อมสะอาดและปลอดภัย โดยการศึกษานี้ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งหมดผ่านเกณฑ์การประเมินสภาวะแวดล้อมในระดับดีมาก สอดคล้องกับการศึกษาอนุรักษ์ มาสเนตร (2552) ได้ทำการศึกษาการดำเนินงานการบริการด้านการศึกษาตามมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กกรมอนามัยของสถานพัฒนาเด็กปฐมวัย ในเขตบางซื่อ มีระดับการดำเนินงานโดยรวมอยู่ในระดับมาก ด้านสภาพแวดล้อมสะอาดและปลอดภัย และจากการประเมินศูนย์พัฒนาเด็กเล็กด้านสิ่งแวดล้อมยังพบอีกว่า ข้อมาตรฐานที่ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินคือ ข้อที่ 14 การเตรียมความพร้อมต่อสถานการณ์ฉุกเฉิน ควรมีการซ้อมแผนป้องกันระงับอุบัติภัยอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อการอาศัยอยู่ของเด็กเล็กในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กอย่างปลอดภัยสอดคล้องกับการศึกษาของอัญมณี โชติสุวรรณ์ (2551) ได้ทำการศึกษาการส่งเสริมการปฏิบัติงานของผู้ดูแลเด็กในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสังกัดองค์การบริหารส่วนตำบล ในจังหวัดจันทบุรีพบว่า การจัดกิจกรรมดูแลเด็กเล็กควรจะมีการเตรียมความพร้อมต่อสถานการณ์ฉุกเฉินให้เหมาะสมอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง และพื้นที่ใช้สอยต้องจัดเป็นสัดส่วนและเพียงพอต่อปริมาณของเด็กเล็กไม่ต่ำกว่า 2 ตารางเมตรต่อเด็กเล็ก 1 คน (กรมอนามัย, 2552)

4.2 ปริมาณสาร PAHs ในอากาศในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล

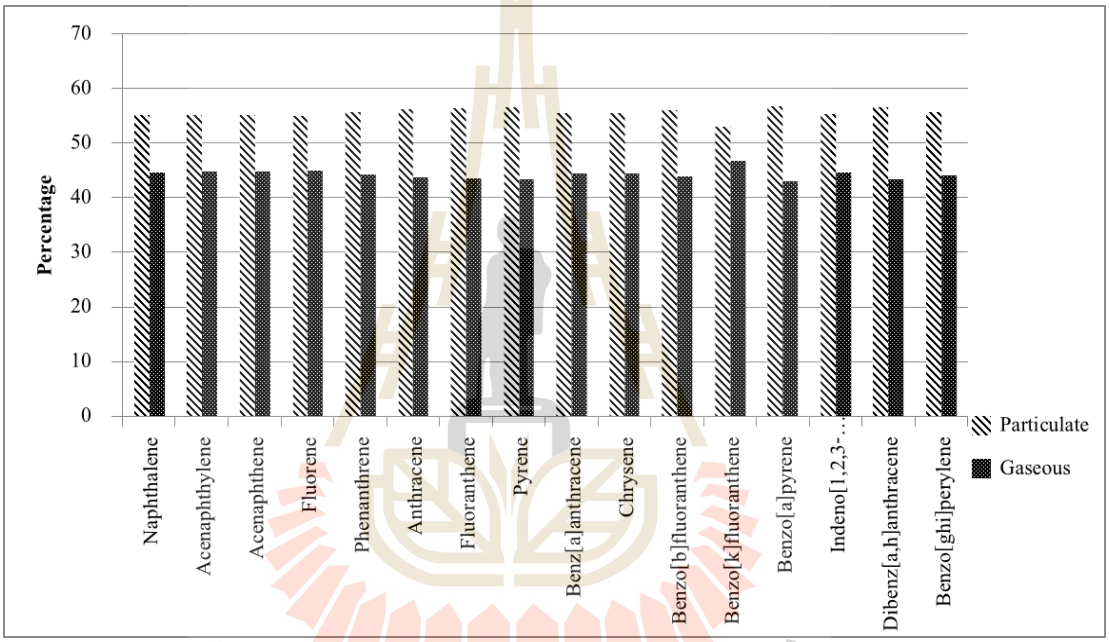
การศึกษาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็ง ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กระหว่างพื้นที่ในเขตเทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยการใช้ปั๊มดูดอากาศแบบติดตัวบุคคล (Personal sampling pumps) ที่อัตราการดูดอากาศ 2 ลิตรต่อนาที ตามวิธีการมาตรฐาน NIOSH METHOD: 5515 ในการเก็บตัวอย่างสาร PAHs และวิเคราะห์สาร PAHs ในอากาศด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS)) วิธีการทดสอบนี้มีค่า % Recovery อยู่ในช่วงร้อยละ 80-110 แสดงในภาคผนวก ค.

4.2.1 การกระจายตัวของสาร PAHs ในอากาศ (Phase distribution)

1. การกระจายตัวของสาร PAHs ในอากาศของศูนย์พัฒนาด็กเล็กในเขตเทศบาล

การศึกษานี้พบการกระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene ทั้งในสถานะก๊าซและฝุ่นละอองในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา โดยจะพบสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดกระจายตัวอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าสถานะก๊าซ กระจายตัวอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากที่สุดคือ Benzo(a)pyrene อยู่ในฝุ่นละอองเฉลี่ยร้อยละ 56.85 อยู่ในก๊าซเฉลี่ยร้อยละ 43.15 และ

พบปริมาณน้อยที่สุดคือ Benzo(k)fluoranthene กระจายตัวอยู่ในฝุ่นละอองร้อยละ 53.13 และอยู่ในก๊าซร้อยละ 46.87 แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยปกติแล้วจะพบสาร PAHs ที่ตรวจตรวจพบในอากาศจะอยู่ทั้งในรูปของฝุ่นละอองและก๊าซ และส่วนใหญ่จะพบสาร PAHs ชนิด Benzo(a)pyrene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene อยู่ในอากาศ (Zheng et al., 2009) สอดคล้องกับการศึกษาของ Tongsanit et al., (2001) ที่ได้ศึกษาปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองพบสาร PAHs ในฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซเนื่องจากสาร PAHs กระจายตัวมาพร้อมกับอนุภาคของฝุ่นละอองที่มาจากการถนนอันเนื่องมาจากมลพิษจากการจราจรจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์และรถจักรยานยนต์

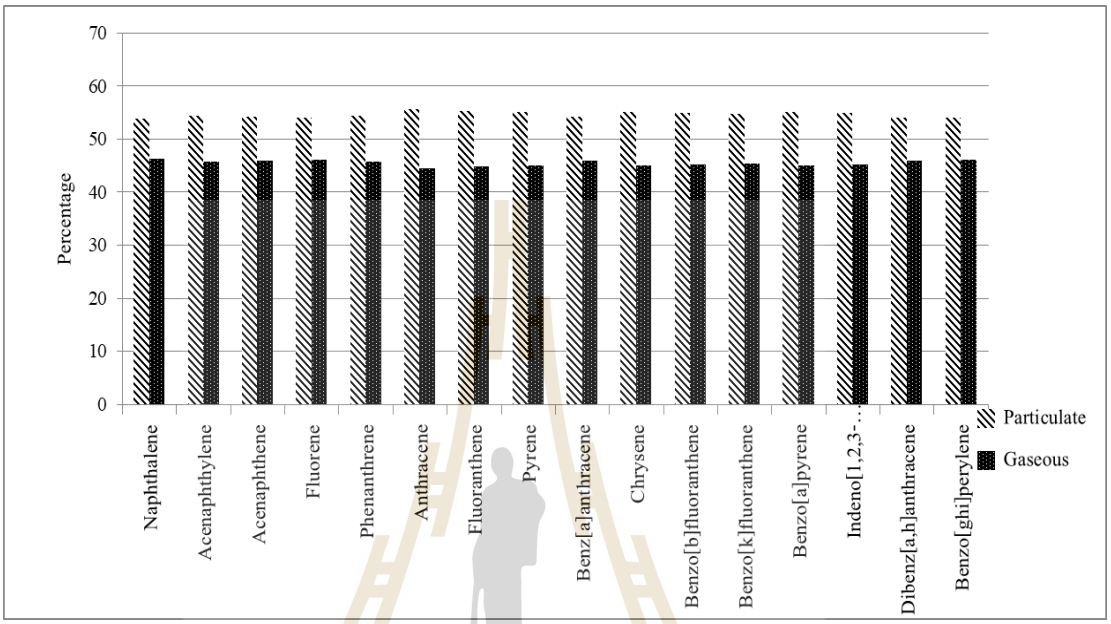


รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

2. การกระจายตัวของสาร PAHs ในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

การศึกษานี้พบการกระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด อยู่ในอากาศทั้งในสถานะก๊าซและฝุ่นละอองของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา โดยจะพบสาร PAHs กระจายตัวอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าอยู่ในสถานะก๊าซ ในสถานะฝุ่นละอองพบมากที่สุด ได้แก่ Benzo(a)pyrene Benzo(k)fluoranthene และ Fluoranthene เฉลี่ยร้อยละ 57.51 56.12 และ 55.41 ตามลำดับ และกระจายตัวอยู่ในสถานะก๊าซเฉลี่ยร้อยละ 42.49 43.88 และ 44.59 ตามลำดับและพบปริมาณน้อยที่สุดคือ Phenanthrene กระจายตัวอยู่ในฝุ่นละอองเฉลี่ยร้อยละ 53.81 และอยู่ในก๊าซเฉลี่ยร้อยละ 46.19 แสดงดังรูปที่ 4.2 สอดคล้องกับการศึกษาของ Akyuz et al. (2010)

ผลการศึกษาสาร PAHs ในอากาศสามารถพบสาร PAHs ในอากาศจะอยู่ทั้งในรูปของฝุ่นละอองและก๊าซและสาร PAHs กระจายตัวอยู่ในฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซ เนื่องมาจากสาร PAHs มีโครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซินมากกว่า 2 วงขึ้นไปสามารถยึดเกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองได้ดีกว่า



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

4.2.2 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา

1. ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล

ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศ ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล 5 ศูนย์ ได้แก่ 1) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยจะพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร และพบอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซ และพบปริมาณมากที่สุดคือสาร Benzo(a)pyrene, Dibenz(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene Indeno(1,2,3-cd) และ Benzo(k)fluoranthene เท่ากับ 1.08 1.07 1.00 0.96 และ 0.86 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบปริมาณน้อยคือ Naphthalene เท่ากับ 0.53 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังตารางที่ 4.8 และแสดงดังรูปที่ 4.3.2) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยจะพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร เช่นเดียวกับทุกศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาล และพบอยู่ในสถานะฝุ่นละออง

มากกว่าในก๊าซ โดยจะพบสาร Dibenz(a,h)anthracene, Benzo(a)pyrene, และ Indeno(1,2,3-cd) มากที่สุดเท่ากับ 1.14 1.02 และ 0.99 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบปริมาณน้อยคือ Naphthalene เท่ากับ 0.51 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังตารางที่ 4.9 และแสดงดังรูปที่ 4.4.3) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยจะพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร และพบอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซ และพบปริมาณมากที่สุดคือสาร Indeno(1,2,3-cd) เท่ากับ 0.94 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบปริมาณน้อยสุดคือ Acenaphthene และ Naphthalene เท่ากับ 0.55 และ 0.56 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังตารางที่ 4.10 และแสดงดังรูปที่ 4.5.4) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อนและ 5) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ พบสาร Dibenz(a,h)anthracene สูงที่สุด และพบสาร Naphthalene ปริมาณน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.11 และแสดงดังรูปที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.12 และแสดงดังรูปที่ 4.7

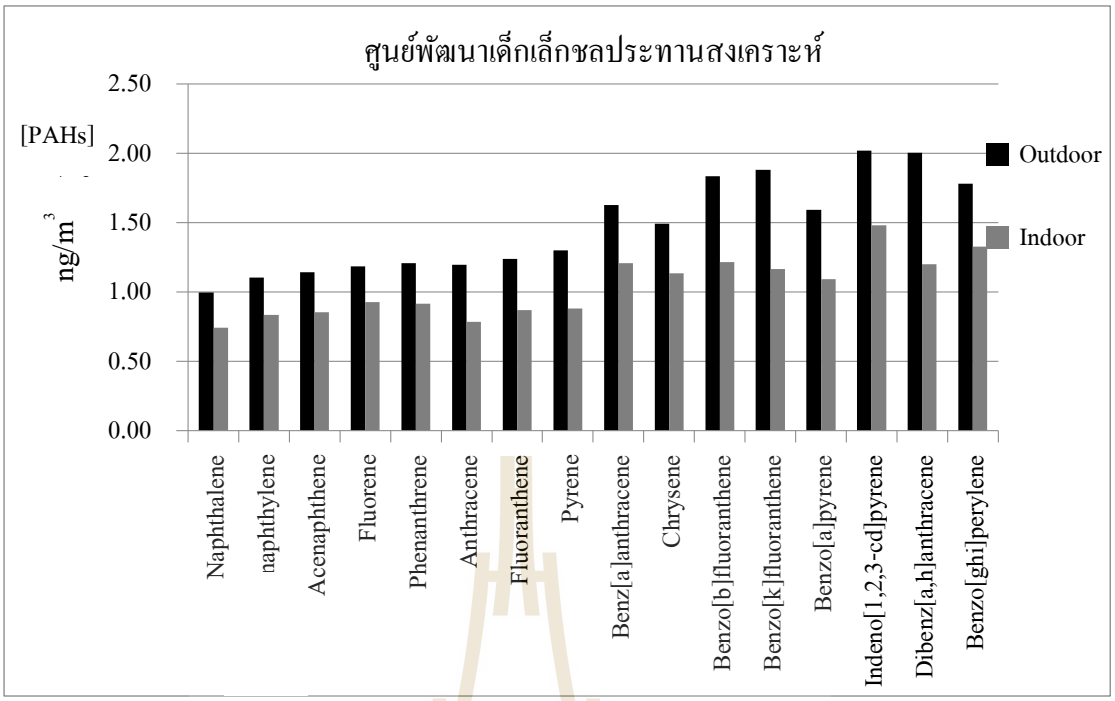
การศึกษานี้พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศภายในและภายนอกอาคาร โดยทุกศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลจะพบสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร เนื่องมาจาก ค่า I/O ratio มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Krugly et al. (2014) ที่ได้ศึกษาปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของโรงเรียนอนุบาลพบปริมาณสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารและพบปริมาณสาร PAHs ของบรรยากาศภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร และในการศึกษานี้ยังพบอีกว่า ปริมาณสาร PAHs สามอันดับที่พบได้มากที่สุดในอากาศคือ Dibenz(a,h)anthracene Benzo(a)pyrene, และ Indeno(1,2,3-cd) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang et al. (2010) ได้ศึกษาปริมาณสาร PAHs บริเวณริมถนนในเขตชุมชนเมืองในประเทศจีน (Urban Area) พบสาร Benzo(a)pyrene Indeno(1,2,3-cd) และ Dibenz(a,h)anthracene สูงที่สุดในอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

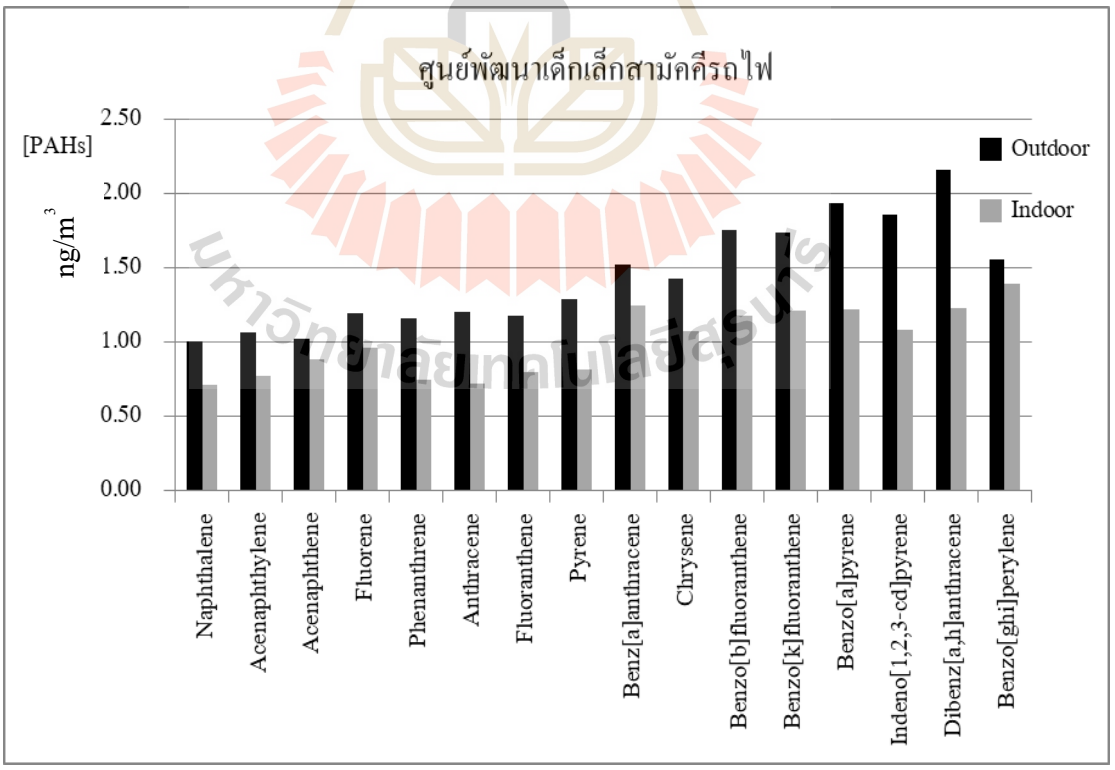
ตารางที่ 4.8 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.53	0.47	0.41	0.33	0.74
2	Acenaphthylene	0.59	0.51	0.46	0.37	0.76
3	Acenaphthene	0.61	0.53	0.47	0.38	0.75
4	Fluorene	0.63	0.55	0.51	0.42	0.78
5	Phenanthrene	0.65	0.56	0.51	0.41	0.76
6	Anthracene	0.64	0.56	0.44	0.34	0.65
7	Fluoranthene	0.67	0.57	0.49	0.38	0.70
8	Pyrene	0.70	0.60	0.50	0.38	0.68
9	Benz[a]anthracene	0.87	0.76	0.67	0.54	0.74
10	Chrysene	0.80	0.69	0.63	0.50	0.76
11	Benzo[b]fluoranthene	0.98	0.85	0.68	0.53	0.66
12	Benzo[k]fluoranthene	1.00	0.88	0.62	0.55	0.62
13	Benzo[a]pyrene	0.86	0.73	0.62	0.47	0.68
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.08	0.94	0.82	0.66	0.73
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.07	0.93	0.68	0.52	0.60
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.96	0.82	0.74	0.59	0.74
	SUM of PAHs	12.64	10.96	9.25	7.37	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.3 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์



รูปที่ 4.4 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ

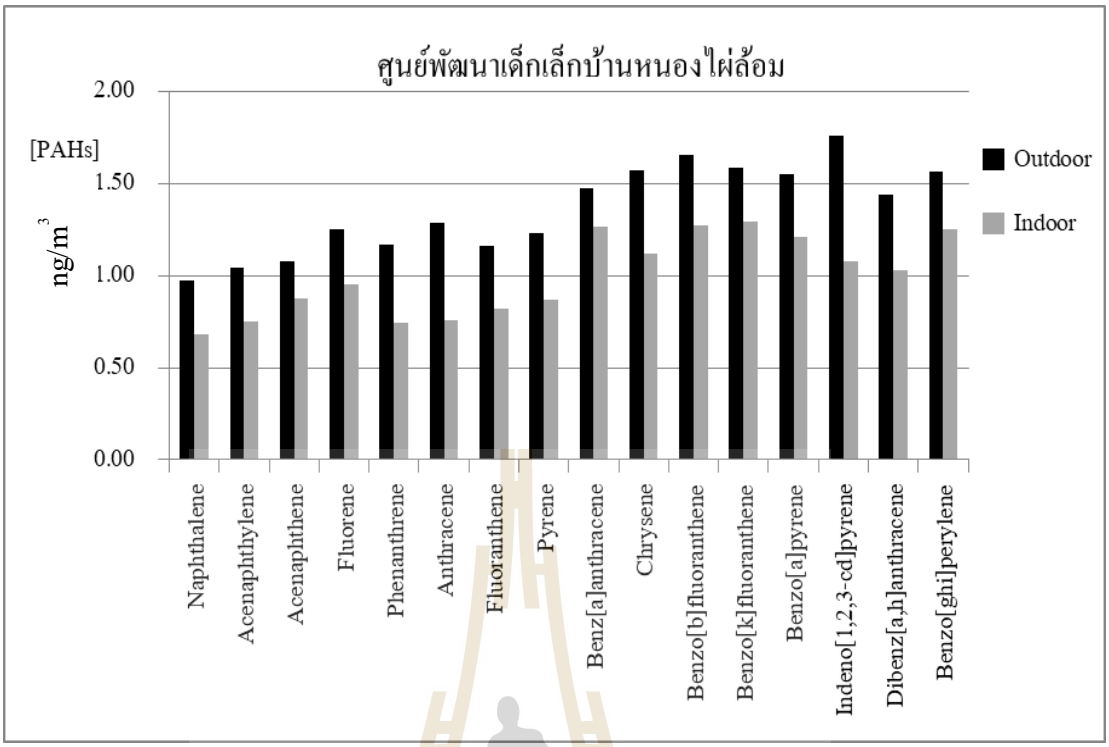
ตารางที่ 4.9 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.53	0.47	0.38	0.33	0.71
2	Acenaphthylene	0.56	0.50	0.41	0.35	0.72
3	Acenaphthene	0.54	0.48	0.47	0.41	0.86
4	Fluorene	0.63	0.56	0.52	0.45	0.81
5	Phenanthrene	0.62	0.54	0.41	0.34	0.64
6	Anthracene	0.64	0.56	0.40	0.32	0.60
7	Fluoranthene	0.63	0.54	0.44	0.36	0.68
8	Pyrene	0.69	0.60	0.45	0.36	0.63
9	Benz[a]anthracene	0.81	0.71	0.67	0.58	0.82
10	Chrysene	0.76	0.66	0.59	0.49	0.75
11	Benzo[b]fluoranthene	0.93	0.82	0.64	0.54	0.67
12	Benzo[k]fluoranthene	0.92	0.81	0.66	0.55	0.70
13	Benzo[a]pyrene	1.02	0.91	0.66	0.56	0.63
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.99	0.87	0.60	0.48	0.58
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.14	1.02	0.67	0.56	0.57
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.84	0.72	0.75	0.64	0.89
	SUM of PAHs	12.25	10.78	8.72	7.30	

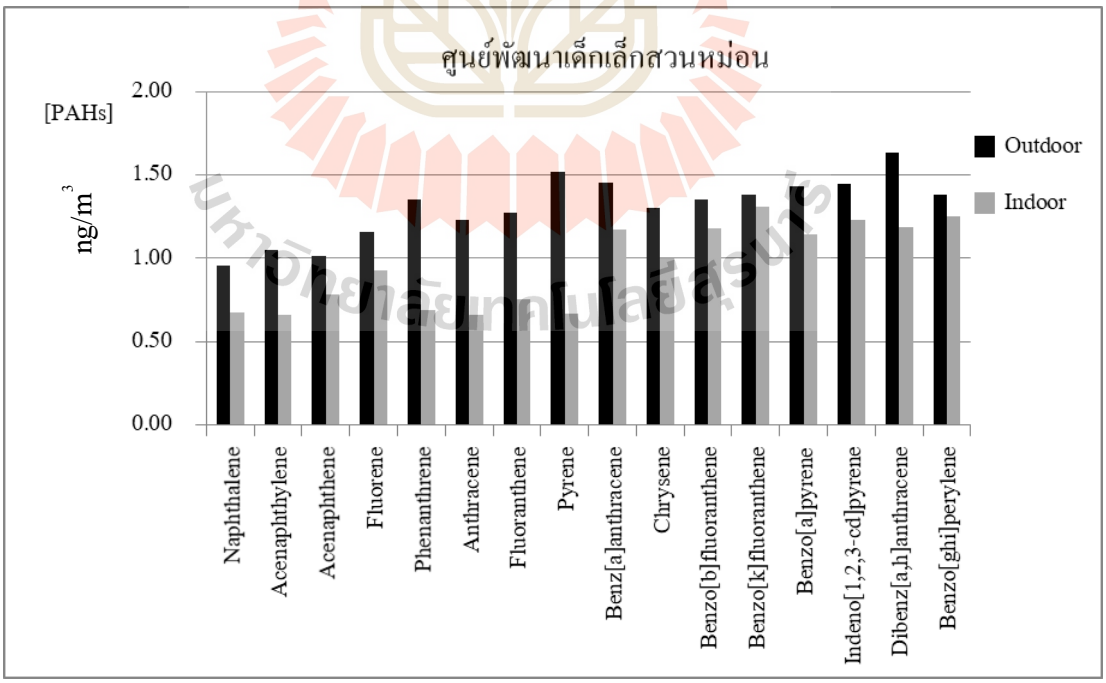
ตารางที่ 4.10 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.56	0.42	0.37	0.31	0.70
2	Acenaphthylene	0.55	0.48	0.41	0.34	0.72
3	Acenaphthene	0.59	0.49	0.47	0.41	0.81
4	Fluorene	0.68	0.57	0.51	0.44	0.76
5	Phenanthrene	0.62	0.55	0.41	0.33	0.64
6	Anthracene	0.72	0.56	0.41	0.34	0.59
7	Fluoranthene	0.62	0.54	0.45	0.37	0.71
8	Pyrene	0.69	0.53	0.48	0.39	0.71
9	Benz[a]anthracene	0.78	0.69	0.68	0.58	0.86
10	Chrysene	0.87	0.70	0.61	0.51	0.71
11	Benzo[b]fluoranthene	0.88	0.78	0.69	0.58	0.77
12	Benzo[k]fluoranthene	0.84	0.74	0.70	0.59	0.82
13	Benzo[a]pyrene	0.87	0.69	0.66	0.55	0.78
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.94	0.82	0.60	0.48	0.61
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.77	0.66	0.57	0.46	0.72
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.84	0.73	0.68	0.57	0.80
	SUM of PAHs	11.84	9.92	8.69	7.27	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.5 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม



รูปที่ 4.6 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน

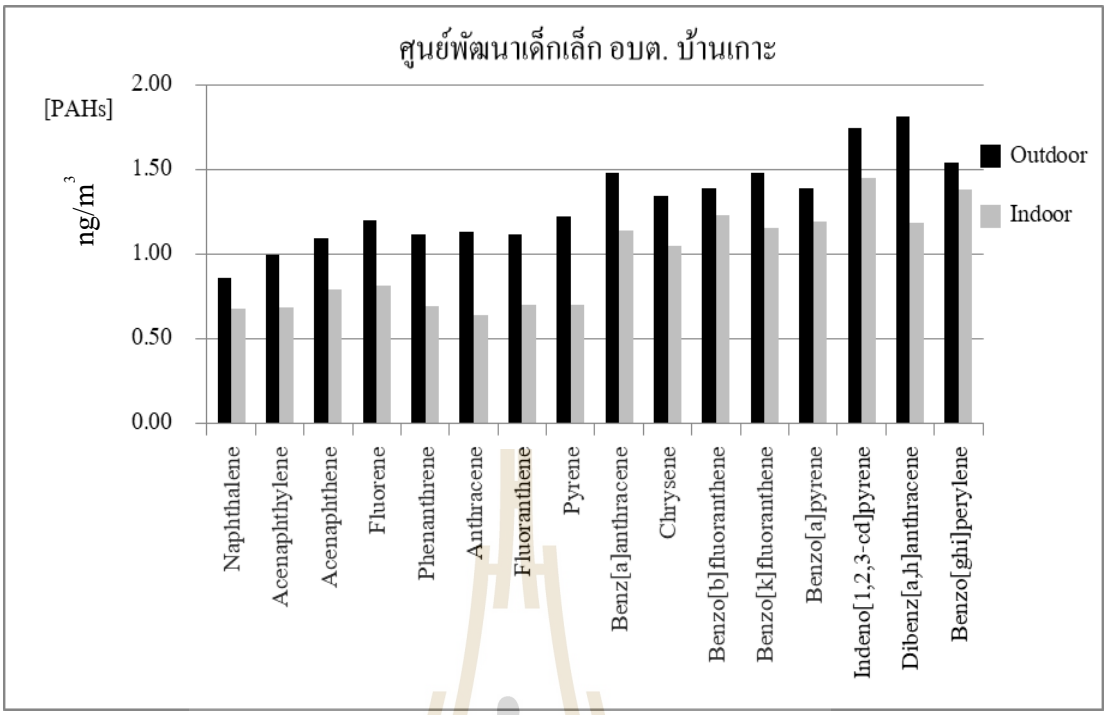
ตารางที่ 4.11 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.50	0.45	0.36	0.31	0.71
2	Acenaphthylene	0.55	0.49	0.36	0.30	0.63
3	Acenaphthene	0.54	0.48	0.42	0.36	0.77
4	Fluorene	0.61	0.55	0.50	0.43	0.80
5	Phenanthrene	0.71	0.64	0.38	0.31	0.51
6	Anthracene	0.65	0.58	0.36	0.30	0.54
7	Fluoranthene	0.67	0.60	0.41	0.34	0.59
8	Pyrene	0.80	0.72	0.37	0.30	0.44
9	Benz[a]anthracene	0.77	0.68	0.63	0.54	0.81
10	Chrysene	0.70	0.61	0.54	0.46	0.77
11	Benzo[b]fluoranthene	0.72	0.63	0.64	0.54	0.87
12	Benzo[k]fluoranthene	0.74	0.64	0.70	0.61	0.95
13	Benzo[a]pyrene	0.76	0.67	0.62	0.52	0.80
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.78	0.67	0.67	0.56	0.85
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.87	0.76	0.65	0.54	0.73
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.74	0.64	0.68	0.57	0.91
	SUM of PAHs	11.12	9.81	8.29	7.00	

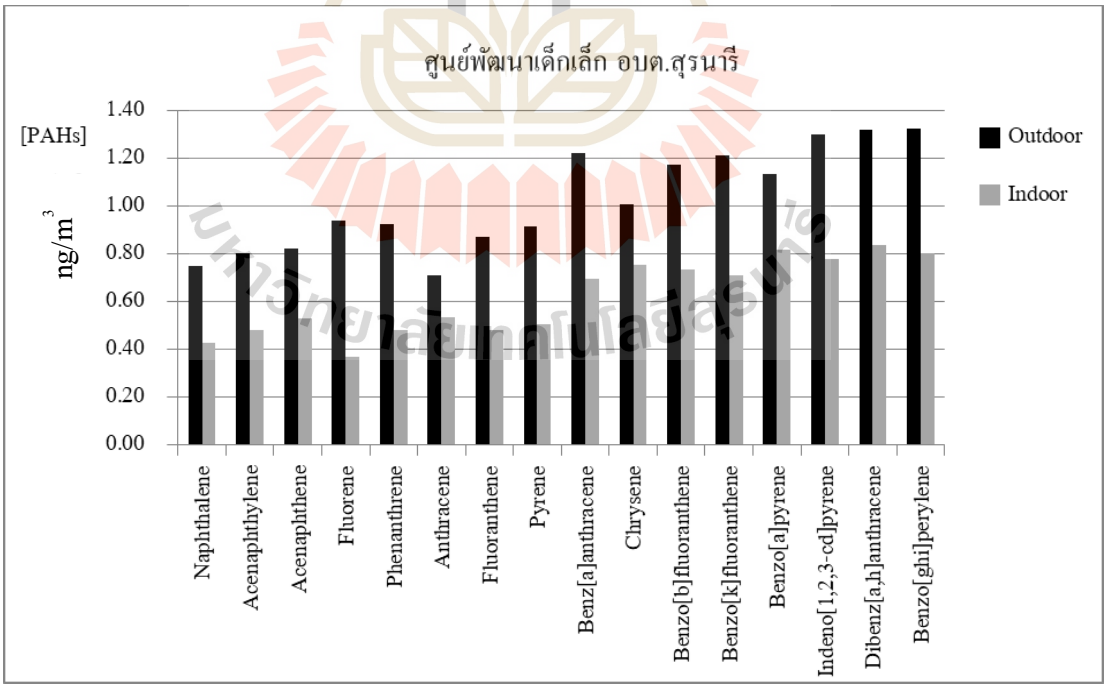
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.12 ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านเกาะ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.45	0.40	0.36	0.31	0.79
2	Acenaphthylene	0.53	0.47	0.37	0.31	0.69
3	Acenaphthene	0.58	0.52	0.43	0.37	0.72
4	Fluorene	0.63	0.57	0.44	0.38	0.68
5	Phenanthrene	0.59	0.52	0.38	0.31	0.62
6	Anthracene	0.60	0.53	0.35	0.29	0.57
7	Fluoranthene	0.60	0.52	0.39	0.31	0.63
8	Pyrene	0.65	0.57	0.39	0.31	0.57
9	Benz[a]anthracene	0.78	0.69	0.61	0.52	0.77
10	Chrysene	0.72	0.63	0.57	0.48	0.78
11	Benzo[b]fluoranthene	0.74	0.64	0.67	0.57	0.89
12	Benzo[k]fluoranthene	0.79	0.69	0.63	0.53	0.78
13	Benzo[a]pyrene	0.75	0.64	0.65	0.55	0.86
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.93	0.82	0.78	0.67	0.83
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.96	0.85	0.65	0.54	0.65
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.83	0.72	0.74	0.64	0.89
	SUM of PAHs	11.14	9.78	8.41	7.09	



รูปที่ 4.7 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ



รูปที่ 4.8 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี

2. ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศ ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล 5 ศูนย์ ได้แก่ 1) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ในอากาศทั้งในฝุ่นละอองและก๊าซ พบอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซ และพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร โดยพบปริมาณมากที่สุดคือสาร Benzo(a)pyrene Indeno(1,2,3-cd) Dibenz(a,h)anthracene และ Benzo(g,h,i)perylene เท่ากับ 0.62 0.71 0.72 และ 0.73 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบปริมาณน้อยที่สุดคือ Naphthalene เท่ากับ 0.40 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังตารางที่ 4.13 และแสดงดังรูปที่ 4.8.2) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. ปรุใหญ่ พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยจะพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร เช่นเดียวกับทุกศูนย์เด็กเล็กอื่นๆ ทั้ง 4 ศูนย์ที่อยู่นอกเขตเทศบาล และพบอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซ โดยจะพบสาร Benzo(a)pyrene, และ Benzo[k]fluoranthene มากที่สุดเท่ากับ 0.67 และ 0.71 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบปริมาณน้อยคือ Naphthalene เท่ากับ 0.38 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังตารางที่ 4.14 และแสดงดังรูปที่ 4.9.3) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยจะพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร และพบอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซเช่นเดียวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กอื่นๆ โดยจะพบปริมาณมากที่สุดคือสาร Dibenz(a,h) anthracene Indeno(1,2,3-cd) และ Benzo(a)pyrene เท่ากับ 0.63 0.68 และ 0.58 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบปริมาณน้อยสุดคือ Acenaphthene และ Naphthalene เท่ากับ 0.40 และ 0.33 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังตารางที่ 4.15 และแสดงดังรูปที่ 4.10 4) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านใหม่ และ 5) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี พบสาร Indeno(1,2,3-cd) Dibenz(a,h)anthracene Benzo[k]fluoranthene และ Benzo(a)pyrene สูงที่สุดและพบสาร Naphthalene ปริมาณน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.16 และแสดงดังรูปที่ 4.11 ตารางที่ 4.17 และแสดงดังรูปที่ 4.12

การศึกษานี้พบปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศภายในและภายนอกอาคาร โดยทุกศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลจะพบสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร เนื่องมาจาก ค่า I/O ratio มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zhu e al. (2009) ที่ได้ศึกษาปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของบ้านเรือนในแหล่งชุมชนประเทศจีนพบปริมาณสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารและพบปริมาณสาร PAHs ของบรรยากาศภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร และในการศึกษานี้ยังพบอีกว่า ปริมาณสาร PAHs ที่พบในปริมาณต่ำที่สุด คือ สาร Naphthalene ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Martuzevicius. (2011) ได้ศึกษาปริมาณสาร PAHs

ในฝุ่นละอองจากถนนตรวจพบสาร PAHs 16 ชนิดในฝุ่นละอองริมถนนเมืองไซตะมะประเทศญี่ปุ่น แต่จะพบน้อยที่สุดคือสาร Naphthalene ในอากาศน้อยกว่าสาร PAHs ชนิดอื่น

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

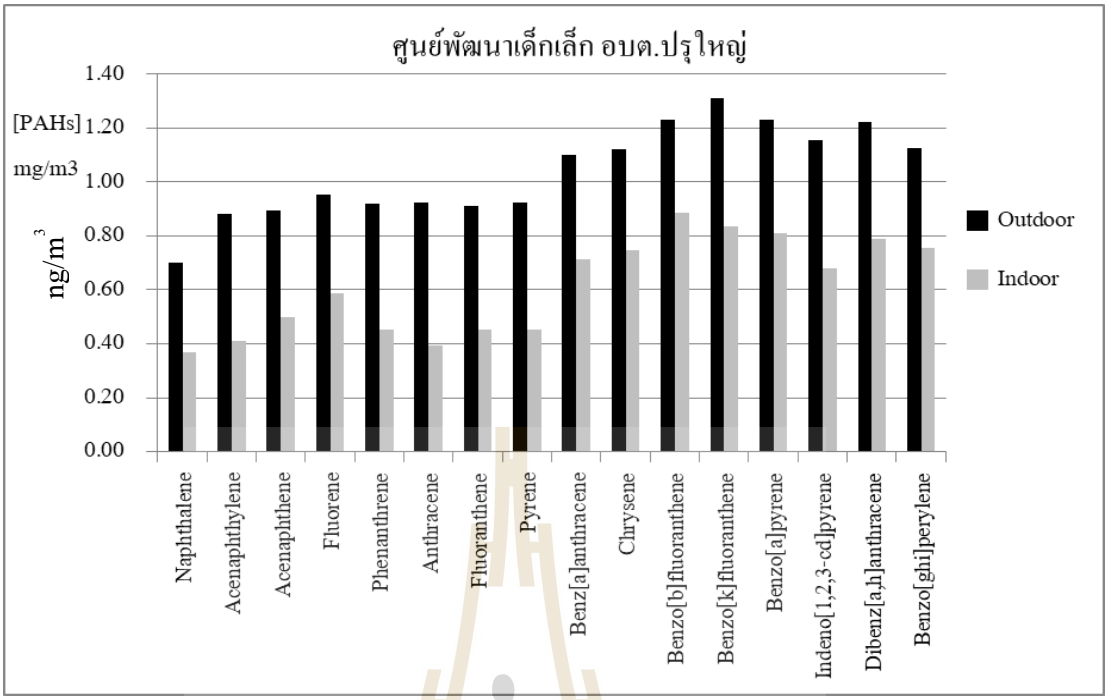
ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.40	0.34	0.24	0.18	0.57
2	Acenaphthylene	0.44	0.37	0.28	0.20	0.60
3	Acenaphthene	0.45	0.38	0.30	0.23	0.64
4	Fluorene	0.51	0.43	0.22	0.14	0.39
5	Phenanthrene	0.50	0.42	0.28	0.20	0.52
6	Anthracene	0.39	0.31	0.31	0.22	0.75
7	Fluoranthene	0.48	0.39	0.29	0.19	0.55
8	Pyrene	0.50	0.41	0.30	0.20	0.55
9	Benz[a]anthracene	0.66	0.56	0.40	0.29	0.57
10	Chrysene	0.55	0.45	0.43	0.32	0.75
11	Benzo[b]fluoranthene	0.64	0.53	0.43	0.30	0.63
12	Benzo[k]fluoranthene	0.66	0.55	0.42	0.29	0.59
13	Benzo[a]pyrene	0.62	0.51	0.47	0.35	0.72
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.71	0.59	0.46	0.32	0.60
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.72	0.60	0.49	0.35	0.63
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.73	0.60	0.47	0.33	0.60
	SUM of PAHs	8.98	7.44	5.80	4.13	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

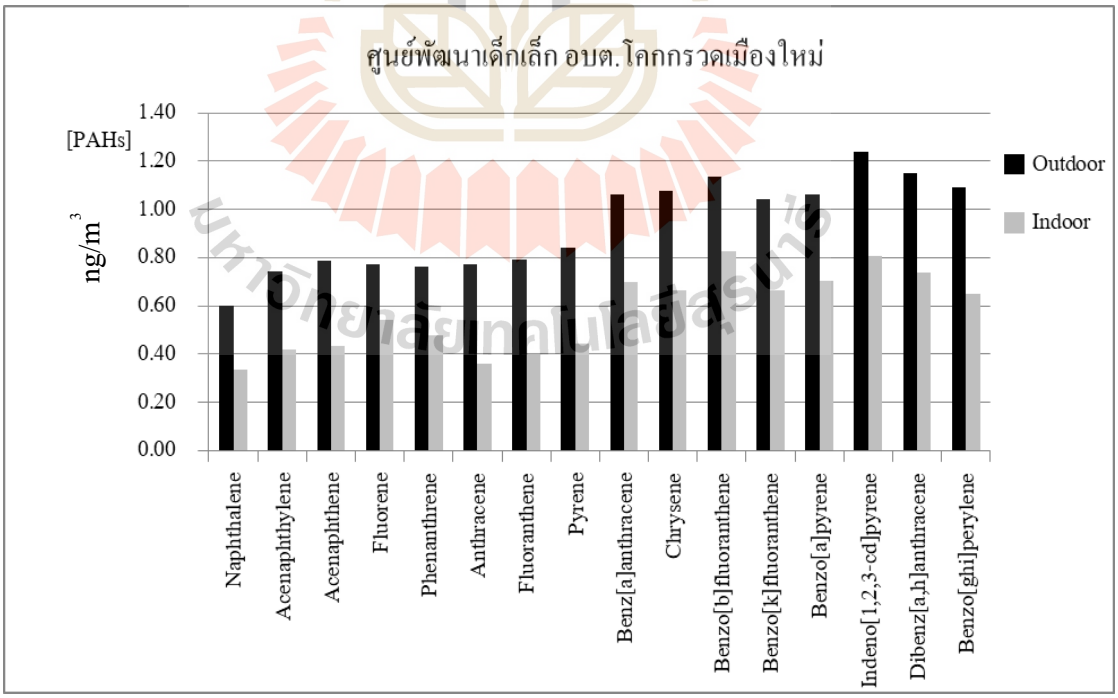
ตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.ปรุใหญ่ นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.38	0.32	0.21	0.16	0.53
2	Acenaphthylene	0.48	0.40	0.24	0.17	0.46
3	Acenaphthene	0.49	0.41	0.28	0.21	0.56
4	Fluorene	0.52	0.43	0.33	0.26	0.61
5	Phenanthrene	0.51	0.41	0.27	0.19	0.49
6	Anthracene	0.51	0.41	0.24	0.16	0.43
7	Fluoranthene	0.51	0.40	0.27	0.18	0.50
8	Pyrene	0.52	0.41	0.27	0.18	0.49
9	Benz[a]anthracene	0.61	0.49	0.41	0.31	0.65
10	Chrysene	0.61	0.51	0.43	0.32	0.67
11	Benzo[b]fluoranthene	0.67	0.56	0.50	0.39	0.72
12	Benzo[k]fluoranthene	0.71	0.60	0.48	0.36	0.64
13	Benzo[a]pyrene	0.67	0.56	0.46	0.35	0.66
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.64	0.52	0.40	0.28	0.59
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.67	0.55	0.46	0.33	0.64
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.62	0.50	0.44	0.31	0.67
	SUM of PAHs	9.14	7.47	5.69	4.15	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.9 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. ปรุใหญ่



รูปที่ 4.10 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. โคกกรวดเมืองใหม่

ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.33	0.27	0.19	0.14	0.56
2	Acenaphthylene	0.40	0.34	0.24	0.18	0.56
3	Acenaphthene	0.43	0.36	0.25	0.18	0.55
4	Fluorene	0.42	0.35	0.30	0.24	0.70
5	Phenanthrene	0.42	0.34	0.28	0.20	0.63
6	Anthracene	0.42	0.35	0.22	0.14	0.47
7	Fluoranthene	0.44	0.35	0.24	0.16	0.51
8	Pyrene	0.46	0.38	0.26	0.18	0.53
9	Benz[a]anthracene	0.58	0.48	0.40	0.30	0.66
10	Chrysene	0.59	0.49	0.38	0.28	0.61
11	Benzo[b]fluoranthene	0.62	0.51	0.47	0.36	0.73
12	Benzo[k]fluoranthene	0.58	0.47	0.38	0.28	0.64
13	Benzo[a]pyrene	0.58	0.48	0.40	0.30	0.66
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.68	0.56	0.46	0.35	0.65
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.63	0.51	0.43	0.31	0.64
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.60	0.48	0.38	0.27	0.60
	SUM of PAHs	8.20	6.73	5.28	3.89	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านใหม่ นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

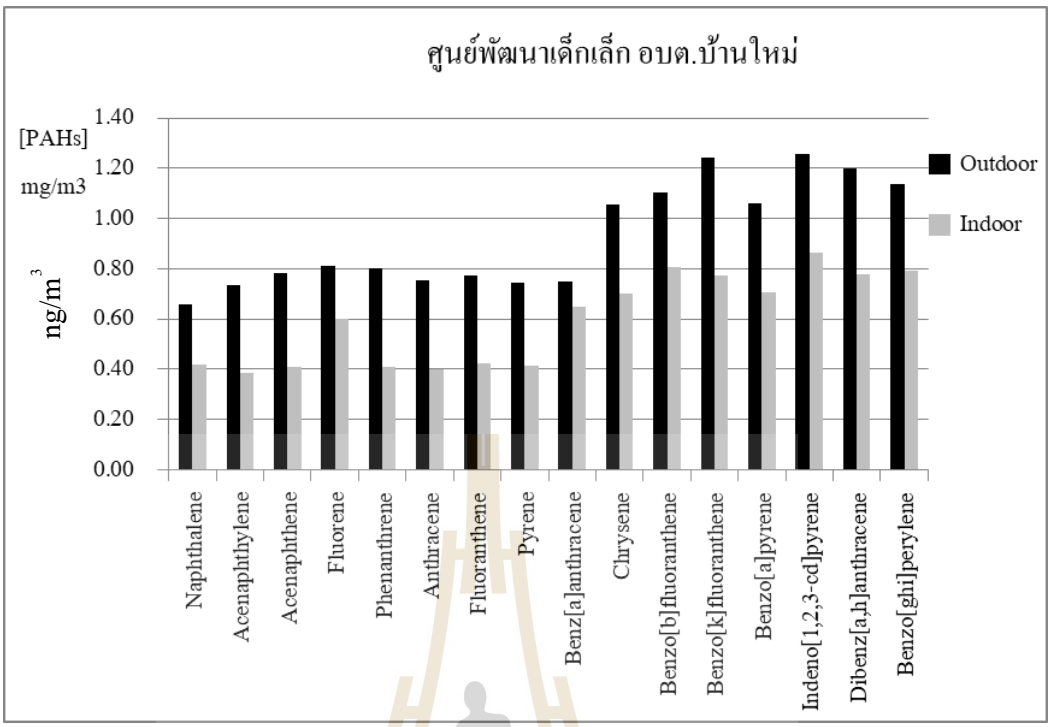
ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.36	0.30	0.24	0.18	0.63
2	Acenaphthylene	0.41	0.33	0.23	0.16	0.53
3	Acenaphthene	0.43	0.35	0.24	0.17	0.53
4	Fluorene	0.45	0.36	0.34	0.27	0.74
5	Phenanthrene	0.45	0.36	0.24	0.17	0.51
6	Anthracene	0.42	0.33	0.24	0.16	0.53
7	Fluoranthene	0.44	0.34	0.25	0.17	0.55
8	Pyrene	0.42	0.32	0.25	0.16	0.55
9	Benz[a]anthracene	0.38	0.26	0.42	0.32	1.15
10	Chrysene	0.59	0.47	0.40	0.30	0.66
11	Benzo[b]fluoranthene	0.62	0.49	0.46	0.35	0.73
12	Benzo[k]fluoranthene	0.69	0.56	0.44	0.33	0.62
13	Benzo[a]pyrene	0.59	0.47	0.41	0.30	0.67
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.69	0.56	0.49	0.37	0.69
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.67	0.54	0.45	0.33	0.65
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.63	0.51	0.46	0.34	0.70
	SUM of PAHs	8.23	6.54	5.53	4.10	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

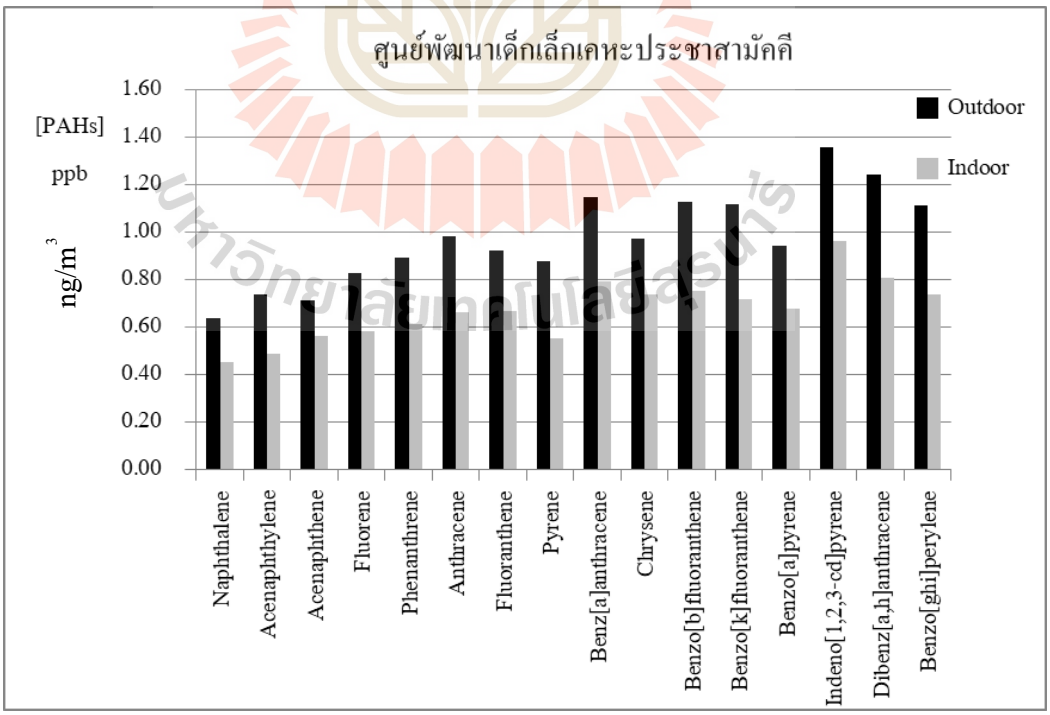
ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ลำดับ	สาร PAHs	ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				Indoor/Outdoor (I/O ratio)
		ภายนอกอาคาร		ภายในอาคาร		
		ฝุ่น	ก๊าซ	ฝุ่น	ก๊าซ	
1	Naphthalene	0.35	0.29	0.23	0.22	0.71
2	Acenaphthylene	0.40	0.33	0.27	0.21	0.66
3	Acenaphthene	0.39	0.32	0.31	0.25	0.79
4	Fluorene	0.45	0.38	0.31	0.27	0.70
5	Phenanthrene	0.49	0.41	0.35	0.26	0.68
6	Anthracene	0.53	0.45	0.35	0.31	0.67
7	Fluoranthene	0.51	0.42	0.38	0.29	0.72
8	Pyrene	0.48	0.39	0.31	0.24	0.63
9	Benz[a]anthracene	0.62	0.53	0.45	0.34	0.69
10	Chrysene	0.53	0.44	0.40	0.33	0.76
11	Benzo[b]fluoranthene	0.61	0.51	0.43	0.32	0.67
12	Benzo[k]fluoranthene	0.61	0.51	0.41	0.31	0.64
13	Benzo[a]pyrene	0.52	0.42	0.38	0.30	0.72
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.73	0.62	0.53	0.43	0.71
15	Dibenz[a,h]anthracene	0.68	0.56	0.46	0.35	0.65
16	Benzo[g,h,i]perylene	0.61	0.50	0.42	0.31	0.66
	SUM of PAHs	8.52	7.05	6.00	4.73	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.11 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านใหม่



รูปที่ 4.12 ปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี

4.2.3 ปริมาณสาร PAHs และ สภาวะสิ่งแวดล้อมในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

1. ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

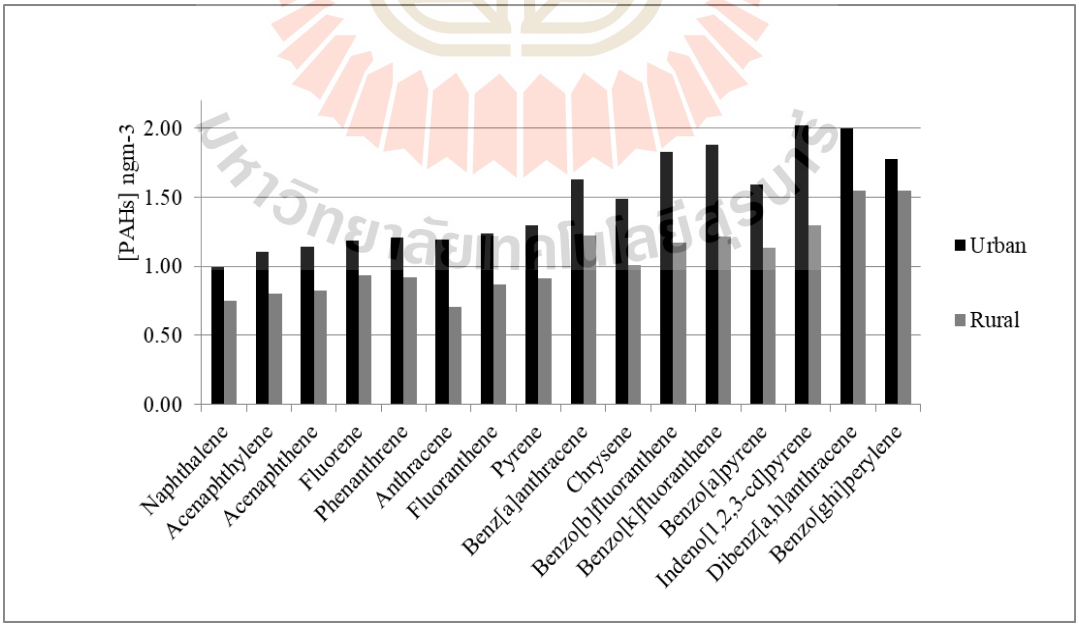
สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กที่อาจมีผลต่อปริมาณสาร PAHs จากการศึกษาพบว่า ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีกิจกรรมการเผาไหม้ และไม่มีบุคลากรภายในศูนย์เด็กเล็กทั้งหมดสูบบุหรี่ และศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ ไม่มีการปรุงประกอบอาหารภายในศูนย์เด็กเล็ก ดังนั้นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณสาร PAHs ที่พบ ได้แก่ 1) สภาพการจราจรบริเวณศูนย์เด็กเล็ก พบว่าศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ ในเขตเทศบาลมีสภาพการจราจรที่หนาแน่นเนื่องมาจากมีปริมาณยานพาหนะมากกว่า 2,000 คันต่อ 6 ชั่วโมง (กรมทางหลวง, 2554) โดยพบสาร PAHs มากที่สุดคือ ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ ซึ่งปริมาณการจราจรที่หนาแน่นมากกว่าศูนย์เด็กเล็กอื่นๆ ในเขตเทศบาล 2) ระยะห่างของศูนย์เด็กเล็กจากถนนเส้นหลัก พบว่าทุกศูนย์พัฒนาเด็กเล็กตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีตำแหน่งที่ตั้งห่างไกลจากถนนสายหลักไม่เกิน 500 เมตรทั้งหมดอาจส่งผลให้พบปริมาณสาร PAHs สูงไปด้วย 3 ทิศทางลม จากการสังเกตและข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในศูนย์เด็กเล็กมีลมพัดผ่านจากถนนเข้าสู่ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กส่งผลให้พบสาร PAHs สูงกว่าเมื่อเทียบกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ที่ทิศทางลมพัดจากศูนย์พัฒนาเด็กเล็กออกสู่ถนน

2. ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ผลของสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กต่อปริมาณสาร PAHs ที่พบ เนื่องจากศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีกิจกรรมการไหม้ใดๆ และไม่มีบุคลากรภายในศูนย์เด็กเล็กทั้งหมดสูบบุหรี่ และศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ ไม่มีการปรุงประกอบอาหารภายในศูนย์เด็กเล็ก เช่นเดียวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล แต่ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลคือ สภาพการจราจรบริเวณศูนย์เด็กเล็ก พบว่าศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ ในเขตเทศบาลมีสภาพการจราจรที่บางเบาเมื่อเทียบกับศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาล ส่งผลให้พบปริมาณสาร PAHs ต่ำกว่าปริมาณสาร PAHs ที่พบในเขตเทศบาล สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang et al. (2011) ที่ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในเขตเมืองที่มีการจราจรแตกต่างกันในประเทศฮ่องกงพบว่า ในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นกว่าพบปริมาณสาร PAHs สูงกว่าในพื้นที่ที่มีปริมาณการจราจรบางเบากว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Wichmann et al. (2013) ที่ได้ศึกษาสาร PAHs และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนบริเวณบ้านพักอาศัยและโรงเรียนในประเทศสวีเดน พบว่าโรงเรียนที่มีสภาพแวดล้อมอยู่ใกล้บริเวณถนนพบสาร PAHs ในปริมาณที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณสาร PAHs ที่พบในบ้านพักอาศัยที่อยู่ห่างไกลออกไปจากถนนเส้นหลัก

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล

จากการศึกษาพบสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ในศูนย์เด็กเล็กทั้งในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล โดยสาร PAHs ที่พบมากที่สุดในเขตเทศบาลคือ Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i) perylene Benzo(a)pyrene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene เท่ากับ 2.02 2.00 1.78 และ 1.59 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เช่นเดียวกับนอกเขตเทศบาลที่พบสาร, Benzo(g,h,i)perylene Benzo(a)pyrene Benzo(a,h)anthracene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene มากที่สุดเท่ากับ 1.55 1.55 1.30 และ 1.13 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะเดียวกันสาร PAHs ที่พบปริมาณน้อยที่สุดคือ Naphthalene ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลมีค่าเท่า 1.00 และ 0.75 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคารของแต่ละศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก และในการศึกษานี้กำหนดสมมติฐานไว้ว่า ปริมาณสาร PAHs ในอากาศของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลสูงกว่านอกเขตเทศบาล ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ปริมาณสาร PAHs ในเขตเทศบาลสูงกว่าปริมาณสาร PAHs นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 ($P<0.01$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ospar et al. (2013) ได้ทำการศึกษาปริมาณสาร PAHs ในเขตชนบทหรือพื้นที่นอกเขตเมือง (Rural Area) เทียบกับพื้นที่ในเขตเมืองประเทศจีน พบปริมาณสาร PAHs ในเขตชนบทต่ำกว่าปริมาณสาร PAHs ในเขตเมือง



รูปที่ 4.13 ปริมาณสาร PAHs ในเขตเทศบาล (Urban) และนอกเขตเทศบาล (Rural)

4.3 ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งภายในและภายนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

4.3.1 ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs โดยการใช้ค่า TEF : Toxic Equivalency Factor ในการประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในอากาศของเด็กเล็กที่อาศัยอยู่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามารถคำนวณได้จากการใช้ค่า TEF : Toxic Equivalency Factor ที่ใช้เป็นค่าประมาณการศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง หากค่าความเสี่ยงที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า $1.0x10^{-6}$ แสดงว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ดังกล่าวนั้น หากค่าความเสี่ยงที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า $1.0x10^{-6}$ แสดงว่า มีโอกาสได้รับความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ดังกล่าว (US.EPA, 1998) ซึ่งการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล

1. ความเสี่ยงต่อสุขภาพของการได้รับสัมผัสสาร PAHs ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งผ่านเส้นทางการได้รับสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation pathway) ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ แสดงดังตารางที่ 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 และ 4.22 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs พบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร และพบมากที่สุดคือความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene มีค่าเท่ากับ $1.75x10^{-6}$ ซึ่งมีเฉพาะสาร Benzo(a)pyrene เท่านั้นมีค่าความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ที่กำหนดค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งไม่เกิน $1.0x10^{-6}$ เช่นเดียวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ หนองไผ่ล้อม สวนหม่อน อบต. บ้านเกาะ มีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของสาร Benzo(a)pyrene เท่ากับ $2.13x10^{-6}$ $1.71x10^{-6}$ $1.58x10^{-6}$ และ $1.53x10^{-6}$ สอดคล้องกับการศึกษาของ Slezakova et al. (2013) ที่ได้ศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมืองพบความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene เท่ากับ $3.7x10^{-6}$ ซึ่งมีค่าความเสี่ยงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสาร PAHs อีกทั้ง 15 ชนิด และการศึกษานี้พบสาร PAHs อีก 15 ชนิดได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k) fluoranthene, , Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene มีค่าความเสี่ยงน้อยกว่า $1.0x10^{-6}$ ไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

สอดคล้องกับการศึกษาของ Bostrom et al. (2012) ที่ได้ศึกษาความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในบรรยากาศพบค่าความเสี่ยงของสาร Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene เกินค่าความเสี่ยงต่อมะเร็งที่ยอมรับได้ในขณะที่สาร PAHs ที่เหลือชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยงไม่เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.18 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	1.10E-09	8.16E-10
2	Acenaphthylene	1.21E-09	9.17E-10
3	Acenaphthene	1.25E-09	9.38E-10
4	Fluorene	1.30E-09	1.02E-09
5	Phenanthrene	1.33E-09	1.01E-09
6	Anthracene	1.31E-08	8.61E-09
7	Fluoranthene	1.36E-09	9.54E-10
8	Pyrene	1.43E-09	9.71E-10
9	Benz[a]anthracene	1.79E-07	1.33E-07
10	Chrysene	1.64E-08	1.25E-08
11	Benzo[b]fluoranthene	1.01E-07	6.67E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	1.03E-07	6.42E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.75E-06	6.00E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.22E-07	1.63E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	2.20E-07	1.32E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.96E-08	1.46E-08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.19 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	1.10E-09	7.78E-10
2	Acenaphthylene	1.17E-09	8.43E-10
3	Acenaphthene	1.12E-09	9.67E-10
4	Fluorene	1.31E-09	1.06E-09
5	Phenanthrene	1.27E-09	8.19E-10
6	Anthracene	1.32E-08	7.90E-09
7	Fluoranthene	1.29E-09	8.80E-10
8	Pyrene	1.42E-09	8.91E-10
9	Benz[a]anthracene	1.67E-07	1.37E-07
10	Chrysene	1.57E-08	1.18E-08
11	Benzo[b]fluoranthene	9.63E-08	6.47E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	9.55E-08	6.67E-08
13	Benzo[a]pyrene	2.13E-06	6.70E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.04E-07	1.19E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	2.38E-07	1.35E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.71E-08	1.53E-08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.20 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	1.07E-09	7.51E-10
2	Acenaphthylene	1.14E-09	8.25E-10
3	Acenaphthene	1.19E-09	9.65E-10
4	Fluorene	1.37E-09	1.05E-09
5	Phenanthrene	1.28E-09	8.15E-10
6	Anthracene	1.41E-08	8.29E-09
7	Fluoranthene	1.28E-09	9.04E-10
8	Pyrene	1.35E-09	9.58E-10
9	Benz[a]anthracene	1.62E-07	1.39E-07
10	Chrysene	1.72E-08	1.23E-08
11	Benzo[b]fluoranthene	9.11E-08	6.99E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	8.71E-08	7.12E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.71E-06	6.65E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.93E-07	1.18E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.58E-07	1.13E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.72E-08	1.37E-08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.21 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	1.05E-09	7.44E-10
2	Acenaphthylene	1.15E-09	7.23E-10
3	Acenaphthene	1.12E-09	8.63E-10
4	Fluorene	1.27E-09	1.02E-09
5	Phenanthrene	1.49E-09	7.60E-10
6	Anthracene	1.36E-08	7.28E-09
7	Fluoranthene	1.40E-09	8.27E-10
8	Pyrene	1.67E-09	7.34E-10
9	Benz[a]anthracene	1.60E-07	1.29E-07
10	Chrysene	1.43E-08	1.10E-08
11	Benzo[b]fluoranthene	7.44E-08	6.48E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	7.60E-08	7.19E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.58E-06	6.30E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.59E-07	1.35E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.80E-07	1.31E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.52E-08	1.38E-08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.22 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กบ้านเกาะ)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	9.44E-10	7.47E-10
2	Acenaphthylene	1.09E-09	7.57E-10
3	Acenaphthene	1.20E-09	8.73E-10
4	Fluorene	1.32E-09	9.00E-10
5	Phenanthrene	1.23E-09	7.65E-10
6	Anthracene	1.24E-08	7.05E-09
7	Fluoranthene	1.23E-09	7.74E-10
8	Pyrene	1.34E-09	7.68E-10
9	Benz[a]anthracene	1.62E-07	1.25E-07
10	Chrysene	1.48E-08	1.16E-08
11	Benzo[b]fluoranthene	7.63E-08	6.78E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	8.13E-08	6.35E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.53E-06	6.55E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.92E-07	1.59E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.99E-07	1.31E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.70E-08	1.52E-08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. ความเสี่ยงต่อสุขภาพของการได้รับสัมผัสสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งผ่านเส้นทางการได้รับสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation pathway) ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ แสดงดังตารางที่ 4.23 4.24 4.25 4.26 และ 4.27 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs พบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร และพบมากที่สุดคือความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และ ศูนย์เด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี มีค่าเท่ากับ $1.25x10^{-6}$ $1.35x10^{-6}$ $1.17x10^{-6}$ $1.17x10^{-6}$ และ $1.04x10^{-6}$ ตามลำดับ ซึ่งมีเฉพาะสาร Benzo(a)pyrene เท่านั้นมีค่าความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ที่กำหนดค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งไม่เกิน $1.0x10^{-6}$ สอดคล้องกับการศึกษาของ Fiala et al. (2011) ที่ได้ศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากรับสัมผัสสาร PAHs ของกลุ่มเด็กเล็กในบรรยากาศพบความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene และสาร Indeno(1,2,3-cd)pyrene สูงที่สุดเท่ากับ $0.22x10^{-5}$ และ $5.5x10^{-6}$ ในขณะเดียวกันค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของสาร PAHs ทั้ง 14 ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, , Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene มีค่าความเสี่ยงน้อยกว่า $1.0x10^{-6}$ ไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา สอดคล้องกับการศึกษาของ Pongpiachan et al. (2015) ที่ได้ศึกษาความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ของกลุ่มผู้ใหญ่และกลุ่มเด็กเล็กในโรงเรียนที่ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตชนบทและเขตเมือง พบค่าความเสี่ยงของสาร Benzo(a)pyrene เท่ากับ $9.46x10^{-6}$ และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene มีค่าเท่ากับ $1.86x10^{-6}$ เกินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ในขณะที่สาร PAHs ที่เหลือชนิดอื่น เช่น Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene และ Benzo(b)fluoranthene มีค่าความเสี่ยงไม่เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.23 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.สุรนารี)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	8.22E-10	4.66E-10
2	Acenaphthylene	8.82E-10	5.28E-10
3	Acenaphthene	9.05E-10	5.79E-10
4	Fluorene	1.03E-09	4.03E-10
5	Phenanthrene	1.02E-09	5.31E-10
6	Anthracene	7.79E-09	5.86E-09
7	Fluoranthene	9.56E-10	5.30E-10
8	Pyrene	1.01E-09	5.56E-10
9	Benz[a]anthracene	1.35E-07	7.65E-08
10	Chrysene	1.11E-08	8.28E-09
11	Benzo[b]fluoranthene	6.44E-08	4.03E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	6.68E-08	3.91E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.25E-06	4.50E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.43E-07	8.56E-08
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.45E-07	9.18E-08
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.46E-08	8.80E-09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.24 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.ปรุใหญ่)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	7.71E-10	4.05E-10
2	Acenaphthylene	9.71E-10	4.51E-10
3	Acenaphthene	9.84E-10	5.49E-10
4	Fluorene	1.05E-09	6.44E-10
5	Phenanthrene	1.01E-09	4.98E-10
6	Anthracene	1.02E-08	4.32E-09
7	Fluoranthene	1.00E-09	4.99E-10
8	Pyrene	1.02E-09	4.96E-10
9	Benz[a]anthracene	1.21E-07	7.87E-08
10	Chrysene	1.24E-08	8.23E-09
11	Benzo[b]fluoranthene	6.77E-08	4.86E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	7.21E-08	4.61E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.35E-06	4.47E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.27E-07	7.49E-08
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.35E-07	8.67E-08
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.24E-08	8.29E-09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.25 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	6.62E-10	3.68E-10
2	Acenaphthylene	8.18E-10	4.59E-10
3	Acenaphthene	8.68E-10	4.76E-10
4	Fluorene	8.48E-10	5.95E-10
5	Phenanthrene	8.38E-10	5.28E-10
6	Anthracene	8.49E-09	3.98E-09
7	Fluoranthene	8.68E-10	4.39E-10
8	Pyrene	9.27E-10	4.87E-10
9	Benz[a]anthracene	1.17E-07	7.68E-08
10	Chrysene	1.19E-08	7.29E-09
11	Benzo[b]fluoranthene	6.24E-08	4.55E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	5.74E-08	3.66E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.17E-06	3.88E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.36E-07	8.89E-08
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.26E-07	8.13E-08
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.20E-08	7.17E-09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.26 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.โคกกรวดเมืองใหม่)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	7.23E-10	4.59E-10
2	Acenaphthylene	8.10E-10	4.26E-10
3	Acenaphthene	8.61E-10	4.53E-10
4	Fluorene	8.91E-10	6.61E-10
5	Phenanthrene	8.85E-10	4.52E-10
6	Anthracene	8.28E-09	4.39E-09
7	Fluoranthene	8.52E-10	4.66E-10
8	Pyrene	8.19E-10	4.54E-10
9	Benz[a]anthracene	7.11E-08	8.20E-08
10	Chrysene	1.16E-08	7.70E-09
11	Benzo[b]fluoranthene	6.07E-08	4.43E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	6.84E-08	4.27E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.17E-06	3.89E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.38E-07	9.49E-08
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.32E-07	8.57E-08
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.25E-08	8.74E-09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.27 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านใหม่)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	6.99E-10	4.93E-10
2	Acenaphthylene	8.09E-10	5.32E-10
3	Acenaphthene	7.79E-10	6.18E-10
4	Fluorene	9.09E-10	6.36E-10
5	Phenanthrene	9.82E-10	6.72E-10
6	Anthracene	1.08E-08	7.24E-09
7	Fluoranthene	1.01E-09	7.29E-10
8	Pyrene	9.65E-10	6.05E-10
9	Benz[a]anthracene	1.26E-07	8.71E-08
10	Chrysene	1.07E-08	8.09E-09
11	Benzo[b]fluoranthene	6.18E-08	4.14E-08
12	Benzo[k]fluoranthene	6.14E-08	3.95E-08
13	Benzo[a]pyrene	1.04E-06	3.72E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.49E-07	1.06E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	1.36E-07	8.88E-08
16	Benzo[g,h,i]perylene	1.22E-08	8.09E-09

4.3.2 ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs โดยการประเมินจากค่า LADD : Lifetime Average Daily Dose

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในอากาศของเด็กเล็กที่อาศัยอยู่ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กคำนวณได้ผลคูณของค่า LADD : Lifetime Average Daily Dose กับค่า Slope Factor ของสาร PAHs แต่ละชนิดมีทั้งหมด 16 ชนิดซึ่งมีค่าแตกต่างกัน ใช้เป็นค่าประมาณการศักยภาพความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง หากค่าความเสี่ยงที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า $1.0x10^{-6}$ แสดงว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ดังกล่าวนั้น หากค่าความเสี่ยงที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า $1.0x\ 10^{-6}$ แสดงว่า มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ดังกล่าวนั้น (US.EPA, 1998) ซึ่งการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร

PAHs แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลโดยมีผลการประเมินดังนี้

1. ความเสี่ยงต่อสุขภาพของการได้รับสัมผัสสาร PAHs ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งผ่านเส้นทางการได้รับสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation pathway) ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ แสดงดังตารางที่ 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 และ 4.32 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs พบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร และพบมากที่สุดคือความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟมีค่าเท่ากับ $1.84x10^{-6}$ ซึ่งมีเฉพาะสาร Benzo(a)pyrene เท่านั้นมีค่าความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ที่กำหนดค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งไม่เกิน $10x10^{-6}$ เช่นเดียวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ หนองไผ่ล้อม สวนหม่อน และศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ มีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของสาร Benzo(a)pyrene เท่ากับ $1.51 x10^{-6}$ $1.47x10^{-6}$ $1.36x10^{-6}$ และ $1.32x10^{-6}$ สอดคล้องกับการศึกษาของ Slezakova et al. (2013) ที่ได้ศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมืองพบความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene เท่ากับ $3.7x10^{-6}$ ซึ่งมีค่าความเสี่ยงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสาร PAHs อีกทั้ง 15 ชนิด และการศึกษานี้พบสาร PAHs อีก 15 ชนิดได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a,h) anthracene, Benzo(g,h,i)perylene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene มีค่าความเสี่ยงน้อยกว่า $1.0x10^{-6}$ ไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา สอดคล้องกับการศึกษาของ Bostrom et al. (2012) ที่ได้ศึกษาความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในบรรยากาศพบค่าความเสี่ยงของสาร Benzo(a)pyrene, Benzo(a,h)anthracene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene เกินค่าความเสี่ยงต่อมะเร็งที่ยอมรับได้ในขณะที่สาร PAHs ที่เหลือชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยงไม่เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.28 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	3.48E-07	2.58E-07
2	Acenaphthylene	5.13E-07	3.87E-07
3	Acenaphthene	1.79E-07	1.34E-07
4	Fluorene	5.98E-07	4.69E-07
5	Phenanthrene	2.23E-07	1.69E-07
6	Anthracene	4.16E-07	2.73E-07
7	Fluoranthene	4.73E-07	3.32E-07
8	Pyrene	2.49E-07	1.69E-07
9	Benz[a]anthracene	8.67E-07	6.43E-07
10	Chrysene	4.18E-07	3.18E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	4.88E-07	3.23E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	3.47E-07	2.15E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.51E-06	5.20E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	4.00E-07	2.93E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	5.34E-07	3.20E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	8.27E-07	4.16E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.29 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสามัคคีรถไฟ)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	3.49E-07	2.46E-07
2	Acenaphthylene	4.92E-07	3.56E-07
3	Acenaphthene	1.60E-07	1.38E-07
4	Fluorene	6.01E-07	4.86E-07
5	Phenanthrene	2.13E-07	1.37E-07
6	Anthracene	4.17E-07	2.50E-07
7	Fluoranthene	4.49E-07	3.06E-07
8	Pyrene	2.47E-07	1.55E-07
9	Benz[a]anthracene	8.11E-07	6.64E-07
10	Chrysene	3.99E-07	3.01E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	4.67E-07	3.13E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	3.20E-07	2.24E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.84E-06	5.80E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	3.68E-07	2.14E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	5.76E-07	3.27E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	7.23E-07	5.46E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.30 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กหนองไผ่ล้อม)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	3.39E-07	2.38E-07
2	Acenaphthylene	4.83E-07	3.48E-07
3	Acenaphthene	1.69E-07	1.38E-07
4	Fluorene	6.31E-07	4.82E-07
5	Phenanthrene	2.15E-07	1.37E-07
6	Anthracene	4.47E-07	2.63E-07
7	Fluoranthene	4.43E-07	3.14E-07
8	Pyrene	2.35E-07	1.67E-07
9	Benz[a]anthracene	7.86E-07	6.72E-07
10	Chrysene	4.39E-07	3.13E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	4.41E-07	3.39E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.92E-07	2.39E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.47E-06	5.75E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	3.48E-07	2.13E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	3.83E-07	2.75E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	7.27E-07	5.81E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.31 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสวนหม่อน)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	3.33E-07	2.36E-07
2	Acenaphthylene	4.87E-07	3.05E-07
3	Acenaphthene	1.59E-07	1.23E-07
4	Fluorene	5.84E-07	4.70E-07
5	Phenanthrene	2.49E-07	1.27E-07
6	Anthracene	4.29E-07	2.31E-07
7	Fluoranthene	4.86E-07	2.88E-07
8	Pyrene	2.90E-07	1.28E-07
9	Benz[a]anthracene	7.75E-07	6.25E-07
10	Chrysene	3.65E-07	2.80E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	3.60E-07	3.14E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.55E-07	2.41E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.36E-06	5.45E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.86E-07	2.43E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	4.36E-07	3.17E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	6.41E-07	5.81E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.32 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กบ้านเกาะ)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	2.99E-07	2.37E-07
2	Acenaphthylene	4.61E-07	3.20E-07
3	Acenaphthene	1.72E-07	1.25E-07
4	Fluorene	6.08E-07	4.13E-07
5	Phenanthrene	2.06E-07	1.28E-07
6	Anthracene	3.94E-07	2.23E-07
7	Fluoranthene	4.28E-07	2.69E-07
8	Pyrene	2.33E-07	1.34E-07
9	Benz[a]anthracene	7.87E-07	6.06E-07
10	Chrysene	3.76E-07	2.94E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	3.70E-07	3.29E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.73E-07	2.13E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.32E-06	5.65E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	3.46E-07	2.87E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	4.83E-07	3.16E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	7.17E-07	6.41E-07

1. ความเสี่ยงต่อสุขภาพของการได้รับสัมผัสสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งผ่านเส้นทางการได้รับสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation pathway) ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ แสดงดังตารางที่ 4.33 4.34 4.35 4.36 และ 4.37 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs พบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารแต่ไม่พบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายในอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ ซึ่งความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารจากสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือความเสี่ยงจากการรับ

สัมผัสสาร Benzo(a)pyrene ค่าความเสี่ยงในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และ ศูนย์เด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี มีค่าเท่ากับ $1.08x\ 10^{-6}$ $1.17x10^{-6}$ $1.10x10^{-6}$ $1.20x10^{-6}$ และ $1.14x10^{-6}$ ตามลำดับ ซึ่งมีเฉพาะสาร Benzo(a)pyrene เท่านั้นมีค่าความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ที่กำหนดค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งไม่เกิน $1.0x10^{-6}$ สอดคล้องกับการศึกษาของ Fiala et al. (2011) ที่ได้ศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากรับสัมผัสสาร PAHs ของกลุ่มเด็กเล็กในบรรยากาศพบความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene และสาร Indeno(1,2,3-cd)pyrene สูงที่สุดเท่ากับ $0.22x10^{-5}$ และ $5.5x10^{-6}$ ในขณะเดียวกันค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของสาร PAHs ทั้ง 14 ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene มีค่าความเสี่ยงน้อยกว่า $1.0x\ 10^{-6}$ ไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา สอดคล้องกับการศึกษาของ Pongpiachan et al. (2015) ที่ได้ศึกษาความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ของกลุ่มผู้ใหญ่และกลุ่มเด็กเล็กในโรงเรียนที่ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตชนบทและเขตเมือง พบค่าความเสี่ยงของสาร Benzo(a)pyrene เท่ากับ $9.46x10^{-6}$ และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene มีค่าเท่ากับ $1.86x10^{-6}$ เกินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ในขณะที่สาร PAHs ที่เหลือชนิดอื่น เช่น Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene และ Benzo(b)fluoranthene มีค่าความเสี่ยงไม่เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.33 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.สุรนารี)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	2.60E-07	1.48E-07
2	Acenaphthylene	3.72E-07	2.23E-07
3	Acenaphthene	1.29E-07	8.27E-08
4	Fluorene	4.74E-07	1.85E-07
5	Phenanthrene	1.70E-07	8.90E-08
6	Anthracene	2.47E-07	1.86E-07
7	Fluoranthene	3.33E-07	1.84E-07
8	Pyrene	1.75E-07	9.67E-08
9	Benz[a]anthracene	6.52E-07	3.70E-07
10	Chrysene	2.82E-07	2.11E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	3.12E-07	1.95E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.24E-07	1.31E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.08E-06	3.89E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.57E-07	1.54E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	3.51E-07	2.22E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	6.16E-07	3.72E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.34 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.ปรุใหญ่)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	2.44E-07	1.28E-07
2	Acenaphthylene	4.10E-07	1.91E-07
3	Acenaphthene	1.41E-07	7.85E-08
4	Fluorene	4.82E-07	2.96E-07
5	Phenanthrene	1.70E-07	8.35E-08
6	Anthracene	3.22E-07	1.37E-07
7	Fluoranthene	3.49E-07	1.74E-07
8	Pyrene	1.77E-07	8.62E-08
9	Benz[a]anthracene	5.87E-07	3.81E-07
10	Chrysene	3.15E-07	2.09E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	3.28E-07	2.36E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.42E-07	1.54E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.17E-06	3.85E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.29E-07	1.35E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	3.26E-07	2.10E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	5.23E-07	3.50E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.35 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคี)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	2.10E-07	1.17E-07
2	Acenaphthylene	3.45E-07	1.94E-07
3	Acenaphthene	1.24E-07	6.79E-08
4	Fluorene	3.90E-07	2.74E-07
5	Phenanthrene	1.41E-07	8.85E-08
6	Anthracene	2.69E-07	1.26E-07
7	Fluoranthene	3.02E-07	1.53E-07
8	Pyrene	1.61E-07	8.47E-08
9	Benz[a]anthracene	5.66E-07	3.72E-07
10	Chrysene	3.02E-07	1.86E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	3.02E-07	2.21E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	1.93E-07	1.23E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.10E-06	3.35E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.46E-07	1.60E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	3.06E-07	1.97E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	5.06E-07	3.03E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.36 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.โคกกรวด เมืองใหม่)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	2.29E-07	1.45E-07
2	Acenaphthylene	3.42E-07	1.80E-07
3	Acenaphthene	1.23E-07	6.46E-08
4	Fluorene	4.10E-07	3.04E-07
5	Phenanthrene	1.48E-07	7.57E-08
6	Anthracene	2.62E-07	1.39E-07
7	Fluoranthene	2.96E-07	1.62E-07
8	Pyrene	1.42E-07	7.89E-08
9	Benz[a]anthracene	3.44E-07	3.97E-07
10	Chrysene	2.96E-07	1.96E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	2.94E-07	2.15E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.29E-07	1.43E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.20E-06	3.36E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.49E-07	1.71E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	3.20E-07	2.08E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	5.29E-07	3.69E-07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.37 ความเสี่ยงจากกการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา (ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก อบต.บ้านใหม่)

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	ค่าความเสี่ยง (Cancer Risk)	
		ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
1	Naphthalene	2.21E-07	1.56E-07
2	Acenaphthylene	3.42E-07	2.25E-07
3	Acenaphthene	1.11E-07	8.82E-08
4	Fluorene	4.18E-07	2.92E-07
5	Phenanthrene	1.65E-07	1.13E-07
6	Anthracene	3.41E-07	2.29E-07
7	Fluoranthene	3.53E-07	2.54E-07
8	Pyrene	1.68E-07	1.05E-07
9	Benz[a]anthracene	6.11E-07	4.22E-07
10	Chrysene	2.72E-07	2.06E-07
11	Benzo[b]fluoranthene	3.00E-07	2.01E-07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.06E-07	1.32E-07
13	Benzo[a]pyrene	1.14E-06	3.21E-07
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.68E-07	1.90E-07
15	Dibenz[a,h]anthracene	3.30E-07	2.15E-07
16	Benzo[g,h,i]perylene	5.15E-07	3.42E-07

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk)จากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็ง ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กระหว่างพื้นที่ในเขตเทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา พบค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาสูงกว่าค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ดังแสดงในภาคผนวก ฉ. ผลการทดสอบสมมมุติฐานจึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1นั้นคือ ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในเขตเทศบาลสูงกว่าค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสาร PAHs นอกเขตเทศบาลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามเกณฑ์พิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมทั่วไปจากสถานที่ตั้งศูนย์เด็กเล็กที่อยู่ในพื้นที่เขตเมือง (Urban Area) ที่พบค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งสูงกว่าพื้นที่นอก

เขตเมือง (Rural Area) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Loawagul et al. (2009) ได้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสาร PAHs ในพื้นที่เขตเมือง (Urban Area) ประเทศไทยสูงกว่าปริมาณสาร PAHs นอกพื้นที่เขตเมือง (Rural Area) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Sienra et al. (2005) ได้ศึกษาปริมาณสาร PAHs ในพื้นที่เขตเมืองเทียบกับพื้นที่นอกเขตเมืองพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีโอกาสได้รับสัมผัสสาร PAHs เขตเมืองสูงกว่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเมืองนครราชสีมาทั้งหมด 10 ศูนย์โดยแบ่งเป็นศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาล 5 ศูนย์และศูนย์เด็กเล็กนอกเขตเทศบาล 5 ศูนย์ เพื่อศึกษาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็ง ทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและอนุภาค ทั้งภายในอาคาร (Indoor) และภายนอกอาคาร (Outdoor) รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่างซึ่งปริมาณสาร PAHs ที่วิเคราะห์ได้นำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กระหว่างพื้นที่ในเขตเทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา โดยสรุปผลการศึกษาดังนี้

5.1.1 สภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

1. ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล จากผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งหมด 5 ศูนย์ ได้แก่ ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟหนองไผ่ล้อม สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต.บ้านเกาะ โดยศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่มีจำนวนเด็กเล็กมากที่สุดคือ ศูนย์เด็กเล็กสวนหม่อนจำนวน 128 และมีจำนวนบุคลากรดูและเด็กเล็ก 8 คน ตามลำดับ และพบว่าทุกศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคยได้รับการประเมินมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กจากสำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา สมศ. ข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล จากผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งหมด 5 ศูนย์ ได้แก่ ศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และเคหะประชาสามัคคี โดยศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเคหะประชาสามัคคีมีจำนวนเด็กเล็กสูงที่สุดเท่ากับ 110 คน มีจำนวนบุคลากรจำนวน 7 คน ตามลำดับ และทุกศูนย์เคยได้รับการประเมินมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กจาก สมศ.

2. สิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็ก

สิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลทั้ง 5 ศูนย์ไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีกิจกรรมการไหม้ใดๆ เช่น การเผาไหม้ขยะมูลฝอยจากชุมชน ไม่มีบุคลากรภายในศูนย์เด็กเล็กสูบบุหรี่ภายในศูนย์เด็กเล็ก ส่วนในเรื่องของสถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัวนั้น ศูนย์เด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์ได้เหมาจ่ายกับแม่ครัวภายนอกจึงไม่มีการปรุงประกอบอาหารภายในศูนย์เด็กเล็ก ข้อมูลด้าน

สภาพการจราจรบริเวณศูนย์เด็กเล็ก พบว่าศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 ศูนย์มีสภาพการจราจรที่หนาแน่นผ่านถนนเส้นหลักเนื่องมาจากมีปริมาณยานพาหนะมากกว่า 2,000 คันต่อ 6 ชั่วโมง โดยที่ระยะห่างของศูนย์เด็กเล็กห่างจากถนนเส้นหลักไม่เกิน 500 เมตร ในขณะที่ข้อมูลด้านการระบายอากาศในศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟ สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ มีการใช้เครื่องปรับอากาศภายในศูนย์เด็กเล็ก ยกเว้นศูนย์เด็กเล็กสวนหม่อนเป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติไม่มีเครื่องปรับอากาศภายในห้องเรียน ด้านระยะเวลาการอยู่อาศัยของเด็กเล็กภายในศูนย์เด็กเล็ก พบว่าเด็กเล็กอาศัยอยู่ในศูนย์เด็กเล็กเป็นเวลาทั้งหมด 6 ชั่วโมงต่อวัน ในส่วนของข้อมูลด้านน้ำหนักตัวของเด็กเล็กอายุไม่เกิน 5 ปี อยู่ในช่วง 14.0 ถึง 16.5 กิโลกรัมซึ่งอยู่เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขกำหนดน้ำตัวของเด็กเล็กอายุไม่เกิน 5 ปีไว้ที่ 14-17 กิโลกรัม ในขณะที่ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการศึกษามีสภาพอากาศปกติไม่มีฝนตก และมีลมทิศตะวันออกเฉียงใต้พัดผ่านศูนย์เด็กเล็กสภาพอากาศถ่ายเทสะดวก

สิ่งแวดล้อมของศูนย์เด็กเล็กนอกเขตเทศบาลทั้ง 5 ศูนย์ มีสภาพแวดล้อมคล้ายกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล แต่มีข้อมูลด้านสิ่งแสดล้อมที่แตกต่างกัน ได้แก่ การระบายอากาศของศูนย์เด็กเล็กนอกเขตเทศบาลเป็นแบบธรรมชาติอากาศถ่ายเทผ่านประตูหน้าต่างไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศภายในห้องเรียน และสภาพการจราจรบริเวณถนนเส้นหลักที่ใกล้กับศูนย์เด็กเล็กนั้นมีสภาพการจราจรที่เบาบางกว่าเมื่อเทียบกับศูนย์เด็กเล็กที่อยู่ในเขตเทศบาล

3. การประเมินสภาวะสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ ได้แก่ ศูนย์เด็กเล็กชลประทานสงเคราะห์ สามัคคีรถไฟ หนองไผ่ล้อม สวนหม่อน และศูนย์เด็กเล็ก อบต. บ้านเกาะ ผ่านเกณฑ์การประเมินจำนวน 14 15 14 12 และ 14 ข้อ ตามลำดับซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ซึ่งข้อที่แต่ละศูนย์เด็กเล็กไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินมากที่สุด คือข้อที่ 14 มาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินสำหรับป้องกันอุบัติภัยอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ ได้แก่ ศูนย์เด็กเล็ก อบต. สุรนารี อบต. ปรุใหญ่ อบต. โคกกรวดเมืองใหม่ อบต. บ้านใหม่ และ เคหะประชาสามัคคี มีจำนวนข้อที่ผ่านเกณฑ์การประเมิน 15 14 13 14 และ 14 ข้อ ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับดีมาก เช่นเดียวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาล แสดงถึงมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กที่ดี คือ มีการส่งเสริมพัฒนาการเด็กเล็กจากการมีศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ดีอยู่ในสภาพแวดล้อมสะอาดและปลอดภัยตามข้อแนะนำขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

5.1.2 ปริมาณสาร PAHs ในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล

1. การกระจายตัวของสาร PAHs ในอากาศ

กระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด กระจายตัวทั้งในรูปของสถานะก๊าซและฝุ่นละอองในอากาศของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งในและนอกเขตเทศบาลเมืองนครนครราชสีมา โดยจะพบสาร PAHs กระจายตัวอยู่ในสถานะฝุ่นละอองมากกว่าการกระจายตัวอยู่ในสถานะก๊าซโดยมีสัดส่วนของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ Benzo(a)pyrene อยู่ในฝุ่นละอองร้อยละ 56.85 อยู่ในก๊าซร้อยละ 43.15 และพบปริมาณน้อยที่สุดคือ Benzo(k)fluoranthene กระจายตัวอยู่ในฝุ่นละอองร้อยละ 53.13 และอยู่ในก๊าซร้อยละ 46.87 สรุปได้ว่าสาร PAHs กระจายตัวอยู่ในฝุ่นละอองมากกว่าในก๊าซ

2. ปริมาณสาร PAHs ภายในและภายนอกอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล

ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในอากาศ ของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลพบสาร PAHs ภายนอกอาคารมากกว่าสาร PAHs ภายในอาคาร เช่นเดียวกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาล เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs ในเขตเทศบาลกับนอกเขตเทศบาล สรุปได้ว่า พบมากที่สุดในเขตเทศบาลคือ Indeno(1,2,3-cd)pyrene Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene Benzo(a)pyrene เท่ากับ 1.59 2.02 2.00 และ 1.78 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เช่นเดียวกับนอกเขตเทศบาลที่พบสาร Indeno(1,2,3-cd)pyrene Benzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene Benzo(a)pyrene มากที่สุดเท่ากับ 1.13 13.0 1.55 และ 1.55 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะเดียวกันสาร PAHs ที่พบปริมาณน้อยที่สุดคือ Naphthalene ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลมีค่าเท่า 1.00 และ 0.75 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณสาร PAHs ในอากาศของศูนย์เด็กเล็กในเขตเทศบาลสูงกว่า 1.3 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณสาร PAHs นอกเขตเทศบาล

5.1.3 ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้งภายในและภายนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

สรุปผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งผ่านเส้นทางการได้รับสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation pathway) ทั้งภายในและภายนอกอาคารในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 5 ศูนย์ พบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร เช่นเดียวกันทั้งในและนอกเขตเทศบาล และพบมากที่สุดคือความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzo(a)pyrene มีค่าเท่ากับ 1.75×10^{-6} ซึ่งมีเฉพาะสาร Benzo(a)pyrene ภายนอกอาคารเท่านั้นมีค่าความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ เปรียบเทียบความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ระหว่างพื้นที่ในเขต

เทศบาลกับพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา พบค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาสูงกว่า 1.4 เท่าของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลอย่างมีนัยสำคัญ $p<0.05$

5.2 ข้อจำกัด/ ข้อควรระวังในการศึกษา

1) การวิเคราะห์หาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยใช้เครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) ต้องกำหนดช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน PAHs ทั้ง 16 ชนิด (Mixed Standard PAHs) ที่ความเข้มข้นต่ำมากถึงระดับส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เนื่องจากการสร้างกราฟมาตรฐานต้องใช้ความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในปริมาณน้อยมากระดับไมโครลิตรหากเตรียมผิดพลาดไปแม้แต่เล็กน้อย จะทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS ผิดไปเช่นกัน และที่สำคัญสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง GC/MS เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งที่ผู้วิจัยต้องกำหนดให้เป็นไปตามวิธีการมาตรฐาน Method TO-13A เพื่อให้วิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ได้

2) การวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดจากตัวอย่างฝุ่นละอองและก๊าซในอากาศนั้น ผู้วิจัยต้องทำการสกัดตัวอย่างให้เร็วที่สุดภายหลังจากเก็บตัวอย่างอากาศมา หรือเก็บตัวอย่างไว้ได้ไม่เกิน 14 วันตามวิธีการเก็บรักษาตัวอย่างของ Method TO-13A (US.EPA, 1998)

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยนี้

1) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมาควรมีการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินสำหรับป้องกันอุบัติภัยอย่างน้อยปีละ 1 ครั้งเพื่อความปลอดภัยของเด็กเล็กและบุคคลากรทุกคนที่อาศัยอยู่ในศูนย์เด็กเล็ก และเพื่อส่งเสริมพัฒนาการเด็กเล็กจากการมีศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ดีอยู่ในสภาพแวดล้อมสะอาดและปลอดภัยตามข้อแนะนำขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

2) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลควรมีการปลูกต้นไม้ยืนต้นตามแนวเขตรั้วของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก หรือ การก่อสร้างแนวป้องกันฝุ่นละอองหรือมลพิษทางอากาศเพื่อเป็นแนวป้องกันฝุ่นละอองจากการจราจรจากบริเวณถนนเส้นหลักที่อยู่ใกล้กับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเพื่อลดปริมาณการรับสัมผัสสารมลพิษอื่นๆ รวมถึงสาร PAHs ที่กระจายตัวมากับฝุ่นละอองในอากาศได้

3) บุคคลากรในศูนย์พัฒนาเด็กควรพิจารณาช่วงเวลาการจัดกิจกรรมให้เด็กเล็กได้อาศัยอยู่ในอาคารเป็นระยะเวลายาวนานกว่าการอาศัยอยู่ภายนอกอาคารทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคาร

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

1) ควรมีการศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ฤดูกาล ที่อาจมีผลต่อปริมาณสาร PAHs ที่อาจจะพบได้มากหรือน้อยแต่งต่างกันไปตามฤดูกาล

2) ควรมีการศึกษาปริมาณสาร PAH ริมถนน (Road site) บริเวณถนนเส้นหลักที่อยู่ใกล้เคียงกับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในแต่ละศูนย์เพื่อให้เห็นแนวโน้มของการกระจายตัวของสาร PAHs ในอากาศจากริมถนนมาสู่ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กิตติโรจน์ หวันตาหลา. (2549). **การศึกษาปริมาณ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในบรรยากาศ ณ บริเวณสถานีขนส่งสายใต้**. กรุงเทพฯ: สานักพิมพ์ สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. (2548). **พีเอเอช**. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2556). **แหล่งกาเนิดสารมลพิษอากาศ**. [ออนไลน์]. ได้จาก http://aqnis. pcd. go.th /node/2292. เมื่อวันที่ 5 มกราคม 2557.

กรมควบคุมมลพิษ. (2556). **ค่ามาตรฐานสารมลพิษอากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย**. [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html#s1. เมื่อวันที่ 25 มกราคม 2557.

กรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น. (2551). **มาตรฐานศูนย์เด็กเล็ก**. [ออนไลน์]. ได้จาก http:// www.dla.go.th/work/e_book. เมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2558.

ดนัย ทิพย์มณี. (2551). **แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม**. [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.te.psu.ac.th/th. เมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2558.

ปาจารี ทองสนิท. (2555). **สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นในช่วงการเกิดหมอกควันของจังหวัดเชียงใหม่ กรุงเทพฯ**: สานักพิมพ์ สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

แม้น อมรสิทธิ์. (2552). **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. [ออนไลน์]. ได้จาก http://docs.scphtrang.ac.th เมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2558.

รุ่งนภา รักษาทรัพย์. (2550). **รูปแบบของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอ-เอช) ที่เกาะบนอนุภาคในอากาศบริเวณใกล้เคียงโรงไฟฟ้าในประเทศไทย**. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. (1): 72-80.

วิทชย เพชรเลียบ. (2551). **การประเมินความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจและสารเคมีก่ออันตรายของ พนักงานรมควันยางแผ่น จังหวัดสงขลา (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต)**. ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย. สงขลา: มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์; 2551.

สำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา. (2556). **ข้อมูลทั่วไปเทศบาลนครนครราชสีมา**. [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.koratcity.go.th. เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2557.

สำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา. (2556). **ข้อมูลศูนย์เด็กเล็กในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา**. [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.koratcity.go.th/population52. เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2557 อณุนุรักษ์ มาเนตร. (2552). สิ่งแวดล้อมในศูนย์เด็กเล็ก. [ออนไลน์]. ได้จาก http://www. koratcity. go.th. เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2557.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1995). **Toxicological profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Bostrom et al. (2008). Cancer riskassessment, indicators, and guidelines for polycyclicaromatic hydrocarbons in the ambient air. **Environmental Health Perspectives.** 110(3): 451-488.

Grarivait, H. et al., 1999, Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok Urban Air. **Characterization and Quantification, Polycyclic Aromatic Compounds.** 13. 313-327.

Grarivait, H., 1999, **A Study on Air Pollution by Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok Urban Atmosphere, A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Technical Science**, AIT, Bangkok, Thailand.

Hongmei et al. (2005). Personal Exposure to Fine Particulatesand Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Office Environmentin Xi'an, China. **Frontier of Environmental Science**. 4(2): 33-46.

International Agency for Research on Cancer (IARC). (1997). Polynuclear aromatic compounds, Part 1. **Chemical Environment and Experimental Data,** 32.

International Agency for Research on Cancer (IARC), 1999. **Overall Evaluations of Carcinogenicity of Humans**. ได้จาก http://monoeval/erthall.iarc.fr International Agency for Research on Cancer . (2011). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, จาก http://monographs.iarc.fr.

Kim et al. (2013). A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. **Atmospheric environment**. 23(1): 81-92.

Krugly et al. (203). Characterization of particulate and vapor phase polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor air of primary schools. **Atmospheric Environment** (4): 298-306.

Mostert et al. (2011). Nitro-PAH in ambient particulate matter in the atmosphere of Athens. **Chemosphere.** 40(1): 533-537.

Naser et al. (2008). Chemical Composition of PM2.5 and PM10 and Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons at a Roadside and an Urban Background Area in Saitama, Japan **Atmospheric Environment** (2): 90-101.

Nelson et al. (1998). Diffusive exchange of gaseous Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in urban area. **Environ Science Technology**. 32(2): 912-919.

Naumova et al. (2008). Gas/particle distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in coupled outdoor/indoor atmospheres. **Atmospheric Environment** 37: 703-719.

Ospar et al. (2013). Health risk assessment for traffic policemen exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Tianjin, China. **Science of the Total Environment** 3: 240-250.

Pandit et al. (2004). Monitoring of indoor volatile organic compounds andpolycyclic aromatic hydrocarbons from kerosene cooking fuel. **The Science of the Total Environment** 2: 159-165.

Pongpiachan et al. (2013). Vertical distribution and potential risk of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in high buildings of Bangkok, Thailand. Asian Pac. J. Cancer Prev. 14(3): 1865-1877.

Pongpiachan et al. (2015).Assessing risks to adults and preschool children posed by PM2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbons)PAHs(during a biomass burning episode in Northern Thailand. **Science of the Total Environment**. (1): 435-444.

Ruiz et al et al. (2009). Seasonally dependent size distributions of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban aerosolsfrom densely populated areas. **Environ Science Technology** 22(2): 896-908.

Slezakova et al. (2010). Impact of vehicular traffic emissions on particulate-bound PAHs: Levels and associated health risks. **Atmos. Environ**. 35(19): 241-252.

US. EPA. (2012). Air pollutions standard. [Online]. **Available**: http://www.epa.gov/air/criteria.html. March 2, 2015.

US. EPA. (1999). **Health effect of Partical matter.** [Online]. Available: http://www.epa.gov/airquality/particulatematter/health.html. March 29, 2014.

US. EPA. (1997). **Emissions factors**. [Online]. Available: http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/. March 2, 2015.

US.EPA. (1998). **Toxicological Review of PAHs**. (CAS No. 91-20-3). http://www.epa.gov./iris, March 1, 2015.

U.S. EPA, (2005). Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency http://www.epa.gov./iris, March 1, 2015.

Wang et al. (2003). Risk assessment of non-dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) via house PM2.5, TSP and dust and the implications from human hair. **Atmospheric Environment** 3: 204-213.

Wichmann, J., Lind, T., Nilsson, M.A.-M., Bellander, T. (2013). PM2.5, soot and PAHs indoor outdoor relationships at homes, pre-schools and schools in Stockholm, Sweden. **Atmospheric Environment** 44, 4536e4544.

World Health Organization (WHO). (2002). **Environmental Health Criteria**: Selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.World Health Organization Publication, Geneva.

Zhang, X.L., Tao, S., Liu, W.X., Yang, Y., Zuo, Q., Liu, S.Z. (2015). Source diagnostics of polycyclic aromatic hydrocarbons based on species ratios: a multimedia approach. **Environmental Science and Technology** 39, 9109e9114.

Zheng et al. (2009). Research on distribution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in main traffic line crosses of Beijing urban district. **Atmospheric environment.** 23(1): 30-40.

ภาคผนวก ก

แบบประเมินสภาวะแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

แบบสอบถาม เรื่อง สภาพแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก
ที่มีผลต่อการได้รับสัมผัสสาร PAHs ในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กเขตเมืองนครราชสีมา

.....

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1.1 ชื่อศูนย์เด็กเล็ก

.....

1.2 สถานที่ตั้ง.....

1.3 ผู้ตอบแบบสอบถาม ชื่อ .....สกุล.....
ตำแหน่ง.....อายุ.....ปี

1.4 ศูนย์เด็กเล็กเคยผ่านการรับรองมาตรฐานของศูนย์เด็กเล็ก ( ) ไม่ ผ่าน
( ) ผ่าน อยู่ในระดับ.....
หน่วยงานที่ทำการประเมิน..... ประเมิน ณ วันที่.....

1.5 จำนวนเด็กเล็กในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก.....คน ชาย .....คน หญิง.....คน

1.6 จำนวนเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์.....คน ครู.....คน ภารโรง.....คน
แม่บ้าน.....คน อื่นๆ.....คน (ระบุ).....

ตอนที่ 2 แบบสำรวจด้านสิ่งแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

เกณฑ์การสำรวจ	แนวทางการสำรวจ	ผลการสำรวจ
1. ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กตั้งอยู่ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา	ศูนย์เด็กเล็กตั้งอยู่ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาหรือไม่	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
2.มีเขตพื้นที่การเผาไหม้อยู่รอบบริเวณศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	ศูนย์เด็กเล็กอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่การเผาไหม้ เช่น การเผาขยะมูลฝอยต่าง ๆหรือไม่	( ) มี ( ) ไม่มี ระบุรายละเอียด.....
3. มีกิจกรรมการเผาไหม้จากการสูบบุหรี่	มีบุคลากรในศูนย์เด็กเล็กสูบบุหรี่หรือไม่	( ) มี ( ) ไม่มี ระบุรายละเอียด.....
4.สถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัว	มีการปรุงประกอบอาหารภายในอาคารเรียนหรือไม่ และเชื้อเพลงที่ใช้คือ (ถ่าน, เตาแก๊ส หรือ กระทะไฟฟ้า)	( ) มี ( ) ไม่มี ระบุรายละเอียด.....

เกณฑ์การสำรวจ	แนวทางการสำรวจ	ผลการสำรวจ
5.สภาพการจราจรบริเวณศูนย์เด็กเล็ก	การจราจรหนาแน่นมาก (มากกว่า 2,000 คัน/วัน) การจราจรหนาแน่น (มากกว่า 1,000 คัน/วัน) การจราจรเบาบาง (น้อยกว่า 1,000คัน/วัน) (กรมทางหลวง, 2556)	.....หนาแน่นมาก (มากกว่า 2,000 คัน/วัน) .....หนาแน่น (มากกว่า 1,000 คัน/วัน) .....เบาบาง (น้อยกว่า 1,000 คัน/วัน)
6. ระยะห่างของศูนย์เด็กเล็กจากถนนเส้นหลัก	ระยะห่างจากถนนเส้นหลักไม่เกิน 500 เมตร (Krugly et al, 2013)	( ) ไม่เกิน 500 เมตรจากถนนเส้นหลัก ( ) ระยะห่างมากกว่า 500 เมตร
7. การระบายอากาศในศูนย์เด็กเล็ก	การระบายผ่านประตูหน้าต่างตามธรรมชาติ หรือมีการใช้เครื่องปรับอากาศ	.....ระบายผ่านประตูหน้าต่างตามธรรมชาติ (ระบายอากาศผ่านประตูหน้าต่างร้อยละ.....) ……..เครื่องปรับอากาศ (การเปิดเครื่องปรับอากาศ .....ชั่วโมง/วัน)
8. ระยะเวลาการอยู่อาศัยภายในอาคารของเด็กเล็ก	ระยะเวลานับจากการเปิดและปิดให้บริการของศูนย์เด็กเล็ก	เฉลี่ย.....ชั่วโมง/วัน
9. น้ำหนักตัวของเด็กเล็ก	น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของเด็กเล็ก หมายเหตุ : ข้อมูลทุติยภูมิน้ำหนักตัวของเด็กเล็ก	น้ำหนักตัวเฉลี่ย.....กิโลกรัม
10. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ.....องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ.....
11. ทิศทางลม	ตรวจวัดทิศทางการเคลื่อนที่ของลมขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ	ทิศทางการเคลื่อนที่ของลม……

ตอนที่ 3 แบบประเมินศูนย์เด็กเล็ก (ด้านสิ่งแวดล้อม)

<u>วิธีการประเมิน</u> ศูนย์เด็กเล็กน่าอยู่ในแต่ละหัวข้อ ให้ทำเครื่องหมายลงในช่องของการประเมิน โดยพิจารณาตามเกณฑ์ประเมินว่ารายการที่ประเมินนั้น ผ่าน หรือ ไม่ผ่าน เกณฑ์การประเมินแล้วทำเครื่องหมาย(องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น, 2551)

[√] ผ่าน = สภาพที่ได้มาตรฐานถูกต้องตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ให้ใส่เครื่องหมาย “ถูก”

[X] ไม่ผ่าน = สภาพที่ต่ำกว่าเกณฑ์จำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไข ให้ใส่เครื่องหมาย “ผิด”

ตอนที่ 3 แบบประเมินศูนย์เด็กเล็ก (ด้านสิ่งแวดล้อม)

เกณฑ์การประเมิน	แนวทางการประเมิน	การประเมิน	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.สถานที่ตั้งศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	ต้องไม่อยู่ในพื้นที่ ซึ่งอาจเสี่ยงต่ออันตราย ได้แก่ บริเวณขนถ่ายแก๊ส น้ำมัน สารเคมี หรือสารพิษ มลภาวะทางอากาศ แสง และเสียงที่มากเกินควร		
2.ตัวอาคารศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	ควรมีจำนวนชั้นไม่เกิน 2 ชั้น นับจากพื้น หากสูงเกินกว่า 2 ชั้น ต้องมีมาตรการป้องกันอัคคีภัยและอุบัติภัยต่างๆ		
3.ประตู-หน้าต่าง ต้องมีความแข็งแรง	นับจากพื้นให้เด็กมองเห็นสิ่งแวดล้อมได้กว้างและชัดเจน นอกจากนี้ บริเวณประตู-หน้าต่างๆ ไม่ควรมีสิ่งกีดขวางใดๆ มาปิดกั้น ช่องทางลมและแสงสว่าง		
4.สถานที่ประกอบอาหารหรือห้องครัว	ต้องแยกห่างจากบริเวณพื้นที่สำหรับเด็กพอสมควร		
5.ตรวจวัดแสงสว่างภายในอาคาร	ควรเป็นแสงสว่างจากธรรมชาติ สม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง เอื้ออำนวยต่อการจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาเด็ก เช่น มีแสงสว่างเพียงพอ ในการอ่านหนังสือ (ความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียน 400 ลักซ์)		
6.ตรวจวัดเสียง (ระดับเสียงเฉลี่ย Leq)	เสียงต้องอยู่ในระดับที่ไม่ดังเกิน (ระหว่าง 60-80 เดซิเบล) อาคารควรจะตั้งอยู่ในบริเวณที่มีระดับเสียงเหมาะสม		
7.การถ่ายเทอากาศ	ควรมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก โดยมีพื้นที่ของหน้าต่าง ประตู และช่องลมรวมกันแล้วไม่น้อยกว่า ร้อยละ 20 ของพื้นที่ห้อง บริเวณที่มีเด็กอยู่ต้องเป็นเขตปลอดบุหรี่		

เกณฑ์การประเมิน	แนวทางการประเมิน	การประเมิน	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
8. สภาพแวดล้อมและมลพิษ	ควรมีสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ถูกสุขลักษณะ และควรตั้งอยู่ห่างจากแหล่งอบายมุข ฝุ่นละอองกลิ่น หรือเสียงที่รบกวน มีการจัดระบบสุขาภิบาล การระบายน้ำ การระบายอากาศ และการจัดเก็บสิ่งปฏิกูลให้เหมาะสม ไม่ปล่อยให้เป็นแหล่งเพาะ หรือแพร่เชื้อโรค		
9.พื้นที่เล่นกลางแจ้ง	ต้องมีพื้นที่เล่นกลางแจ้ง เฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2.00 ตารางเมตร ต่อจำนวนเด็ก 1 คน โดยจัดให้มีเครื่องเล่นกลางแจ้งที่ปลอดภัย		
10. ห้องน้ำ ห้องส้วมสะอาด ถูกสุขลักษณะ	ห้องน้ำ ห้องส้วมสะอาด พื้นไม่ลื่น โถส้วมขนาดเหมาะสมกับตัวเด็กหรือถ้าเป็นของผู้ใหญ่ต้องมีสิ่งช่วยเสริมการใช้ที่ปลอดภัย เช่น ราวจับ		
11. พื้นที่ใช้สอยจัดเป็นสัดส่วน และเพียงพอ	แยกพื้นที่ใช้สอยเป็นสัดส่วน เช่น ห้องครัว ห้องรับประทานอาหาร ห้องกิจกรรม ห้องส้วม มีอ่างล้างมือพร้อมสบู่ และ/หรือที่แปรงฟันสำหรับเด็ก มีพื้นที่ใช้สอย		
12.มีการจัดการขยะถูกสุขลักษณะ	ภาชนะรองรับขยะสภาพดีมีฝาปิด มิดชิดมีการจัดเก็บออกจากตัวอาคารทุกวันที่พักขยะเก็บมิดชิดและมีการนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี		
13. มีการป้องกันแมลงและพาหะนำโรค	มีมุ้งลวดบริเวณที่เป็นห้องนอน มีการกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์ยุงลายทุกสัปดาห์		
14.มาตรการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉิน	การฝึกซ้อมสำหรับการป้องกันอุบัติภัยอย่างสม่ำเสมอ ไม่น้อยกว่าปีละ 1 ครั้ง		
15.ผู้ดูแลเด็กเล็กผ่านการอบรบการดูแลเด็กเล็ก	ผู้ดูแลเด็กเล็กผ่านการอบรบการดูแลเด็กเล็กไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของจำนวนผู้ดูแลทั้งหมด		

หมายเหตุ : แบบประเมินนี้ประยุกต์มาจากมาตรฐานสภาพแวดล้อมศูนย์เด็กเล็ก (องค์กรปกครองส่วน-ท้องถิ่น, 2551) และมาตรฐานศูนย์เด็กเล็กน่าอยู่ด้านสิ่งแวดล้อม (กรมอนามัย, 2552)

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมด้านสภาพแวดล้อมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

.....

.....

……

……..……

……..……

……

.

ลงชื่อ.....(ผู้ให้ข้อมูล)

(.....)

วันที่.....

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

สภาวะที่เหมาะสมของ GC/MS ที่ใช้วิเคราะห์สาร PAHs

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข.1 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์หาสาร PAHs

การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์หาสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดแสดงดังตารางที่ ข.1 และลำดับสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่วิเคราะห์ได้แสงตามลำดับดังนี้ (ตารางที่ ข.2)

ตารางที่ ข.1 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง GC/MS ในการหาสาร PAHs

พารามิเตอร์	สภาวะ
Gas Chromatography	
Column	J&W Scientific, DB-5 crosslinked 5% phenylmethyl silicone
Carrier Gas	(30 m x 0.32 mm, 1.0 μm film thickness) or equivalent
Injection Volume	Helium, velocity between 28-30 cm3/sec at 250°C
Injector Temperature	2 μL, Grob-type, splitless 290°C
Temperature Program	
Initial Column Temperature	70°C
Initial Hold Time	4±0.1 min.
Program	10°C/min to 300°C and hold 10 min.
Final Temperature	300°C
Final Hold Time	10 min. or until all compounds of interest have eluted
Mass Spectrometer	
Transfer Line Temperature	290°C or According to Manufacturer's Specification
Source Temperature	According to Manufacturer's Specifications
Electron Energy	70 volts (nominal)
Ionization Mode	EI
Mass Range	35 to 500 amu, full range data acquisition (SCAN) mode

สาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์ตามสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง GC/MS มีลำดับของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ดังนี้

ตารางที่ ข.2 แสดงลำดับสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดตามระยะเวลาสัมพันธ์ของการวิเคราะห์

ลำดับ PAHs	เวลา	พื้นที่พีค	ชนิดของ PAHs
1	9.82	1500087	Naphthalene
2	13.78	1338205	Acenaphthylene
3	14.24	1579310	Acenaphthene
4	15.46	1387792	Fluorene
5	17.72	1650760	Phenanthrene
6	17.82	1344952	Anthracene
7	20.56	1495646	Fluoranthene
8	21.07	1620670	Pyrene
9	23.95	1406783	Benz[a]anthracene
10	24.04	1423810	Chrysene
11	26.36	1241420	Benzo[b]fluoranthene
12	26.41	1308430	Benzo[k]fluoranthene
13	27.01	1104376	Benzo[a]pyrene
14	29.61	954814	Indeno[1,2,3-cd]pyrene
15	29.7	939783	Dibenz[a,h]anthracene
16	30.29	1206538	Benzo[g,h,i]perylene

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์สาร PAHs

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ค. 1 การควบคุมคุณภาพ (% Recovery) ของวิธีการวิเคราะห์สาร PAHs ในอากาศด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS)

การตรวจสอบความใช้ได้ (% Recovery) ของวิธีการวิเคราะห์สาร PAHs ในอากาศด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) เพื่อให้มีความเที่ยงตรงในการใช้ข้อมูลอธิบายผล โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้ (สมการที่ 1) และผลที่ได้ควรมีค่า % Recovery อยู่ในช่วง 80-110 (Eurachem, 1998) ซึ่งผลการทดสอบความใช้ได้ (% Recovery) ของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด แสดงดังนี้ ตารางที่ ค.1.

$$\% \text{ Recovery} = \{(C1 - C2)/C3\}x100 \qquad \text{สมการที่ 1}$$

กำหนดให้

C1 = ความเข้มข้นที่วัดได้ของสัญญาณของตัวอย่างที่หาได้จาก Calibration curve

C2 = ความเข้มข้นที่วัดได้ของสัญญาณของตัวอย่างที่ไม่ได้มีการ spike ที่หาได้จาก Calibration curve

C3 = ความเข้มข้นจริงที่รู้แน่นอน (ความเข้มข้นที่ spike ในตัวอย่าง)

(Eurachem, 1998)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตรวจสอบร้อยละคืนกลับของวิธีการหาปริมาณสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็งด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS) แสดงดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 แสดงผลการทดสอบความใช้ได้ (% Recovery) ของการวิเคราะห์สาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดด้วยเครื่อง GC/MS

ลำดับ PAHs	ชนิดของ PAHs	% Recovery
1	Naphthalene	105
2	Acenaphthylene	106
3	Acenaphthene	106
4	Fluorene	107
5	Phenanthrene	87
6	Anthracene	99
7	Fluoranthene	85
8	Pyrene	86
9	Benz[a]anthracene	102
10	Chrysene	97
11	Benzo[b]fluoranthene	94
12	Benzo[k]fluoranthene	96
13	Benzo[a]pyrene	85
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	103
15	Dibenz[a,h]anthracene	85
16	Benzo[g,h,i]perylene	94

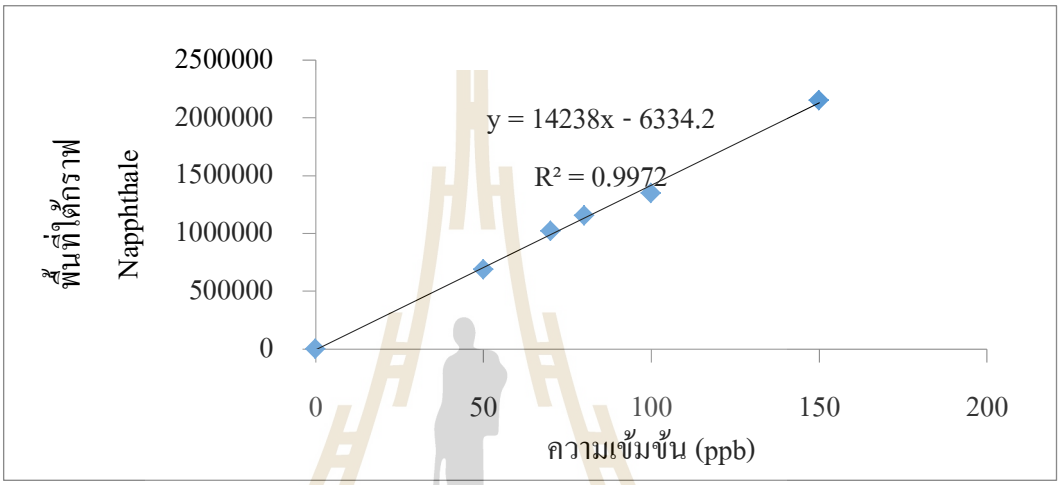
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

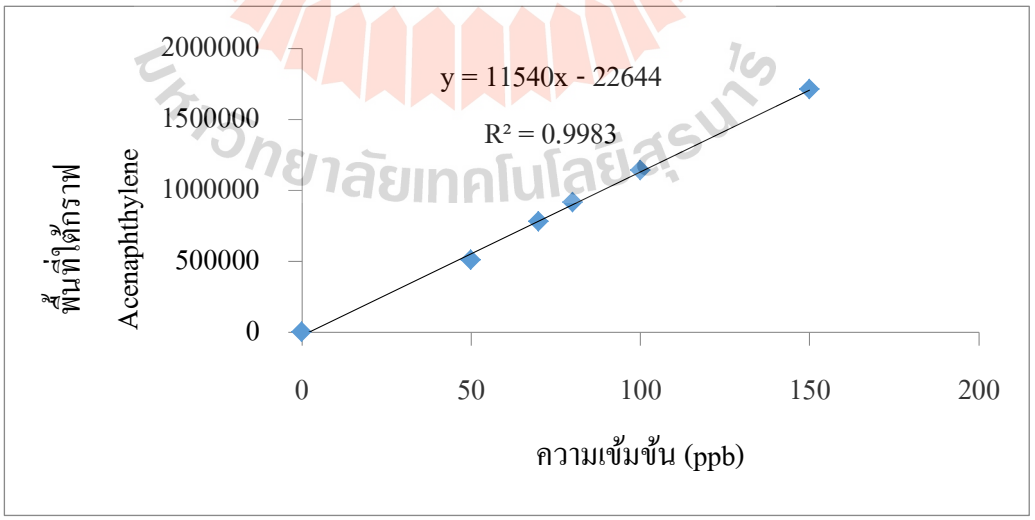
กราฟมาตรฐานของสาร PAHs

ง.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด

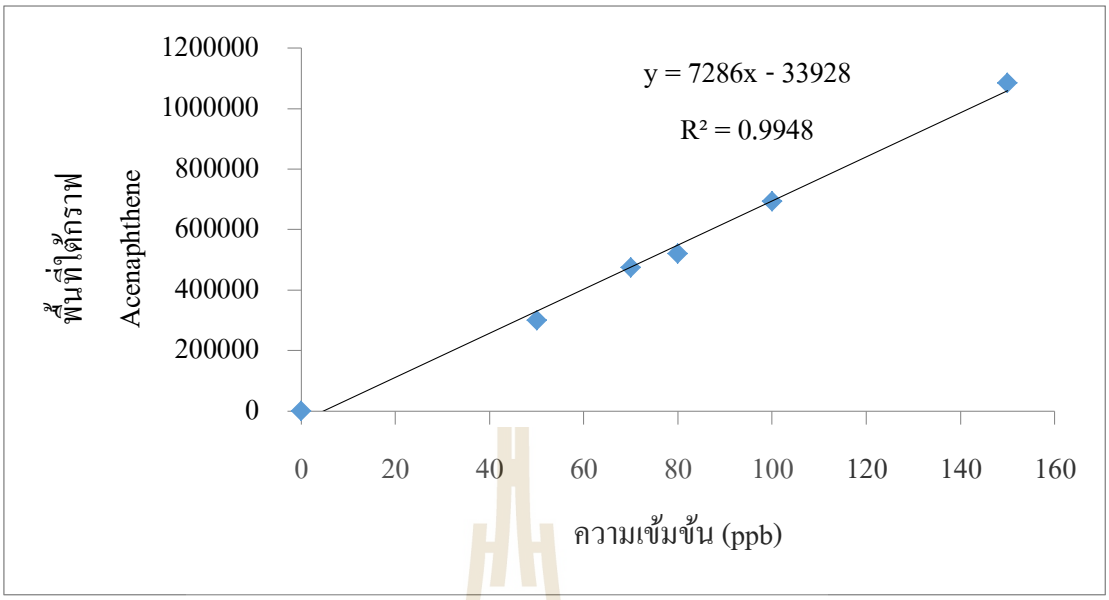
เตรียมสารละลายมาตรฐานของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด โดยสั่งซื้อสารมาตรฐาน Mixed Standard PAHs 16 ชนิด จากบริษัท ไตรเอ็นซายน์ โพรไวด์เดอร์ จำกัด สารมาตรฐานความเข้มข้น 50 70 80 100 150 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) ตามลำดับ จากนั้นเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดกับพื้นที่ใต้กราฟ แสดงดังรูปที่ ง.1-ง.16 ตามลำดับ



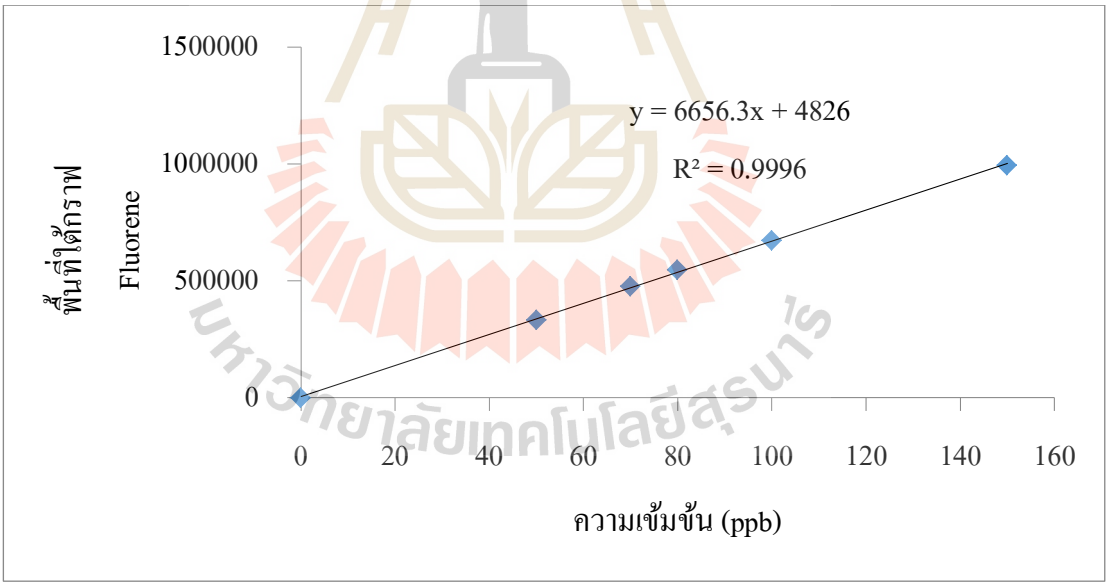
รูปที่ ง.1 กราฟมาตรฐานของ Naphthalene



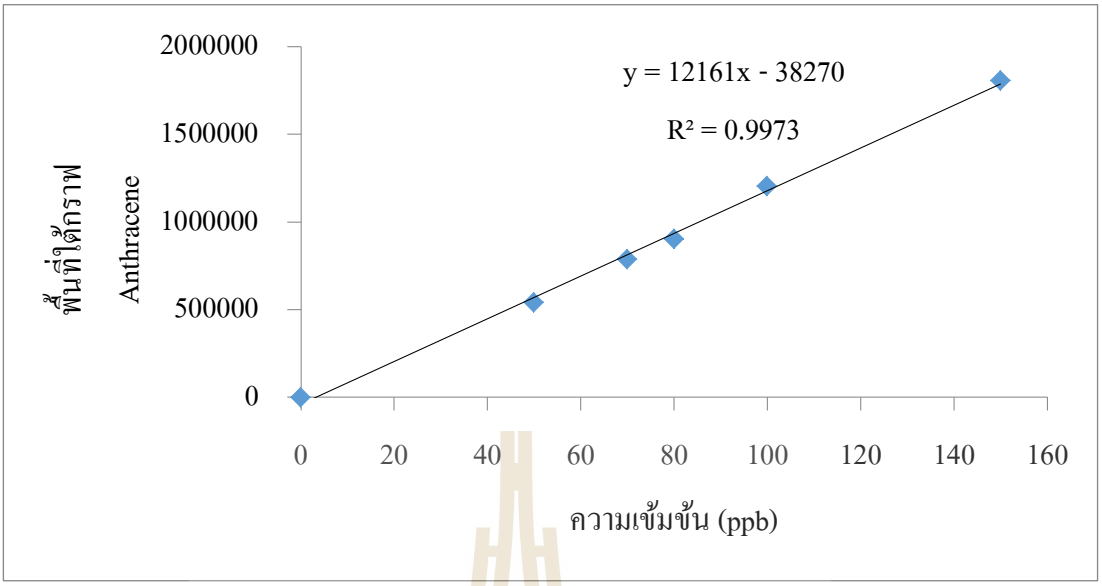
รูปที่ ง.2 กราฟมาตรฐานของ Acenaphthylene



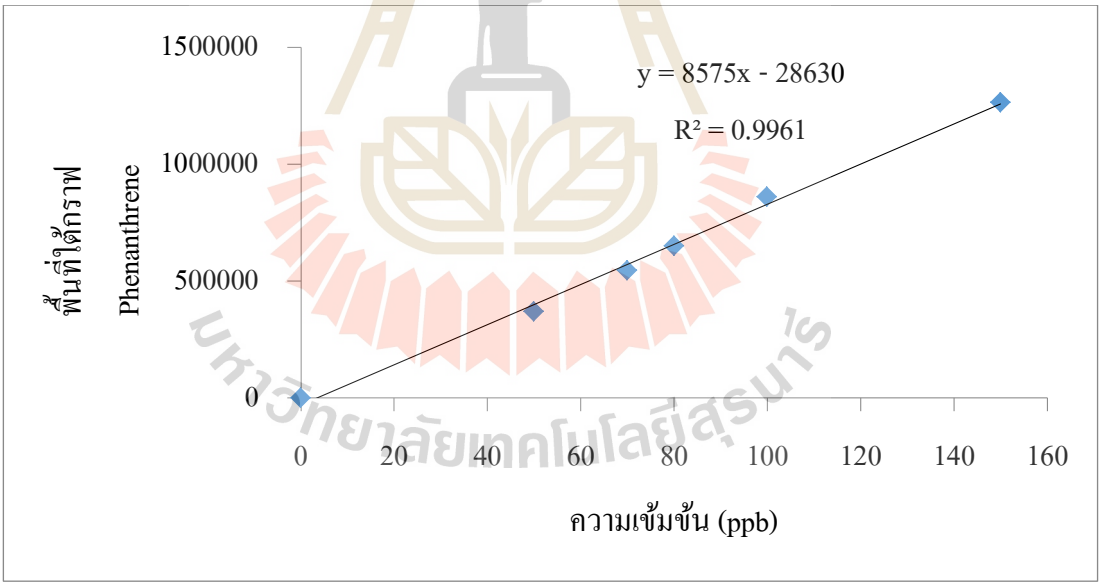
รูปที่ ง.3 กราฟมาตรฐานของ Acenaphthene



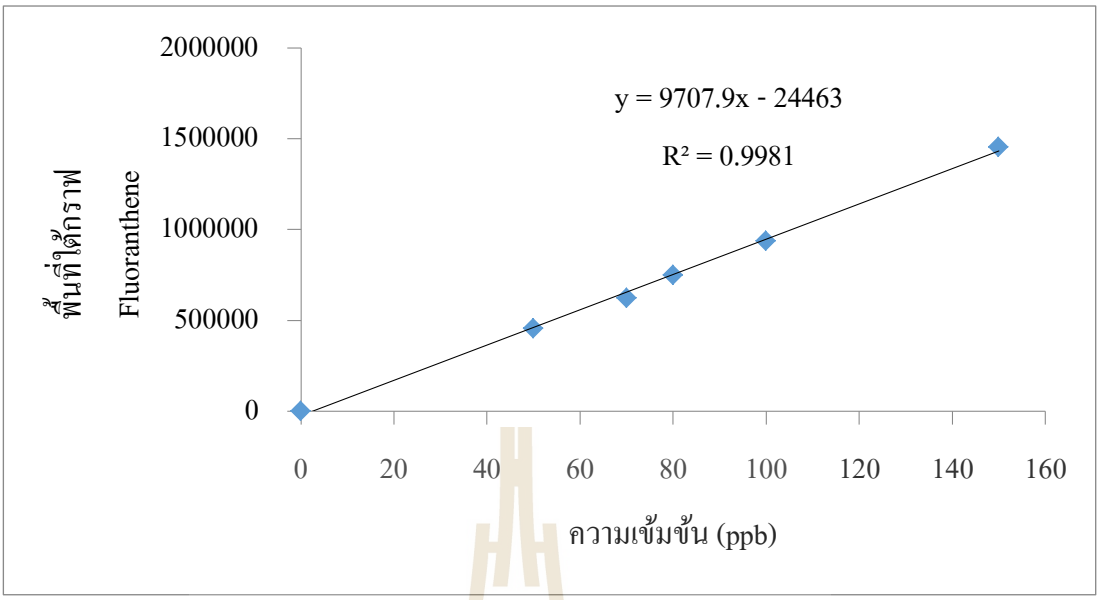
รูปที่ ง.4 กราฟมาตรฐานของ Fluorene



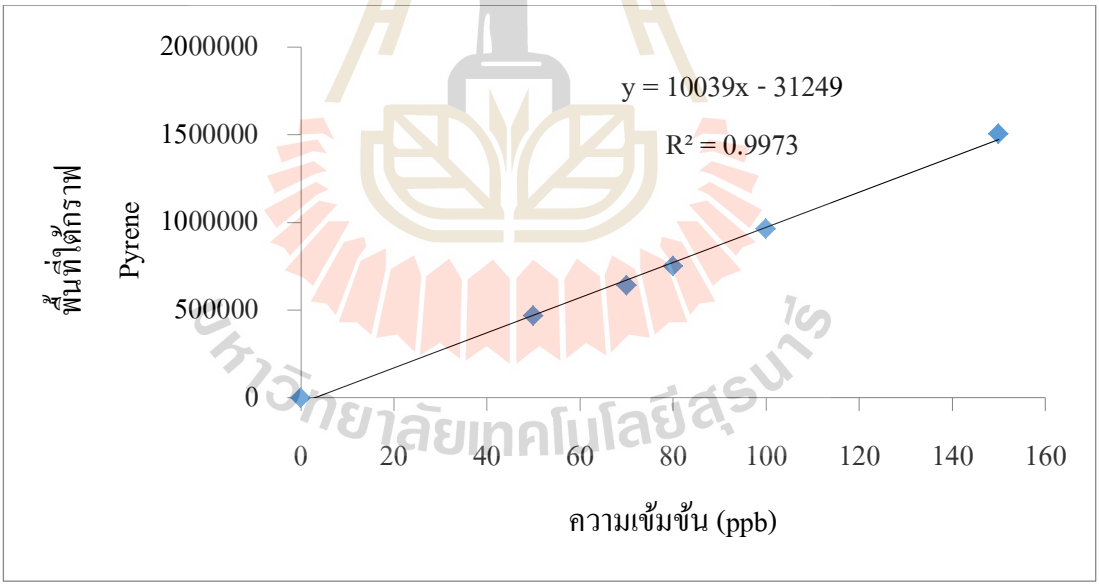
รูปที่ ง.5 กราฟมาตรฐานของ Anthracene



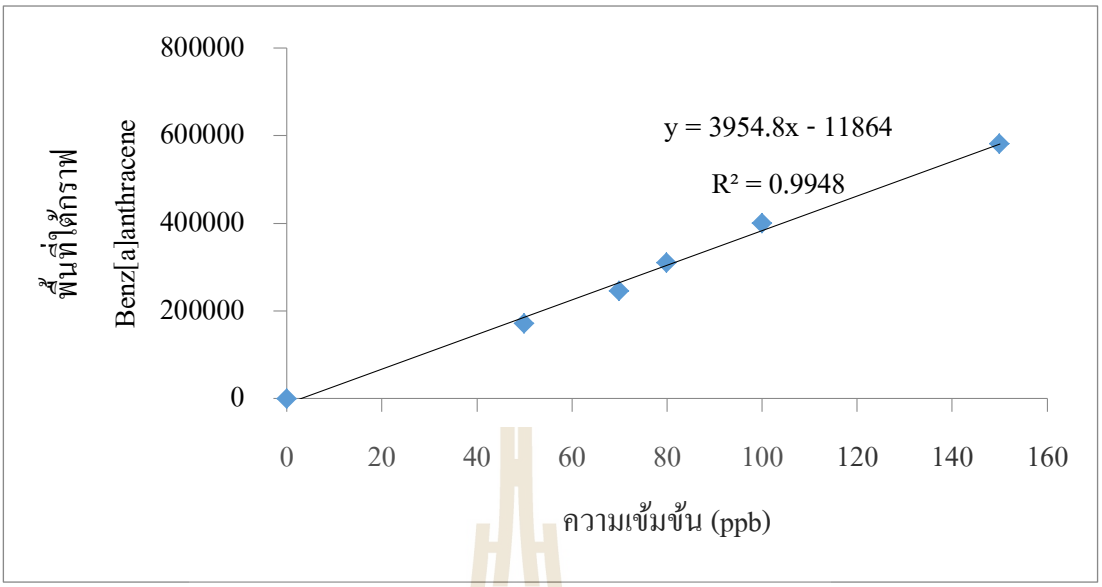
รูปที่ ง.6 กราฟมาตรฐานของ Phenanthrene



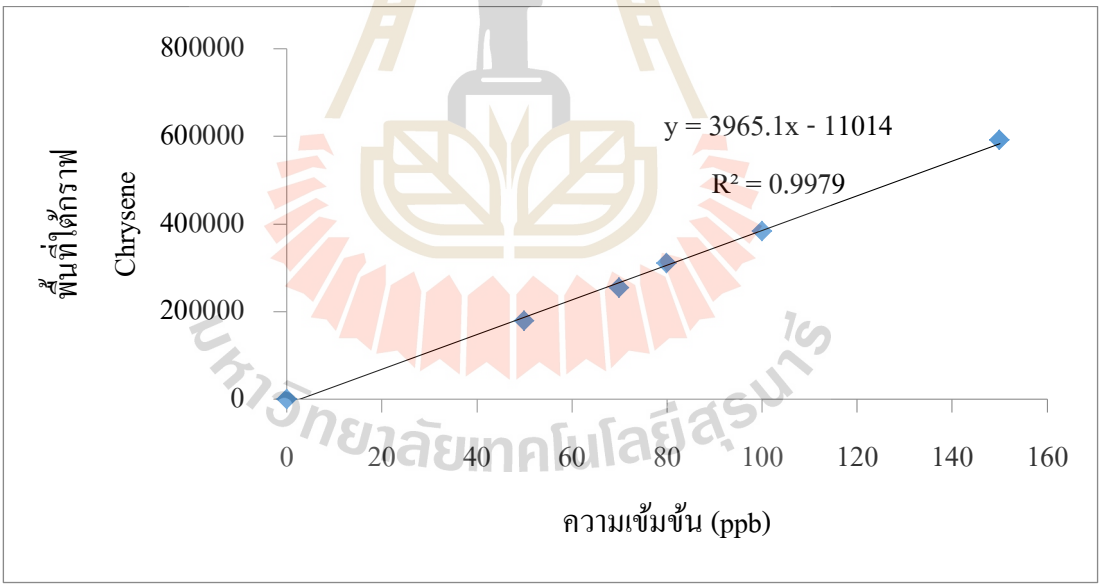
รูปที่ ง.7 กราฟมาตรฐานของ Fluoranthene



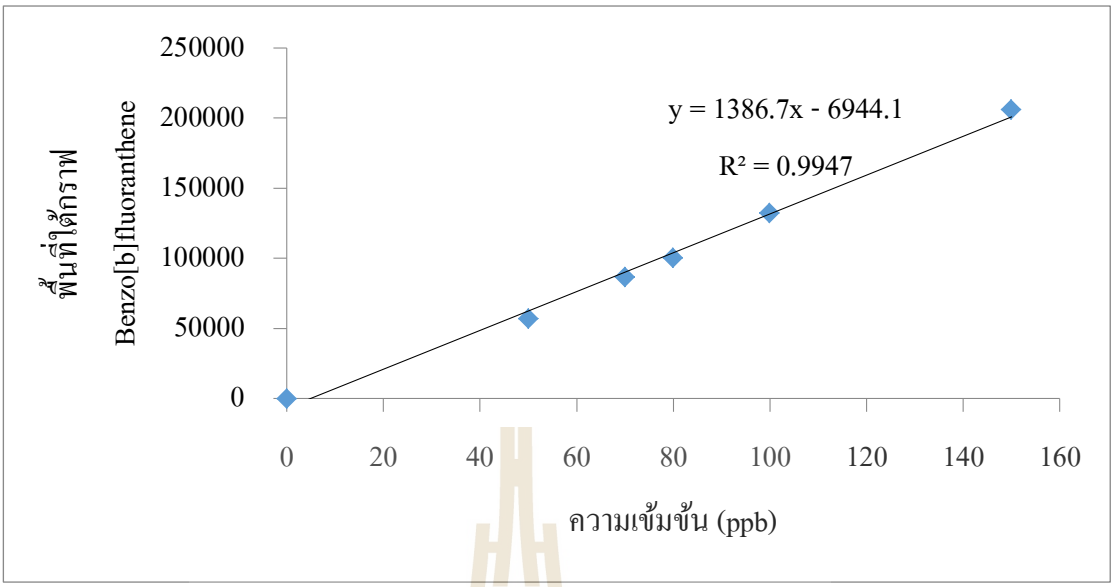
รูปที่ ง.8 กราฟมาตรฐานของ Pyrene



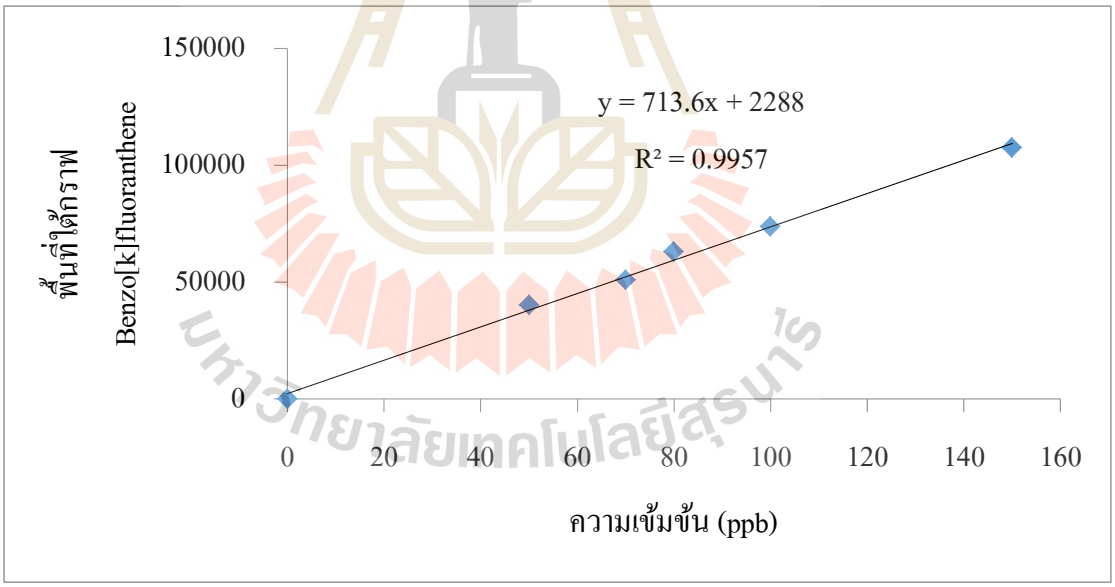
รูปที่ ง.9 กราฟมาตรฐานของ Benz[a]anthracene



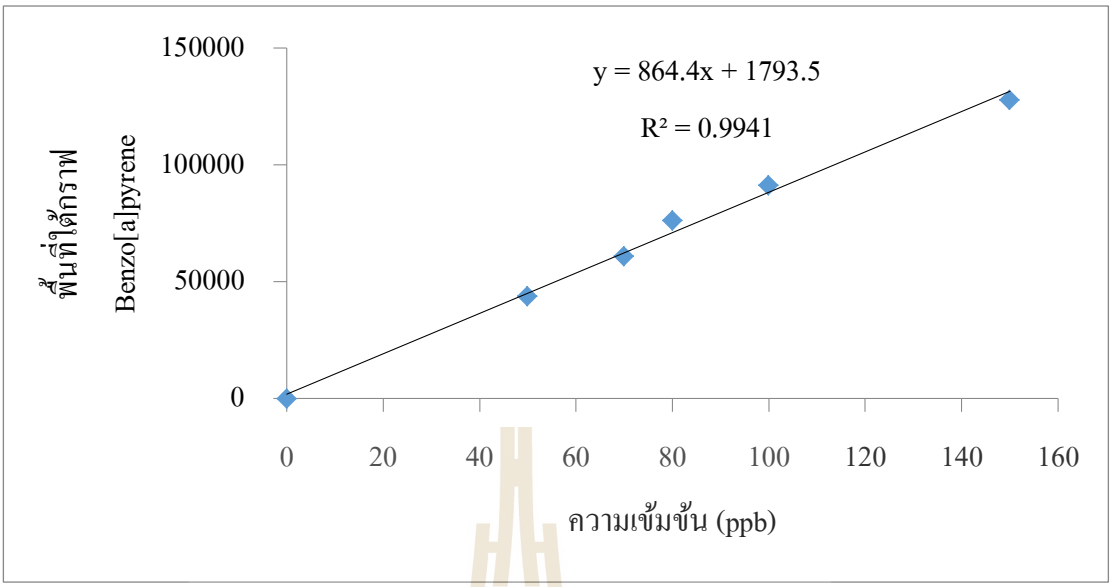
รูปที่ ง.10 กราฟมาตรฐานของ Chrysene



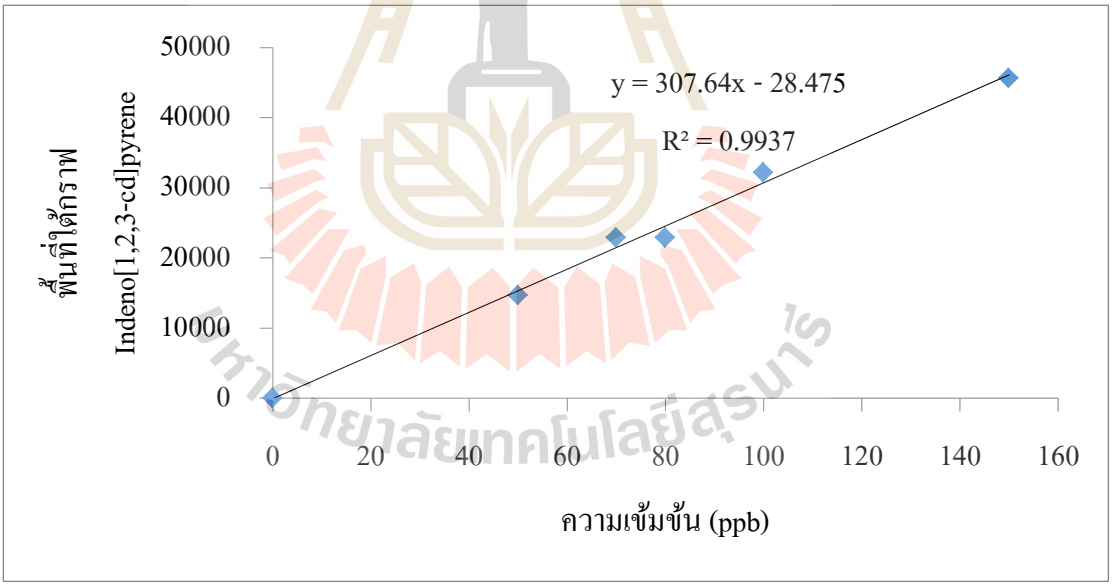
รูปที่ ง.11 กราฟมาตรฐานของ Benzo[b]fluoranthene



รูปที่ ง.12 กราฟมาตรฐานของ Benzo[k]fluoranthene

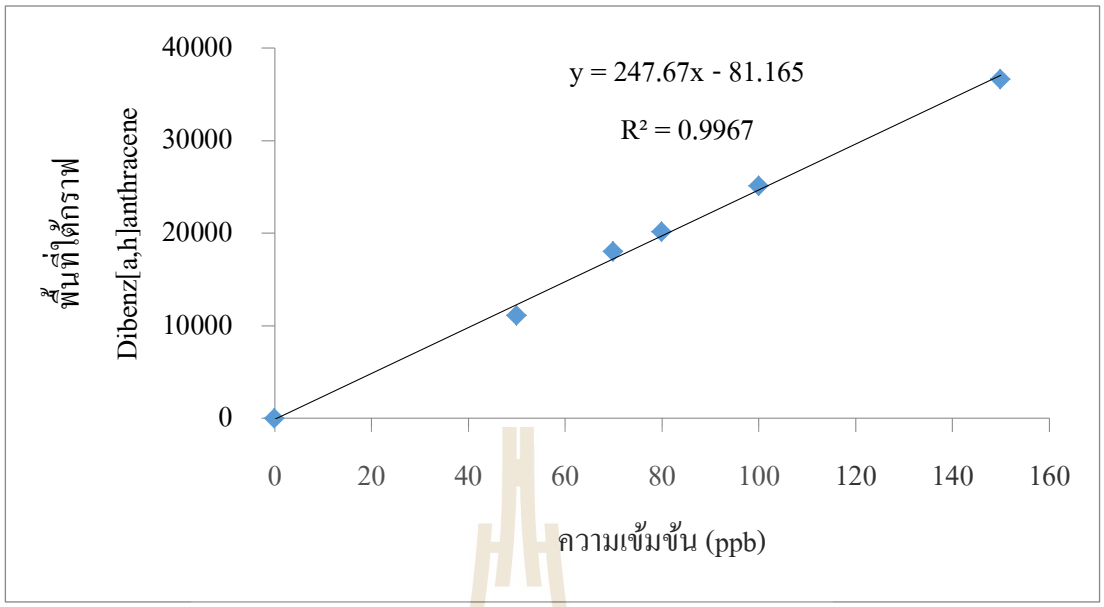


รูปที่ ง.13 กราฟมาตรฐานของ Benzo[a]pyrene

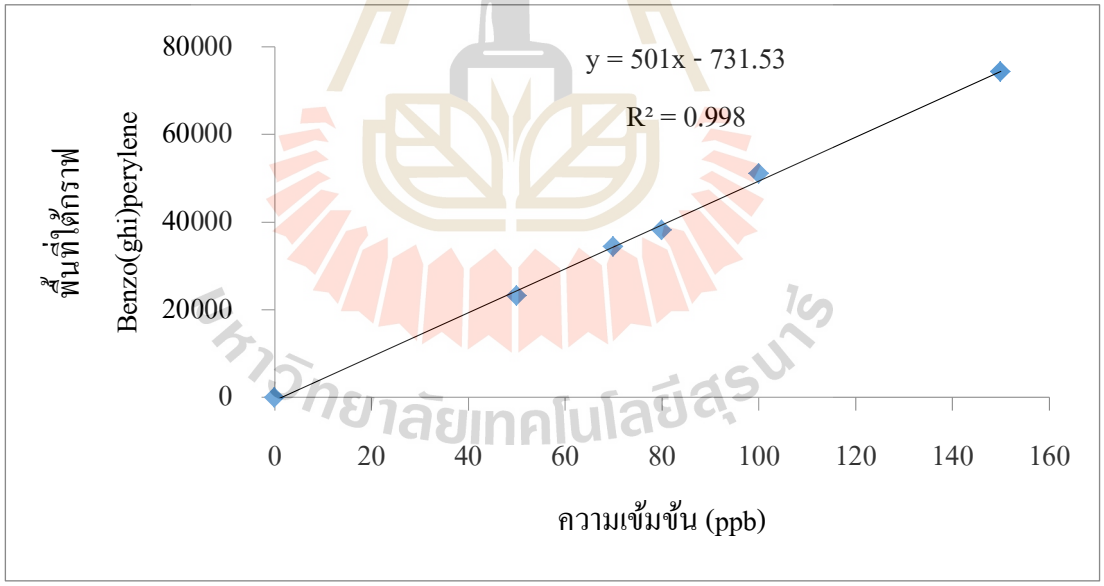


รูปที่ ง.14 กราฟมาตรฐานของ Indeno[1,2,3-cd]pyrene

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ง.15 กราฟมาตรฐานของ Dibenz[a,h]anthracene



รูปที่ ง.16 กราฟมาตรฐานของ Benzo[ghi]perylene

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก จ
ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเมืองนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จ.1 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ตารางที่ จ.1 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 5 ศูนย์

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	ภาพประกอบ
ชลประทานสงเคราะห์	
สามัคคีรถไฟ	
สวนหม่อน	
หนองไผ่ล้อม	
อบต. บ้านเกาะ	

ตารางที่ จ.2 ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา 5 ศูนย์

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก	ภาพประกอบ
อบต. สุรนารี	
อบต. ปรุใหญ่	
อบต. โคกกรวดเมืองใหม่	
อบต. บ้านใหม่	
เคหะประชาสามัคคี	

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดสอบสมมุติฐานระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในอากาศของกลุ่มเด็กเล็กในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

ทดสอบความแตกต่างด้วยโปรแกรม SPSS ผลที่ได้ปฏิเสธ H0 ยอมรับ H1นั้นคือ ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลนครราชสีมาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p<0.05$ (95% Confidence Interval of the Difference) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังนี้ (ตารางที่ ฉ.1 และ ตารางที่ ฉ.2)

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล จากการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการใช้ค่า LADD

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	p-value	ผลการทดสอบ
1	Naphthalene	.000	พบความแตกต่าง
2	Acenaphthylene	.000	พบความแตกต่าง
3	Acenaphthene	.000	พบความแตกต่าง
4	Fluorene	.001	พบความแตกต่าง
5	Phenanthrene	.001	พบความแตกต่าง
6	Anthracene	.000	พบความแตกต่าง
7	Fluoranthene	.000	พบความแตกต่าง
8	Pyrene	.000	พบความแตกต่าง
9	Benz[a]anthracene	.000	พบความแตกต่าง
10	Chrysene	.001	พบความแตกต่าง
11	Benzo[b]fluoranthene	.000	พบความแตกต่าง
12	Benzo[k]fluoranthene	.000	พบความแตกต่าง
13	Benzo[a]pyrene	.002	พบความแตกต่าง
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	.001	พบความแตกต่าง
15	Dibenz[a,h]anthracene	.000	พบความแตกต่าง
16	Benzo[ghi]perylene	.000	พบความแตกต่าง
	Total PAHs	.000	พบความแตกต่าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล จากการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการใช้ค่า TEF

ลำดับ	ชนิดสาร PAHs	p-value	ผลการทดสอบ
1	Naphthalene	.000	พบความแตกต่าง
2	Acenaphthylene	.000	พบความแตกต่าง
3	Acenaphthene	.000	พบความแตกต่าง
4	Fluorene	.000	พบความแตกต่าง
5	Phenanthrene	.000	พบความแตกต่าง
6	Anthracene	.000	พบความแตกต่าง
7	Fluoranthene	.001	พบความแตกต่าง
8	Pyrene	.001	พบความแตกต่าง
9	Benz[a]anthracene	.000	พบความแตกต่าง
10	Chrysene	.000	พบความแตกต่าง
11	Benzo[b]fluoranthene	.000	พบความแตกต่าง
12	Benzo[k]fluoranthene	.000	พบความแตกต่าง
13	Benzo[a]pyrene	.001	พบความแตกต่าง
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	.001	พบความแตกต่าง
15	Dibenz[a,h]anthracene	.000	พบความแตกต่าง
16	Benzo[ghi]perylene	.001	พบความแตกต่าง
	Total PAHs	.001	พบความแตกต่าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์

Jitlada**, C. a**nd Pentamwa P. (2017). **Exposure Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) in Childcare Centers of Muang, Nakhon Ratchasima**. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **120** (2018) 012008), (2018). (SCOPUS)

Pentamwa P. **a**nd Jitlada**, C.** (2019). **Risk Assessment of Heavy Metals from Edible Mushrooms.** *Gl Engineering Technology Applied Sciences forum* Vol. 1, 24-30.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ICEPP 2017 IOP Publishing
IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **120** (2018) 012008 doi:10.1088/1755-1315/120/1/012008

Exposure Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) in Childcare Centers of Muang, Nakhon Ratchasima

C Jitlada[1] and P Pentamwa[2]

1 Graduate Program in Environmental Pollution and Safety, Institute of Public Health, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
2 Assistant Professor, School of Environmental Health, Institute of Public Health, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
E-mail: jitlada141233@hotmail.com

Abstract. This study aims to characterize airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) as of particulate and vapor phases variation. The samples were collected from the childcare centers where divided into urban and rural areas in Nakhon Ratchasima Province of Thailand. The airborne samples were collected from five childcare centers during the dry season in the year 2017. The PAHs species were determined by the gas chromatography and mass spectroscopy (GS/MS) method. Results show that the total concentrations of PAHs were higher than vapor phase that both similar in urban area and rural area. The dominant PAHs compounds of both urban and rural areas were benzo(a)pyrene, benzo(a,h)anthracene and indeno(1,2,3-cd)pyrene, respectively. Furthermore, the concentrations of PAHs in municipality (urban) childcare centers were higher than rural childcare centers area of Nakhon Ratchasima province. The risks associated with exposure to PAHs were evaluated using the TEF approach. The estimated value of lifetime lung cancer risks children in urban were significantly ($p < 0.05$) 2 times of children in rural, thus demonstrating that exposure to PAHs at levels found at urban site may be cause potential health risks.

1. Introduction

The problem of air pollution that affects human health from exposure to various pollutants in the air. Particles of solid particulates are produced by the milling of both organic and inorganic materials which, when released into the atmosphere, can float in the air for a certain period of time and disperse [1]. At the same time, it also acts as a conduit for other substances that adversely affect the health of the particle, such as heavy metals, organic matter volatile Or Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs). The United States Environmental Protection Agency (US EPA) has designated 16 PAHs as important carcinogens are Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo (a) anthracene, Chrysene, Benzo (b) fluoranthene, Benzo (k) fluoranthene, Benzo (a) pyrene, Benzo (a,h) anthracene, Benzo (g,h,i) perylene and Indeno (1,2,3-cd) pyrene PAHs are caused by inadequate combustion of vehicle fuels [2]. People living in urban areas are therefore more likely to experience high levels of PAHs. The condition is stable in both gaseous and particulate state, depending on molecular size and atmospheric conditions. Normally, PAHs with low molecular mass are found in the gas phase due to the change in vapor pressure and high molecular weight PAHs are found in the particle phase [3]. PAHs enter the body through eating. Breathing and skin contact, which PAHs in the air. Dust particles are absorbed into the lungs. Tissue, fat, and fat accumulate in the liver, kidneys and fats. So long accumulated in the body., such as Benzo (a) Pyrene,

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

ICEPP 2017 IOP Publishing
IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **120** (2018) 012008 doi:10.1088/1755-1315/120/1/012008

Benzo (b) fluoranthene, Benzo (g, h, i) perylene and Indeno (1, 2, 3-cd) Carcinogenicity in Groups 2B refers to a group that is most likely to cause cancer in humans. It can cause lung cancer and respiratory system [4]. When humans are exposed to PAHs. Indoor and outdoor environments can affect both acute and chronic [5]. Based on previous data, the health risk assessment of exposure to PAHs in the Bangkok metropolitan area by Toxic Equivalency Factor (TEF) was 1.35 ng / m^3, which is higher than the risk factor for carcinogenicity defined as 1.0 of Benzo (a) Pyrene. Norramit et al. [6] found that PAHs concentrations were equal to 1.86 and 1.54 ng / m^3 in urban and non-urban areas. 3.46 and 2.70 ng / m^3 in urban and non-urban areas respectively. Slezakova et al. [7] show that urban residents are more likely to experience PAHs than those who live in urban areas. Out of town According to data from the study of the concentration of PAHs inside and outside the school in Rome, Italy, the indoor PAHs amounted to 1.15 ng / m^3 and the outdoor area was worth At 0.74 ng / m^3 [8], it was shown that those living in the building were more likely to experience PAHs than those living outside the building. In Thailand, there are no studies on the health risk assessment of PAHs in young children classified as "Vulnerable groups" [9]. Have high health risks. This study investigated the levels of both PAHs and gaseous carcinogens. Both indoor and outdoor use, as well as the risk of exposure to PAHs in the child development center between the municipality and the area outside Nakhon Ratchasima municipality. This study evaluated the risk of exposure to PAHs. The data will be used as a basis to reduce the risk of exposure to PAHs.

2. Methods

2.1 Sampling location

The sampling was during the dry season of May 2017 on working days. Daily samples was collected for 6 h (from8 a.m. to 2 p.m.) that representing the spending time of children in childcare center. The particulate (PM) and vapor phase samples were both collected. The sampling included locations at ten childcare centers were divided into two groups (5 childcare centers in urban area and 5 childcare centers in rural area) in the Nakhon Ratchasima province of Thailand. The sampling locations were presented in Figure 1. All childcare centers environment had natural ventilation systems, the classrooms were often ventilated by opening windows. The study locations were generally located at a distance of 500 meters away from main roads. The study area of site1- site5 was found with high traffic volume and the ventilation through natural window and doors assumed to ventilation rate of more than 20 percent of the area. The average of ambient temperature was 31 degrees celsius (°C) and relative humidity was 58%. For the location of site 6 – site 10, the traffic condition showed with low traffic volume. The average of ambient temperature was 32 °C and relative humidity was 65%. The predominant wind during the study was presented from south and southeast wind.

2.2. Extraction and analysis of PAHs

The analysis of PAHs, air samples were extracted for 6 h with 50 ml n-hexane in soxhlet by TO13A method [4]. The concentration of PAHs were analyzed by gas chromatograph mass spectrophotography (GC/MS) Agilent 6980. The used GC column was a 30 m DP-5 capillary column (0.25 mm id., 0.25 μm film thickness). The column temperature at 80°C hold for 5 min and increased to 290°C at 10 °C/min hold for 35 min . PAHs compounds were identified based on retention times.

2.3. Quality control

Target PAHs standard stock solution of 16 PAHs was used as a recovery standard for the measurement of recovery coefficients from 80% to 120% that recommend by TO13A method. Known volume of standard solutions was spike into the filters of the analysis procedure. This study spiked recoveries ranged from 85% to 107% that indicated acceptable for all 16 PAHs.

2.4 Statistical analysis

For all data sample t-test was applied to determine the statistical significance ($p<0.05$) of the difference between the mean in both group (childcare center in urban and rural in Nakhon Ratchasima Province).

ICEPP 2017 IOP Publishing
IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **120** (2018) 012008 doi:10.1088/1755-1315/120/1/012008

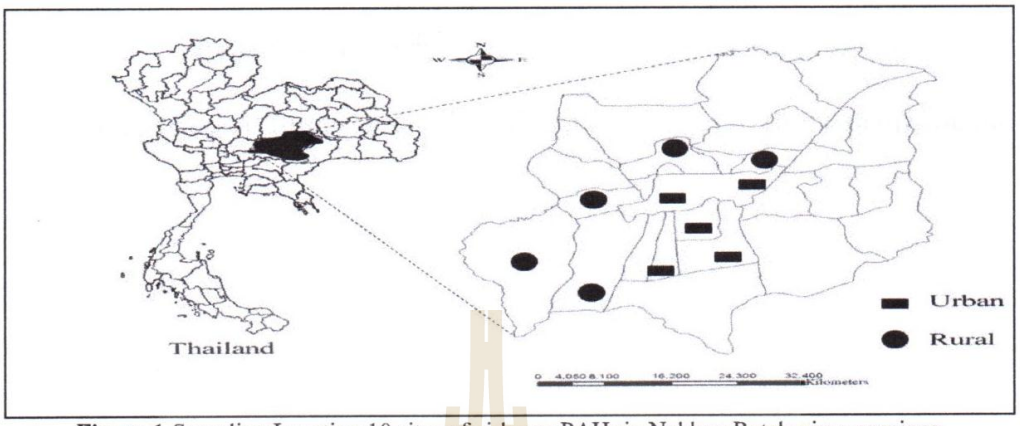


Figure 1. Sampling Location 10 sites of airborne PAHs in Nakhon Ratchasima province.

3. Result and discussion

3.1. Gas/particle distribution of PAHs

The gas-particle phase of 16 PAHs in this study is presented in Figure 2. The phase distribution show in the percentage of the concentration in both phases were naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo (a) anthracene, chrysene, benzo (b) fluoranthene, benzo (k) fluoranthene, benzo (a) pyrene, benzo (a, h) anthracene, benzo (g, h, i) perylene and indeno (1, 2, 3-cd) pyrene. PAHs found in particles phases larger than vapor phase. Amount of benzo (a) pyrene in particulate phase are 57% of total mass. For the Naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, benzo (a) anthracene and chrysene compound have distribution at all sites are same between vapor and particle phases. High molecule mass of PAHs were found in particle phase than vapor phase. The PAHs phase distributions in both sampling sites of urban and rural areas were similar [3]. This may be explained by the evaporation of PAHs in the room temperature distribution from the outdoor environment to the indoor air. The study of Wang et al. [5] the PAHs in air are divided between vapor and particulate phases depend on the ambient air temperature and humidity.

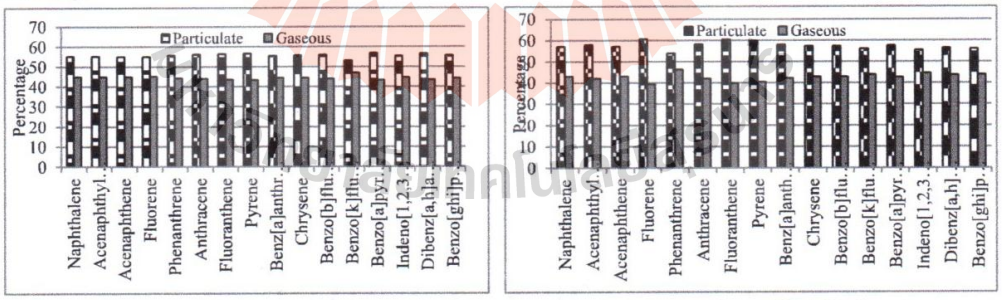


Figure 2. PAHs distribution in Particulate and vapor phase; concentrations of PAHs in urban area (Left), concentrations of PAHs in rural area (Right).

3.2. Concentration of PAHs in municipality (urban) and outside the municipality (rural) childcare centers of Nakhon Ratchasima province.

The concentration of 16 PAHs are showed in Figure 3. PAHs levels of urban childcare center ranged from 1.00 (minimum) to 2.02 ngm^{-3} (maximum), while rural areas ranged from 0.71 to 1.55 ngm^{3}. The results demonstrated that levels of 16 PAHs were significantly high in urban childcare centers area.

ICEPP 2017 IOP Publishing
IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **120** (2018) 012008 doi:10.1088/1755-1315/120/1/012008

The total concentration of 16 PAHs for urban sites higher 1.3 times than rural sites. These findings concerned to children health impact from PAHs indicated to carcinogenic effects to body in benzo [a] pyrene, benzo [b] fluoranthene, benzo [k] fluoranthene and dibenz [a, h] anthracene compounds [10]. The highest concentration of PAHs is Indeno (1, 2, 3-cd) pyrene at mean of 2.02 ngm^{-3} for 8.6 % of ΣPAHs. The dibenz [a, h] anthracene were second most abundant group of urban childcare centers (8.5 % of ΣPAHs). 16 PAHs such as Benzo (a) pylene, benzo [ghi] perylene are possible human carcinogens. The least compounds of PAHs such as (naphthalene), at the urban childcare centers site less than 4.2 % of ΣPAHs.

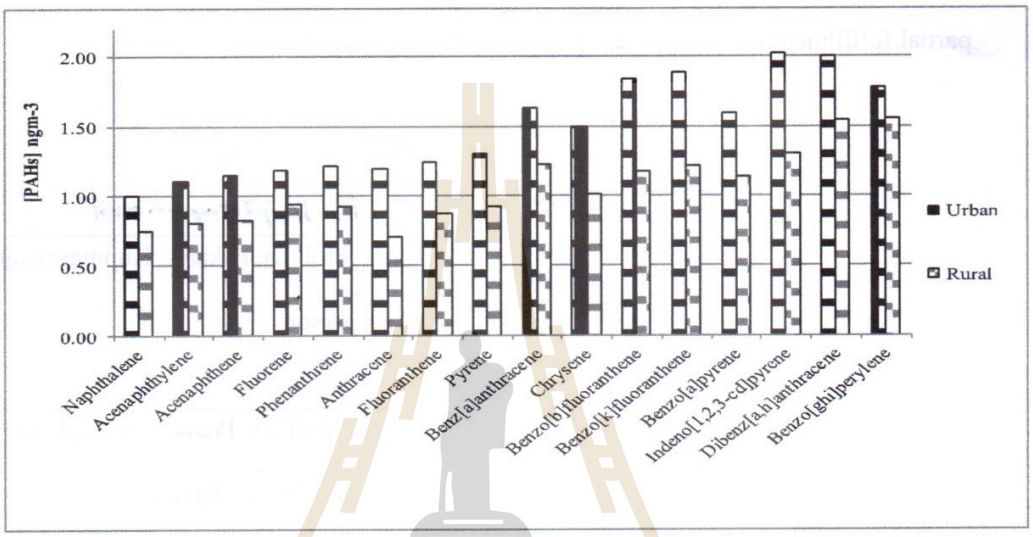


Figure 3. Concentration of PAHs in childcare centers municipality (urban) and outer municipality (rural) of Nakhon Ratchasima province.

3.3. Health risk assessment of PAHs in childcare center of municipality (urban) and outside the municipality (rural) of Nakhon Ratchasima province.

The 16 PAHs are carcinogenic, and their health risks in human can be calculate by BaP-equivalent ([BaP] eq) were calculate from PAHs concentration with toxicity equivalency factors (TEFs) of concentrations shown in equation (1) were multiply by UR [BaP] (unit risk) there are cancer risk shown in equation (2), while unit risk of life time cancer is 1.1×10^{-6} of 70 years [4].

$$\Sigma[BaP]eq = \Sigma(C_i \times TEF_i) \quad (1)$$

$$\text{Inhalation cancer risk} = \Sigma[BaP]eq \times UR[BaP] \quad (2)$$

The results of inhalation cancer risks for 16 PAHs, this study are urban and rural site and health risks of children in childcare center were found PAHs are presented table 1. The estimated of lifetime lung cancer risks based on Benzo[a]pyrene at the urban area were 9.5×10^{-6} for PAHs in urban area, and 1.8 times higher rural area is 5.2×10^{-6}. At the urban area, the values of lifetime lung inhalation cancer risks for childcare center in urban area were higher. The result demonstrates that urban area, higher expose PAHs, and traffic emissions might be the potentially major pollution source of PAHs to childcare center. The childcare center of municipality (urban) of Nakhon Ratchasima province close to major roads this study 500 meter from major road and where emissions from vehicular traffic might be significant effect to human [11]. This study indicated the influence of low temperature during sampling effect to high concentration of PAHs the risks associated with the urban area have

ICEPP 2017 IOP Publishing
IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **120** (2018) 012008 doi:10.1088/1755-1315/120/1/012008

significantly higher than rural area. Therefore a long distance from major road and traffic emissions to protect human health to reduce exposure PAHs in childcare center.

Table 1. Estimated inhalation cancer risk to measured concentrations of PAHs in childcare center.

PAHs	TEF	Cancer Risk	
		Urban	Rural
Naphthalene	0.001	6.38E-10 ±0.03	2.64E-10 ±0.10
Acenaphthylene	0.001	6.49E-10 ±0.05	3.08E-10 ±0.04
Acenaphthene	0.001	6.71E-10 ±0.04	3.30E-10 ±0.08
Fluorene	0.001	6.93E-10 ±0.02	2.42E-10 ±0.05
Phenanthrene	0.001	7.15E-10 ±0.03	2.53E-10 ±0.03
Anthracene	0.010	7.04E-09 ±0.01	3.41E-09 ±0.07
Fluoranthene	0.001	7.37E-10 ±0.03	3.19E-10 ±0.01
Pyrene	0.001	7.70E-10 ±0.07	3.30E-10 ±0.03
Benz[a]anthracene	0.100	9.57E-08 ±0.01	4.40E-08 ±0.12
Chrysene	0.010	8.80E-09 ±0.06	4.73E-09 ±0.06
Benzo[b]fluoranthene	0.050	5.39E-08 ±0.03	2.81E-08 ±0.02
Benzo[k]fluoranthene	0.050	5.50E-08 ±0.02	3.08E-08 ±0.04
Benzo[a]pyrene	1.000	9.50E-06 ±0.06	5.20E-06 ±0.01
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.100	1.27E-07 ±0.05	7.48E-08 ±0.02
Dibenz[a,h]anthracene	0.100	1.18E-07 ±0.02	0.66E-07 ±0.01
Benzo[ghi]perylene	0.010	1.06E-08 ±0.01	7.04E-09 ±0.05

4. Conclusions

The concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in childcare centers during dry seasons in Nakhon Ratchasima province of Thailand; the concentration of 16 PAHs in all sampling sites were followed from Benzo (a, h) anthracene, Benzo (g, h, i) perylene, Indeno (1, 2, 3-cd) pyrene, benzo [a] pyrene, Benzo (k) fluoranthene, Benzo (b) fluoranthene, Benzo (a) anthracene, Chrysene, Pyrene, Naphthalene, Acenaphthylene, respectively. The distribution of PAHs between particulate and vapor phases was similar to other studies, with particle phase higher than vapor phase. The major sources of PAHs are the traffic emissions and distance of childcare center from major road. Health risk assessment based on the carcinogenic that the concentrated in urban area were several times higher than rural area indicating a causing PAHs is adverse health effects for children live in childcare center in municipality (urban) Nakhon Ratchasima province.

5. References

[1] Mostert et al. (2011). Nitro-PAH in ambient particulate matter in the atmosphere of Athens. *Chemosphere. 40 (1)*: 533–537.

[2] Ruiz et al et al. (2009). Seasonally dependent size distributions of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban aerosolsfrom densely populated areas. *Environ Science Technology 22 (2)*:896–908.

[3] Zheng et al. (2009). Research on distribution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in main traffic line crosses of Beijing urban district. *Atmospheric environment. 23 (1)*: 30–40.

[4] US.EPA. (1998). *Toxicological Review of PAHs. (CAS No. 91-20-3)*. http://www.epa.gov./iris, March 1, 2015.

[5] Wang et al. (2013). Aggregate exposures of nine preschool children to persistent organic pollutants at day care and at home. *Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 13 (1)*: 187-202.

[6] Norramit et al. (2005). Characterization and carcinogenic risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the respirable fraction of airborne particles in the Bangkok metropolitan area. *Journal of health science. 51(1)*: 437-446

[7] Slezakova et al. (2013). Impact of vehicular traffic emissions on particulate-bound PAHs: levels and associated health risks. *Atmospheric research. 127 (1)*: 141-147.
[8] Krugly et al. (2014). Characterization of particulate and vapor polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor air of primary schools. *Atmospheric environment 82 (1)*: 298-306.
[9] World Health Organization (WHO).(2002). *Environmental Health Criteria*: Selected Non–Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.World Health Organization Publication, Geneva.
[10] International Agency for Research on Cancer (IARC). (2010). Polynuclear aromatic compounds, Part 1. Chemical Environment and Experimental Data, 32.
[11] Naumova et al. (2013). Gas/particle distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in coupled outdoor/indoor atmospheres. *Atmospheric environment 37 (1)*: 703-719.

Acknowledgments
Authors are grateful to express my sincere thanks to my thesis advisor, Asst. Prof. Dr. Prapat Pentamwa for invaluable help and constant encouragement throughout the course of this research and Suranaree University of Technology for providing the financial support of this work.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจิตรลดา ฉิมใหม่ เกิดเมื่อวันที่ 14 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2533 ณ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย 2 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิชาแพทยศาสตร์ สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2555 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรมลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2556 และมีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 2 เรื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี