การศึกษาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในหมูปิ้ง

STUDY ON BENZO(A)PYRENE IN BARBECUE PORK

นางสาวกนกวรรณ เซี่ยงใช่

นางสาวกัลยพัชร ศรีเจษฐานนท์

นางสาวไพลิน หงษ์เวียงจันทร์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในหมูปิ้ง

STUDY ON BENZO(A)PYRENE IN BARBECUE PORK

นางสาวกนกวรรณ เซี่ยงใช่
นางสาวกัลยพัชร ศรีเจษฐานนท์
นางสาวไพลิน หงษ์เวียงจันทร์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON BENZO(A)PYRENE IN BARBECUE PORK

MISS KANOKWAN SEANGCHAI
MISS KANLAYAPAT SRIJEDTANON
MISS PHAILIN HONGWIANGJAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในหมูปิ้ง

STUDY ON BENZO(A)PYRENE IN BARBECUE PORK

ชื่อนักศึกษา นางสาวกนกวรรณ เซี่ยงใช่

นางสาวกัลยพัชร ศรีเจษฐานนท์

นางสาวไพลิน หงษ์เวียงจันทร์

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในหมูปิ้ง		
	STUDY ON BENZO(A)PYRENE IN BARBECUE PORK		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ	เซี่ยงใช่	รหัส 54051036
	นางสาวกัลยพัชร	ศรีเจษฐานนท์	รหัส 54051042
	นางสาวไพลิน	หงษ์เวียงจันทร์	รหัส 54051102
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว	ทิพยศักดิ์	

บทคัดย่อ

เบนโซ(เอ)ไพรีน (B(a)P) เป็นสารประกอบในกลุ่มของพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มที่อาจก่อมะเร็งต่อมนุษย์ การปิ้งย่างอาหารหรือการให้ความร้อนโดยตรงอาจก่อให้เกิดสารนี้ได้ โครงงานพิเศษนี้จึงวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ B(a)P ในหมูปิ้ง อาหารที่คนไทยนิยมบริโภค โดยทำการย่อยตัวอย่างด้วยด่าง นำไปสกัดด้วยวิธี Liquid – liquid Extraction ทำให้บริสุทธิ์ด้วย Sep – Pak ชนิด C_{18} ทำให้เข้มข้นโดยการพ่นไนโตรเจน และตรวจวัดด้วย Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC – FID) คอลัมน์ Rtx – 5, oven 100°C, ramp rate 6°C/min to 300°C, ramp rate 15°C/min to 330°C (hold 15 min), injector 250°C, detector 330°C และ Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC – MS) คอลัมน์ HP-5 MS, oven 80°C (hold 2 min), ramp rate 20°C/min to 150°C (hold 10 min), ramp rate 5°C/min to 285°C, ramp rate 3°C/min to 300°C (hold 7 min), injector 290°C, detector 300°C และประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของผู้บริโภคจากแบบสอบถาม ผลการศึกษา พบว่า เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ จำนวน 30 ไม้ นำมาบดผสมกัน และทำ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ด้วย GC – FID พบว่าความเข้มข้นของ B(a)P ในตัวอย่างหมูปิ้งต่ำกว่าค่าที่ตรวจพบได้ ส่วนการวิเคราะห์ด้วย GC – MS ได้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ 102 % ความเข้มข้นเฉลี่ยของ B(a)P ในหมูปิ้ง ได้เท่ากับ 9.85 ± 3.32 µg/kg การประเมินความเสี่ยงจากการตอบแบบสอบถามพบว่า เพศชายและเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยในการรับประทานหมูปิ้งเท่ากับ 15.02 ± 7.66 และ 12.87 ± 5.88 กรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อนำความเข้มข้น B(a)P ที่ได้มาประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น พบว่า อยู่ในระดับปานกลาง หากมีการบริโภคหมูปิ้งเป็นประจำ

คำสำคัญ : พอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, เบนโซ(เอ)ไพรีน, หมูปิ้ง, สารก่อมะเร็ง, ความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	STUDY ON BENZO(A)PYRENE IN BARBECUE PORK	
Students	Miss Kanokwan	Seangchai
	Miss Kanlayapat	Srijedtanon
	Miss Phailin	Hongwiangjan
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Environmental Chemistry	
Academic Year	2014	
Advisor	Asst.Prof. Krongkaew	Tippayasak

ABSTRACT

Benzo(a)pyrene (BaP) is the polycyclic aromatic hydrocarbon compound which originated from the incomplete combustion. It also classifies as the possible human carcinogen. The food processing such as grill or direct heating can generate B(a)P. This project aims to analyze the B(a)P concentration in barbecue pork, the Thai favorite food. The sample were digested by alkali solution, purified with C18 sep-pak and purged with nitrogen. Then were analyzed by Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC – FID) as the following conditions: Rtx-5 column, oven 100°C, ramp rate 6°C/min to 300°C, ramp rate 15°C/min to 330°C (hold 15 min), injector 250°C, detector 330°C. The sample were also done by Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC – MS) at conditions: HP-5 MS column, oven 80°C (hold 2 min), ramp rate 20°C/min to 150°C (hold 10 min), ramp rate 5°C/min to 285°C, ramp rate 3°C/min to 300°C (hold 7 min), injector 290°C, detector 300°C. The questionnaire were examined for the additional risk of consumers. The 30 sticks barbecue pork from stratified sampling were blended together and analyzed with 3 replicates. The results showed that B(a)P in sample were less than the detection of GC – FID. The recovery of standard B(a)P by GC – MS has 102 %. The B(a)P in sample was 9.85 $\pm$ 3.32 µg/kg (n=3). From the questionnaires, male and female consume the average barbecue pork 15.02 $\pm$ 7.66 and 12.87 $\pm$ 5.88 g_{pork} per day, respectively. Base on the B(a)P concentration from this study, the consumer get medium additional risk if the barbecue pork were frequently ingest as these condition.

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbon, Benzo(a)pyrene, Barbecue pork, Carcinogen, Additional Risk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีอันเนื่องมาจาก การอบรมสั่งสอน ดูแลเอาใจใส่ ให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ และ แนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษ ซึ่งได้รับความร่วมมือ ความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และ บุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษนี้จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาประจำโครงงานพิเศษที่ได้ให้คำปรึกษา ความรู้ คำแนะนำ และ ช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานของโครงงานพิเศษนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน ผู้ที่ให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ดร. เอกรัฐ เดชศรี ผู้ที่ให้ความรู้ และ คำแนะนำในทางหลักการของเครื่องมือเคมีวิเคราะห์ที่ใช้ในการดำเนินงานโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่านที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือและความสะดวกในการเบิกสารและอุปกรณ์ ทำให้โครงงานพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำและดำเนินการเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ที่คอยเสริมสร้างกำลังใจ และ ให้ความช่วยเหลืออยู่เบื้องหลังเสมอมา

ขอขอบคุณ พี่ปริญญาโท และ ปริญญาเอกทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินโครงงาน

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ คอยให้กำลังใจ และ สนับสนุนทำการการทำโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กนกวรรณ เซี่ยงใช่
กัลยพัชร ศรีเจษฐานนท์
ไพลิน หงษ์เวียงจันทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1. พอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	3
2.1.1. สมบัติทางเคมีและกายภาพ	3
2.1.2. การเกิดสารพีเอเอช	6
2.1.3. แหล่งกำเนิดพีเอเอช	7
2.1.3.1. แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่	8
2.1.3.2. แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่	9
2.1.4. การแพร่กระจายของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม	12
2.1.5. การสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศ	13
2.1.5.1. การสลายตัวโดยแสง	13
2.1.5.2. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเคมีแสง	15
2.1.5.3. การทำปฏิกิริยาของพีเอเอช กับ Reactive gases	16
2.1.5.4. การระเหยกลายเป็นไอ	16
2.1.5.5. การรวมตัวของอนุภาคในบรรยากาศ	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ความเป็นพิษของพีเอเอชในมนุษย์และสัตว์ 17
2.1.6.1. พิษเฉียบพลันของพีเอเอช 18
2.1.6.2. พิษเรื้อรังของพีเอเอชในมนุษย์และสัตว์ทดลอง 20
2.1.6.3. ความเป็นพิษเฉพาะด้าน 23
2.1.6.4. การเสริมพิษ/การต่อต้านพิษ 23
2.1.6.5. การระคายเคืองเบื้องต้น 24
2.1.6.6. ความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกัน 25
2.2. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ 25
2.3. การวิเคราะห์สารพีเอเอชในสารละลาย 28
2.3.1 การเก็บตัวอย่าง 28
2.3.2 การเตรียมตัวอย่างที่ศึกษาสารพีเอเอช 31
2.3.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ 36
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 43
3.1.1 อุปกรณ์ 43
3.1.2 สารเคมี 44
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง 44
3.2.1 การทำกราฟมาตรฐาน 44
3.2.1.1. การทำกราฟมาตรฐาน สำหรับฉีด GC – FID 44
3.2.1.2. การทำกราฟมาตรฐาน สำหรับฉีด GC – MS 44
3.2.2 การเก็บตัวอย่าง 44
3.2.3 การหาสภาวะการย่อยที่เหมาะสม 46
3.2.4 การเตรียมตัวอย่าง 48
3.2.5 การประกันคุณภาพ 51
3.2.5.1. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ สำหรับฉีด GC – FID 51
3.2.5.2. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ สำหรับฉีด GC – MS 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล
4.1 การสุ่มตัวอย่าง 52
4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย่อยเนื้อหมู 53
4.3 ผลจากการวิเคราะห์ Benzo(a)pyrene 55
4.3.1 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – FID 55
4.3.2 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – MS 56
4.4 การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ 58
4.4.1 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – FID 58
4.4.2 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – MS 58
4.5 ประเมินความเสี่ยงที่ได้รับจากการบริโภคหมูปิ้ง 58

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการทดลอง 60
5.2 ข้อเสนอแนะ 60

เอกสารอ้างอิง 61

ภาคผนวก 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชื่อสารเคมี สูตรโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล และ CAS	4
2.2	สมบัติทางกายภาพและเคมีของพีเอเอช	6
2.3	การสำรวจการปนเปื้อนของ B(a)P ในอาหารปิ้งย่างที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร	8
2.4	ปริมาณสูงสุดของ Benzo(a)pyrene ตามมาตรฐานของสหภาพยุโรป	9
2.5	ปริมาณของพีเอเอชจากแหล่งต่าง ๆ	10
2.6	แหล่งกำเนิดพีเอเอชที่สำคัญ	11
2.7	ค่าครึ่งชีวิตของพีเอเอชจากการเกิดปฏิกิริยาโดยแสง สีต่าง ๆ	14
2.8	ค่าครึ่งชีวิตของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม	15
2.9	LD_{50} ของพีเอเอชในสัตว์ทดลอง	19
2.10	Reference dose โดยการกิน (RfDo) และโดยการหายใจ (RfDi)	20
2.11	ค่าความเข้มข้นของการเกิดมะเร็งโดยการกิน (CPSo) และโดยการหายใจ (CDSi)	20
2.12	การจัดกลุ่มพีเอเอช โดย International Agency for Research on Cancer (IARC)	22
2.13	การเลือกใช้ Sep – Pak Cartridges	32
3.1	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ B(a)P ด้วยเครื่อง GC – FID	49
3.2	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ B(a)P ด้วยเครื่อง GC – MS	50
4.1	การสุ่มตัวอย่างแบบ Stratified Sampling บริเวณรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	52
4.2	ความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GC – MS	56
4.3	การประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากการบริโภคหมูปิ้งของเพศชายและเพศหญิง	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของพีเอเอช	5
2.2	อัตราการดูดซับสารพิษจากยาฆ่าแมลงในร่างกาย เมื่ออัตราการดูดซับที่ปลายแขนเท่ากับ 1	27
2.3	การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ	29
2.4	Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย HPLC – FD	36
2.5	Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย GC – MS	37
2.6	Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย GC – FID (Rtx-5, 0.32 mm ID)	38
2.7	Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย GC – FID (Rtx-5, 0.53 mm ID)	39
3.1	ที่ตั้งของร้านหมูปิ้งที่ศึกษา	45
3.2	เครื่อง Heating mantle	46
3.3	การแยกชั้นของสาร	47
3.4	เครื่อง Rotary evaporator	47
3.5	C-18 SPE tube	48
3.6	การพ่นไนโตรเจน	49
4.1	ผลของเวลาในการย่อย ต่อการสกัดพีเอเอชที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที	53
4.2	ผลของเวลาในการย่อย ต่อการสกัดพีเอเอชที่ 3 ชั่วโมง	53
4.3	ผลของเวลาในการย่อย ต่อการสกัดพีเอเอชที่ 3 ชั่วโมง 30 นาที	54
4.4	โครมาโตแกรมสารละลายมาตรฐาน Benzo(a)pyrene ความเข้มข้น10 mg/L ที่ได้จากการฉีด GC – FID	55
4.5	กราฟมาตรฐานของเบนโซ(เอ)ไพรีนจากการฉีด GC - FID	56
4.6	โครมาโตแกรมสารละลายมาตรฐาน Benzo(a)pyrene ความเข้มข้น100 µg/L ที่ได้จากการฉีด GC – MS	57
4.7	กราฟมาตรฐานของเบนโซ(เอ)ไพรีนจากการฉีด GC – MS	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

สารประเภทพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ พีเอเอช (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, PAHs) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างแตกต่างกันมากกว่า 200 ชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะและความเป็นพิษแตกต่างกัน (IARC, 1983) เป็นกลุ่มสารที่มีความเป็นพิษค่อนข้างรุนแรง ส่วนใหญ่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และเป็นสารก่อมะเร็ง สำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (U.S.EPA) ได้กำหนดให้ พีเอเอช 16 ชนิดเป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสำคัญ ได้แก่ Pyrene, Acenaphththylene, Chrysene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Naphthalene, Benzo(a)anthraene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(g,h,i)pyrylene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene และ Dibenzo(a,h)anthracene (U.S.EPA, 1986) เพราะสารกลุ่มนี้เป็นสารที่มีความเป็นไปได้สูงในการก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ โครงสร้างของแต่ละชนิดเป็นวงอะโรมาติก เป็นสารที่มีความมีขั้วต่ำ จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว และถ้าสารชนิดนี้เข้าสู่ร่างกายก็จะสะสมอยู่ในชั้นของไขมันเป็นระยะเวลานาน ซึ่งสารประเภทนี้ บางชนิดสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ มักเกิดจากการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น เกิดจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ การเผาไหม้น้ำมันดิบ เขม่าควันไฟ บุหรี่ เตาเผาเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น ไขมันที่อยู่ในเนื้อสัตว์ น้ำมัน และไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษา Benzo(a)pyrene (B(a)P) ซึ่งเป็นสารที่ได้รับความสนใจมากที่สุด สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข อ้างถึง Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) ว่าสารนี้ก่อให้เกิดพิษในสัตว์ทดลองหลายระบบ เช่น ในหนู หากได้รับสารนี้ในขณะตั้งท้อง ตัวอ่อนจะมีลักษณะผิดปกติ นอกจากนี้ยังมีพิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน ไขสันหลัง ยีนส์ทางพันธุกรรมอาจจะก่อให้เกิดการกลายพันธุ์และก่อเกิดมะเร็ง งานวิจัยนี้จะเลือกใช้หมูปิ้งเป็นตัวแทนของอาหารประเภทปิ้งย่าง เพราะหมูปิ้งเป็นอาหารที่คนไทยนิยมบริโภค เนื่องจากหารับประทานได้ง่าย ประหยัดเวลา และราคาย่อมเยา ในปัจจุบันมีวิธีการหาชนิดและปริมาณได้หลายเทคนิค เช่น Gas Chromatrography – Mass Spectrometry (GC – MS), Gas Chromatrography – Flame Ionization Detector (GC – FID) และ High Performance Liquid Chromatrography (HPLC) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ ต้องการวิเคราะห์หาความเข้มข้นและปริมาณของ Benzo(a)pyrene ที่มีอยู่ในหมูปิ้งซึ่งสะดวกและสามารถหาซื้อได้ง่าย บริเวณรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่องมือที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการ เมื่อได้ข้อมูลการวิเคราะห์แล้ว จะนำไปหาความเข้มข้นและปริมาณการปนเปื้อนของ Benzo(a)pyrene ในหมูปิ้งและทำการประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากการบริโภคต่อไป

1.2. วัตถุประสงค์

1) ศึกษาการวิเคราะห์และหาความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ในหมูปิ้ง
2) ประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นในการที่จะได้รับสาร Benzo(a)pyrene จากการบริโภคหมูปิ้ง

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

1) วิธีการวิเคราะห์ดัดแปลงตามวิธีของ Olatunde S. Olatunji, 2014
2) ทำการตรวจวัดผลด้วยเครื่อง GC – FID และ GC – MS
3) ทำการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคหมูปิ้งโดยทำการศึกษาจากแบบสอบถามบริเวณรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และวิเคราะห์เพื่อประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นที่ได้

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทำให้ทราบความเข้มข้นและปริมาณการปนเปื้อนของ Benzo(a)pyrene ที่อยู่ในหมูปิ้ง
2) ทราบความเสี่ยงของการบริโภคหมูปิ้ง และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการลดความเสี่ยงเรื่องปัญหาสุขภาพอนามัยในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. พอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ พีเอเอช (Polycyclic aromatic hydrocarbon compounds, PAHs) เป็นกลุ่มสารเคมีประเภทไฮโดรคาร์บอน (Nikolaou *et al.*, 1984) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติก (Aromatic ring) ตั้งแต่ 2 วงเชื่อมต่อกัน (Fused) ลักษณะการเชื่อมต่อกันคือ วงอะโรมาติก 2 วงที่อยู่ติดกันต้องใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ พีเอเอชประกอบด้วยสารที่มีสูตรโครงสร้างหลักแตกต่างกัน 35 ชนิด และแต่ละสูตรโครงสร้างหลักประกอบด้วยอนุพันธ์ต่างๆ (Derivative) พีเอเอชมีปรากฏอยู่ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน รวมทั้งปรากฏอยู่ในควันจากภูเขาไฟ พีเอเอชยังเกิดจากการกระทำของมนุษย์อีกด้วยที่สำคัญคือการเผาไหม้ชนิดไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาไม้ กระดาษ ยางรถยนต์ พีเอเอชมีปนเปื้อนอยู่ในอากาศบริเวณต่างๆ ทั่วโลก พีเอเอชบางตัวมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ และ บางตัวก็เป็นสารก่อมะเร็งร้ายแรง การป้องกันการเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของพีเอเอชที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ จึงควรได้รับการสนใจ และ ความร่วมมือเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจขึ้นต่อสุขภาพอนามัย

สารพีเอเอชหลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง (Grariviat, 1999) สามารถแพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งทางน้ำ อากาศ และ ดิน การรั่วไหลของน้ำมันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พีเอเอชแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำจืด และ น้ำทะเล สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S.EPA) ได้กำหนดให้สารพีเอเอช 16 ชนิด เป็นสารมลพิษลำดับที่สองรองจากกลุ่มโลหะหนัก และไซยาไนด์ที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

2.1.1. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

สารประกอบพีเอเอชประกอบด้วยสารต่างๆ มากมาย ข้อมูลสมบัติทางเคมี และ กายภาพของพีเอเอชมีเพียงบางสารเท่านั้น พีเอเอชที่พบบ่อย และ มีปริมาณการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากจึงมีการศึกษากันอย่างละเอียด ทำให้มีข้อมูลสมบัติทางเคมี และ กายภาพค่อนข้างสมบูรณ์ ในทางตรงข้ามพีเอเอชใดที่พบไม่บ่อย หรือ มีปริมาณปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย ข้อมูลดังกล่าวมีค่อนข้างจำกัด ตัวอย่างพีเอเอชที่มีการศึกษาแสดง ชื่อทางเคมี CAS (Chemical Abstracts service Registry Number) สูตรโมเลกุล และน้ำหนักโมเลกุลของพีเอเอช และสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญแสดงใน ตารางที่ 2.1 – 2.2 และสูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.1

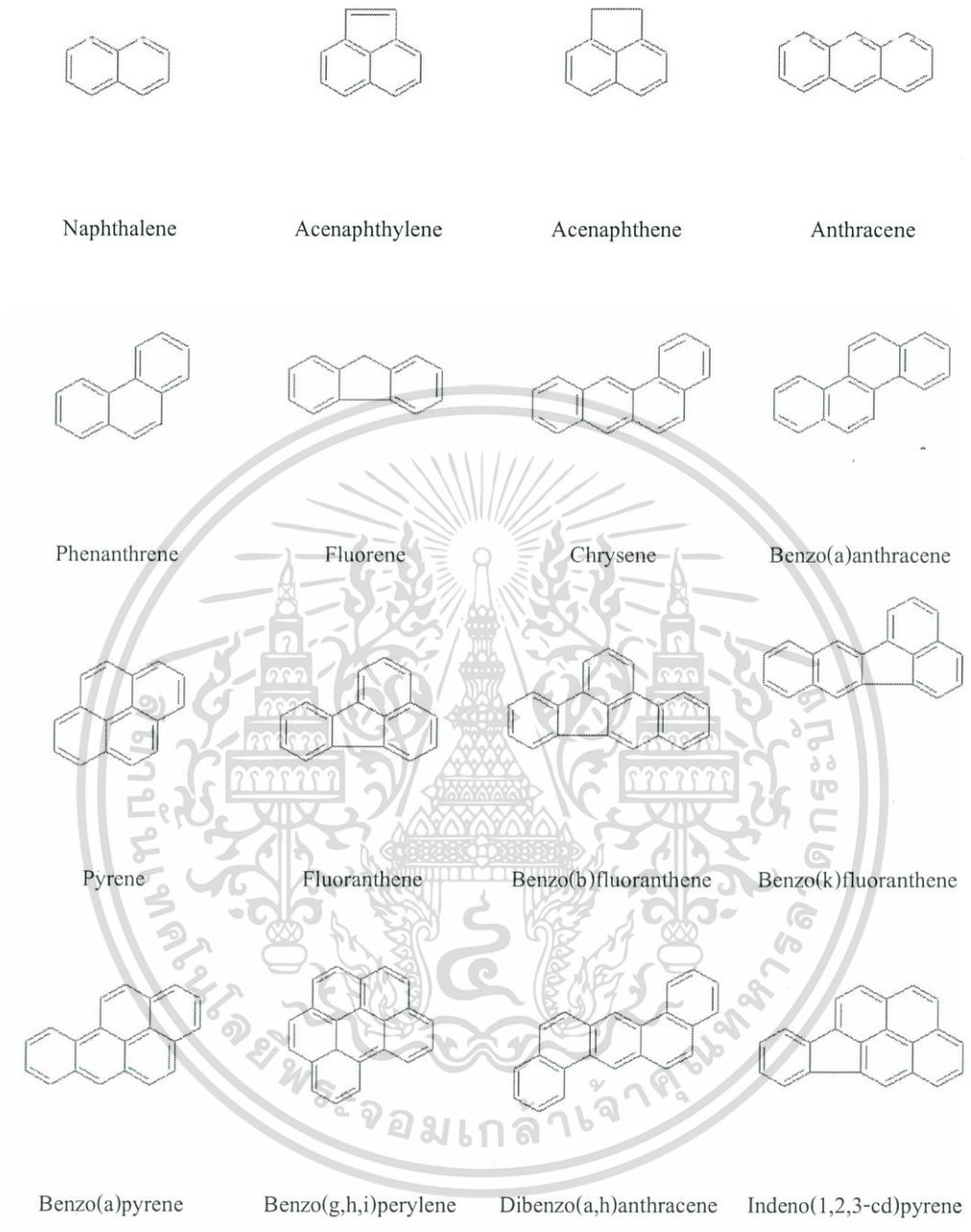
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ชื่อสารเคมี สูตรโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล และ CAS

ชื่อสารเคมี	อักษรย่อ	สูตรโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล	CAS
Naphthalene	Nap	$C_{10}H_8$	128	91-20-3
Acenaphthylene	Acy	$C_{12}H_8$	152	208-96-8
Acenaphthene	Ace	$C_{12}H_{10}$	154	83-32-9
Anthracene	An	$C_{14}H_{10}$	178	120-12-7
Phenanthrene	Phe	$C_{14}H_{10}$	178	85-01-8
Fluorene	Flu	$C_{13}H_{10}$	166	86-73-7
Chrysene	Chry	$C_{18}H_{12}$	228	218-01-9
Benzo(a)anthracene	B(a)A	$C_{18}H_{12}$	228	56-55-3
Pyrene	Pyr	$C_{16}H_{10}$	202	129-00-0
Fluoranthene	Fl	$C_{16}H_{10}$	202	206-44-0
Benzo(b)fluoranthene	B(b)F	$C_{20}H_{12}$	252	205-99-2
Benzo(k)fluoranthene	B(k)F	$C_{20}H_{12}$	252	207-08-9
Benzo(a)pyrene	B(a)P	$C_{20}H_{12}$	252	50-32-8
Benzo(g,h,i)perylene	B(g,h,i)P	$C_{22}H_{12}$	276	191-24-2
Dibenzo(a,h)anthracene	DB(a,h)A	$C_{22}H_{14}$	278	53-70-3
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Ind	$C_{22}H_{12}$	276	193-39-5

ที่มา : ATSDR (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของพีเอเอช

ที่มา: Howard *et al.*, 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของพีเอเอช

พีเอเอช	จำนวนวงเบนซีน	จุดหลอมเหลว[a] (C°)	จุดเดือด[a] (C°)	ความสามารถในการละลาย[a] (mg/L)	Log_{ow}[b]	ความดันไอ[a] (torr at 20 C°)
Naphthalene	2	80	218	30	3.37	$4.9x10^{-2}$
Acenaphthylene	3	92	265	3.39	3.07	$2.9x10^{-2}$
Acenaphthene	3	96	96.2	3.47	3.98	$2.0x10^{-2}$
Anthracene	3	216	342	0.07	4.45	$1.9x10^{-7}$
Phenanthrene	3	100	340	1.29	4.45	$6.9x10^{-4}$
Fluorene	3	116	293	1.98	4.18	$1.3x10^{-2}$
Chrysene	4	255	448	0.002	5.16	$6.3x10^{-7}$
Benzo(a)anthracene	4	158	400	0.014	5.61	$5.0x10^{-9}$
Pyrene	4	156	393	0.14	5.32	$6.9x10^{-7}$
Fluoranthene	4	11	375	0.26	5.33	$6.0x10^{-6}$
Benzo(b)fluoranthene	5	167	-	$1.2x10^{-3}$	6.04	$5.0x10^{-7}$
Benzo(k)fluoranthene	5	215	480	$5.5x10^{-4}$	6.06	$5.0x10^{-7}$
Benzo(a)pyrene	5	179	310	$3.8x10^{-3}$	6.04	$5.0x10^{-7}$
Benzo(g,h,i)perylene	6	273	550	$2.6x10^{-4}$	6.50	$1.9x10^{-10}$
Dibenzo(a,h)anthracene	5	262	-	$5.0x10^{-4}$	5.97	$1.0x10^{-10}$
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	6	163	530	0.062	7.66	$1.0x10^{-10}$

ที่มา: [a] ATSDR (1995); [b] Mabey *et al.*, 1982

2.1.2. การเกิดสารพีเอเอช

สารพีเอเอช เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ได้ทั้ง 2 แบบ (จิตรลดา (2552) อ้างถึง Bjørseth and Ramdahl, 1985) คือ

1) กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิสูง ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversible reaction) ทำให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบย่อยชนิดต่างๆ เริ่มต้นจากชีวมวลได้รับความร้อนช่วงแรก เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เกิดการสลายตัว ตามด้วยเซลลูโลส (Cellulose) และลิกนิน (Lignin) กระบวนการไพโรไลซิส ของชีวมวลโดยทั่วไปเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิระหว่าง 200 – 600 องศาเซียส โดยจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กรดน้ำส้ม (Acetic acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทานอล (Methanol) และน้ำมันดิบเบา (Light tar) นอกจากนี้ การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน และน้ำมันดิบหนัก รวมถึงสารพีเอเอช ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของสารพีเอเอชที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน อัตราการเผาไหม้ ชนิด และ คุณลักษณะของชีวมวล เป็นต้น

2) การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion) เป็นการสลายตัวของชีวมวลโดยความร้อน ในสภาวะที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากผิวหน้าของวัสดุชีวมวล ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่าเกิดปฏิกิริยา Dehydration ได้ผลิตภัณฑ์ของถ่านคาร์บอน และไอน้ำ ส่วนที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส หรือ สูงกว่าก็จะเกิดปฏิกิริยา Depolymerization ได้ผลิตภัณฑ์ คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2)

การเกิดพีเอเอช ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิสูงสารประกอบพีเอเอชจะประกอบด้วย Unsubstituted parent PAHs เป็นส่วนใหญ่ เช่น กระบวนการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้จากเตาขยะ เป็นต้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ (< 700 °C) จะประกอบด้วย Parent PAHs และ Alkyl - substituted PAHs ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Methyl derivatives ในเชื้อเพลิงฟอสซิลเกิดจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เป็นระยะเวลานานที่อุณหภูมิต่ำ และ ความดันสูง ซึ่ง PAHs profile หรือ Relative distribution ของสารประกอบพีเอเอชแต่ละชนิด อาจใช้บอกแหล่งกำเนิดของพีเอเอชได้

2.1.3. แหล่งกำเนิดพีเอเอช

แหล่งกำเนิดของสารพีเอเอช แบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ จากธรรมชาติ และ จากกิจกรรมของมนุษย์ แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น ไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด การสังเคราะห์ของแบคทีเรียบางชนิด พืชชั้นสูงที่มี Triterpenoid การย่อยสลาย Triterpenoid ในดินตะกอนที่ทับถมกัน โดยที่ Triterpenoid มีสารตั้งต้นเป็นกลุ่ม Aliphatic isopenoid ที่เรียกกันว่า Squalene ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำมันดิบ และมีสารพีเอเอช เป็นองค์ประกอบ (Eglinton and Murphy, 1969)

Budzinski *et al.*, 1997 พบว่า Perylene มีแหล่งกำเนิดหลักจาก Triterpenoid ถึงร้อยละ 30 – 70 นอกจากนี้พืชชั้นสูงที่มี Triterpenoid ก็สามารถสังเคราะห์สารพีเอเอชได้เอง โดยมีสารเริ่มต้นเป็น α - amyrin หรือ β - amyrin ซึ่งสารทั้งสองตัวนี้สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้แหล่งที่มาของสารที่เกิดจากธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ จำแนกออกเป็น

2.1.3.1. แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่

แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary source) เช่น เครื่องทำความร้อนในที่พักอาศัย การผลิตไฟฟ้า และ ความร้อน โรงงานอุตสาหกรรม การเผาศพ การสูบบุหรี่ อาหารประเภทปิ้งย่าง เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น

1) อาหารประเภทปิ้ง

การให้ความร้อนในอาหารด้วยวิธีการอบ รมควัน ปิ้ง และย่าง จะทำให้เกิด B(a)P และเกิดการปนเปื้อนในอาหาร โดยเฉพาะการให้ความร้อนที่อาหารสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง นอกจากนี้ยังเกิดจากควันที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันจากอาหารที่หยดลงบนแหล่งให้ความร้อน ดังนั้นอาหารที่มีไขมันมากจะมีหยดน้ำมันเกิดขึ้นมาก ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนทำให้ปริมาณ B(a)P สะสมในอาหารมากขึ้น ด้วยสิ่งที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 350 – 400 องศาเซลเซียส ขึ้นไปปริมาณการเกิดของ B(a)P จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 350 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณของ B(a)P ในอาหารอยู่ในระดับต่ำ เช่นเดียวกับการปรุงอาหารด้วยวิธีการนำความร้อน และ การปรุงอาหารด้วยวิธีการแพร่ความร้อน ตัวอย่างเช่นการทอดด้วยกระทะ และ การอบ การปิ้ง หรือการย่างด้วยเตาไฟฟ้า ซึ่งพบว่าปริมาณของ B(a)P อยู่ในระดับต่ำกว่าอาหารที่ปรุงโดยสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง

ตารางที่ 2.3 การสำรวจการปนเปื้อนของ B(a)P ในอาหารปิ้งย่างที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร

ชนิด	จำนวนตัวอย่าง		ปริมาณที่พบ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)		
	วิเคราะห์	ตรวจพบ	ต่ำสุด – สูงสุด	Mean	Median
ไก่ย่าง	35	11	< 0.5 – 0.7	< 0.5	< 0.5
ปลาดุกย่าง	36	29	< 0.5 – 3.2	0.8	0.7
หมูปิ้ง	30	12	< 0.5 – 1.3	0.6	0.5
รวม	101	52	< 0.5 – 3.2	0.7	0.5

ที่มา: จิตผกา และคณะ (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสูงสุดของ Benzo(a)pyrene ตามมาตรฐานของสหภาพยุโรป

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณสูงสุดของ Benzo(a)pyrene (ไมโครกรัม/กิโลกรัม)
น้ำมัน และ ไขมันในอาหาร	2.0
นม อาหาร อาหารเสริม สำหรับเด็กเล็ก และ ทารก	1.0
เนื้อสัตว์รมควัน	5.0
เนื้อปลารมควัน และ สินค้าประมงรมควันซึ่งไม่รวมหอย	5.0
เนื้อปลาอื่นที่ไม่ได้รมควัน	2.0
กุ้งปลาหมึกอื่นที่ไม่ได้รมควัน	5.0
หอยสองฝา	10.0

ที่มา: Access to European Union law (EUR – Lex) (2005)

2) ควันบุหรี่

ควันบุหรี่จะประกอบด้วยพีเอเอชสำคัญหลายตัวรวมทั้งพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็ง ควันบุหรี่ที่ออกจากมวนบุหรี่แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ควันที่ออกจากบุหรี่โดยตรง (Main stream) และควันรอบบุหรี่ (Side stream) ควันที่ออกจากบุหรี่โดยตรงประกอบด้วยชนิดและปริมาณพีเอเอชมากกว่าควันรอบบุหรี่ ซึ่งพีเอเอชมีอยู่น้อยกว่าเพียง 1 ใน 3 ที่พบในควันจากบุหรี่โดยตรง แต่ปริมาณของพีเอเอชบางตัวในควันรอบบุหรี่มีปริมาณมาก เช่น Pyrene พบมากถึง 39.0 – 101.0 ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน ในขณะที่ควันจากบุหรี่โดยตรงพบเพียง 5.0 – 27 ไมโครกรัม/บุหรี่100 มวน โดยควันรอบบุหรี่ Fluoranthene ก็เป็นพีเอเอชที่พบปริมาณมาก คือ 126 ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน แต่พบในควันบุหรี่โดยตรงเพียง 1.0 -27.2 ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน ชนิด และ ปริมาณพีเอเอชที่พบในควันทั้งสองชนิดจากบุหรี่แสดงในตารางที่ 2.5

2.1.3.2. แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่

แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ (Mobile source) เช่น การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากยานพาหนะ เครื่องบิน เป็นต้น รถยนต์นับเป็นแหล่งกำเนิดพีเอเอชที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้รถยนต์เพิ่มมากขึ้นทุกปี ปริมาณพีเอเอช ถูกปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้สมบูรณ์มากเท่าใดก็จะปล่อยพีเอเอชออกมาน้อย ในทางตรงกันข้ามเครื่องยนต์เก่าไม่สามารถเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์จะปล่อยพีเอเอชออกมามากกว่า กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2543) อ้างถึง Alsberg *et.al.*, 1985 ว่ารายงานชนิด และ ปริมาณของพีเอเอชที่ปล่อยจากไอเสียรถยนต์ 4 สูบ มีอายุการใช้งานประมาณ 1 ปี ใช้น้ำมันผสมสารตะกั่วปริมาณ 0.15 กรัม/ลิตร อ็อกเทน 96 ดังที่แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณของพีเอเอชจากแหล่งต่าง ๆ

พีเอเอช	ควันบุหรี่ (ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน)		ไอเสียรถยนต์ (ไมโครกรัม/ระยะทาง 1 กม.)
	ควันโดยตรง	ควันโดยรอบ	
Anthracene	2.3 – 23.5	-	0.70
Anthanthrene	0.2 – 2.2	3.9	0.75
Benz(a)anthracene	0.4 – 7.6	-	5.80
Benzo(b)fluoranthene	0.4 – 2.2	-	5.45
Benzo(j)fluoranthene	0.6 – 2.1	-	1.00
Benzo(k)fluoranthene	0.6 – 1.2	-	5.45
Benzo(g,h,i)fluoranthene	0.1 – 0.4	-	8.80
Benzo(a)fluorine	4.1 – 18.4	75.0	-
Benzo(g,h,i)perylene	0.3 – 3.9	9.8	9.45
Benzo(c)phenanthrene	ตรวจพบ	-	-
Benzo(a)pyrene	0.5 – 7.8	2.5 – 19.9	3.20
Benzo(e)pyrene	-	-	4.40
Benzdllpynene	0.2 – 2.5	5 – 13.5	-
Chrysene	0.6 – 9.6	-	7.70
Coronene	0.1	-	9.25
Cyclopentano(c,d)pyrene	-	-	7.45
Dibenz(a,h)anthracene	0.4	-	-
Dibenzo(a,e)pyrene	ตรวจพบ	-	-
Dibenzo(a,h)pyrene	ตรวจพบ	-	-
Dibenzo(a,i)pyrene	0.17 – 0.32	-	-
Dibenzo(a,l)pyrene	ตรวจพบ	-	-
Fluoranthene	1.0 – 27.2	126.0	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ) ตารางที่ 2.5 ปริมาณของพีเอเอชจากแหล่งต่าง ๆ

พีเอเอช	ควันบุหรี่ (ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน)		ไอเสียรถยนต์ (ไมโครกรัม/ระยะทาง 1 กม.)
	ควันโดยตรง	ควันโดยรอบ	
Fluorine	ตรวจพบ	-	-
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthene	-	-	0.60
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.4 – 2.0	-	2.65
Perylene	0.3 – 0.5	3.9	0.40
Phenanthrene	8.5 – 62.4	-	2.75
Pyrene	5.0 – 27	39.0 – 101.0	29.50
Triphenylene	ตรวจพบ	-	-
รวม	26.17 – 197.82	273.6 – 353.0	116.85

ที่มา: กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2543)

ตารางที่ 2.6 แหล่งกำเนิดพีเอเอชที่สำคัญ

แหล่งกำเนิด (sources)	PAHs predominant
การเผาไหม้จากย่านที่อยู่อาศัย	Acenapththylene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลในรูปฝุ่น	Fluoranthene, Phenanthrene, Pyrene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลในรูปก๊าซ	Phenanthrene, Anthracene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลในรูปฝุ่นและก๊าซ	Acenapthene, Fluorene, Phenanthrene
เถ้าลอย และ เถ้าหนัก	Phenanthrene
เตาเผาขยะเทศบาล	Benzo(g,h,i)perylene
เตาเผาขยะทางการแพทย์	Benzo(a)antracene, Benzo(g,h,i)perylene
เตาเผาขยะแบบหมุน	Benzo(a)antracene, Phenanthrene
การใช้แก๊สจากบ้านเรือน	Chysene, pyrene, Fluoranthene
ควันบุหรี่	Benzo(a)pyrene
น้ำมันดิบ	Phenanthrene, pyrene
การเผาไหม้ฟางข้าว	Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene

ที่มา: ATSDR (1995) ; Keshtkar and Ashbaugh, 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4. การแพร่กระจายของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม

พีเอเอชสามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งจากธรรมชาติ และ จากการกระทำของมนุษย์ พีเอเอชที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น การซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันใต้ดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของพีเอเอชในแหล่งน้ำธรรมชาติและดิน ไฟไหม้ป่า และ ภูเขาไฟระเบิด ส่วนที่เกิดจากการกระทำ ของมนุษย์ที่สำคัญ คือ กิจกรรมที่มีการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (การเผาไหม้ในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด มีผลให้สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ไม่ถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์จนหมด) ซึ่งการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์นี้ทำให้เกิดพีเอเอชแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับวัสดุที่นำมาเผาไหม้ พีเอเอชที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมทั่วไปมีดังนี้

1) อนุภาคในบรรยากาศ (Airborne particulate matter) เป็นอนุภาคที่ประกอบขึ้นจากสารประกอบเชิงซ้อนของของแข็ง ของเหลว และ มีพีเอเอชเป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย การเปลี่ยนแปลงของพีเอเอชโดยแสงนั้นขึ้นกับอนุภาคของสารประกอบที่พีเอเอชไปเกาะติด ซึ่งมาจากหลายแหล่งด้วยกัน เมื่ออนุภาคเหล่านั้นปล่อยสู่บรรยากาศจะเกิดการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมนั้น เมื่อมนุษย์หายใจเอาสารพีเอเอชในบรรยากาศเข้าไป ก็จะมีโอกาสเป็นมะเร็งได้

2) ดิน (Soil) สารพีเอเอชที่ปนเปื้อนในดิน เกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ การปนเปื้อนมาจากบรรยากาศ จากการกำจัดของเสีย บางส่วนจากการใช้ปุ๋ย และ จากอุบัติเหตุ ปริมาณพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูงในดินที่ใช้เพาะปลูก ไม่เพียงแต่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ซึ่งบริโภคอาหารที่มีพีเอเอช เท่านั้น แต่ยังมีผลต่อคุณสมบัติของดินที่ทำการเพาะปลูก ทำให้เกิดความเสียหายต่อพืชและผลผลิต

3) น้ำ (Water) สารพีเอเอชสามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วในแหล่งน้ำ เนื่องจากพีเอเอชเป็นอนุภาค และ แพร่กระจายทั่วไปในอากาศ ในที่สุดก็จะตกลงสู่พื้นดิน และ พื้นน้ำ รวมทั้งจากน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งมลภาวะต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากต้องใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค และ ปริมาณความเข้มข้นของพีเอเอชในแหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ

4) ดินตะกอน (Sediment) สารพีเอเอชส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ เมื่อปนเปื้อนในน้ำจะรวมตัวกัน หรือเกาะกับคอลลอยด์ ดินตกตะกอนสะสมอยู่ในดินตะกอน และ มักพบว่าปริมาณพีเอเอชในดินตะกอนมีมากกว่าบริเวณผิวหน้าน้ำ ประมาณ 2.5 เท่าของความเข้มข้นของพีเอเอชในดินตะกอนจากแหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศต่างๆ

5) ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (Sewage sludge) เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากอาคารบ้านเรือน

6) ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม (Petroleum and Its products) ปิโตรเลียม หรือที่เรียกกันว่า น้ำมันดิบ (Crude oil) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จากการทับถมกันของซากอินทรีย์ ภายใต้พื้นผิวโลกเป็นเวลาหลายล้านปี ซึ่งมีพีเอเอชเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และ เป็นแหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่สะสมอยู่ในดินตะกอน ดังนั้นกิจกรรมใดที่มีการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิโตรเลียม และ ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมมาก โอกาสที่พีเอเอชจะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมย่อมมีมากขึ้นตามไปด้วย สาเหตุสำคัญที่ทำให้พีเอเอชแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่

- การขนส่งโดยเรือบรรทุกน้ำมัน ซึ่งมีโอกาสสูญเสียน้ำมันในขณะที่ขนถ่าย
- อุบัติเหตุเรือบรรทุกน้ำมันชนกันหรืออับปาง รวมทั้งการรั่วของถังน้ำมัน
- ปฏิบัติการนอกชายฝั่ง เช่น การขุดเจาะน้ำมันหรือแก๊สธรรมชาติ การแตกรั่ว หรือชำรุดของท่อส่งน้ำมันใต้ทะเล
- โรงกลั่นน้ำมัน น้ำทิ้งจากโรงน้ำมันซึ่งมีคราบน้ำมันบางส่วนปนอยู่ หรือกรณีถังน้ำมันสำรองบริเวณชายฝั่งชำรุด หรือเกิดอุบัติเหตุทำให้มีน้ำมันรั่วไหลออกมา
- การล้างทำความสะอาดถังน้ำมัน
- น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่ง
- น้ำทิ้งจากชุมชน รวมทั้งการชะล้างคราบน้ำมัน
- บรรยากาศ
- กระบวนการซึมผ่านตามธรรมชาติ

2.1.5. การสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศ

ปริมาณ และ การกระจายตัวของพีเอเอชขึ้นกับความคงตัวของพีเอเอช โดยทั่วไปพีเอเอชในบรรยากาศมี 2 ลักษณะ คือ ก๊าซ และ อนุภาครวมตัวกับฝุ่น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความดันไอของพีเอเอช เมื่อถูกปล่อยสู่บรรยากาศ อนุภาคเหล่านี้จะเข้าสู่กระบวนการหลายกระบวนการ ความเข้มข้นของพีเอเอช จะขึ้นอยู่กับชนิดของพีเอเอชแต่ละตัวในการจับกับอนุภาคสารอินทรีย์ และปฏิกิริยาเคมี รวมถึงความคงตัวของสารนั้น (Pankow, 1991; Yamasaki *et al.*, 1982) การเปลี่ยนแปลงระหว่างก๊าซ และ อนุภาคของพีเอเอช จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการพาร์ทิชัน (Partitioning ratio) ซึ่งสามารถแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของพีเอเอช ในรูปของอนุภาคกับความเข้มข้นของพีเอเอชในรูปก๊าซ โดยทั่วไปแล้วสารพีเอเอชในรูปปกติทั่วไป มีจุดเดือด และ จุดหลอมเหลวสูง ค่าความดันไอต่ำ ค่าละลายน้ำได้น้อยมาก และ มีการสลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้ต่างกัน

สารประกอบพีเอเอชสามารถสลายตัวในบรรยากาศได้หลายวิธี เช่น การสลายตัวโดยแสง การย่อยสลายทางชีวภาพ หรือ การแตกตัวด้วยน้ำ เป็นต้น

2.1.5.1. การสลายตัวโดยแสง

กระบวนการสลายตัวเนื่องจากแสง (Photodegradation) เป็นกระบวนการสำคัญของการสลายตัวของพีเอเอชในบรรยากาศ เป็นผลมาจากการกระตุ้นของแสง จากงานวิจัยของ Kamens *et.al.*, 1988, 1989 พีเอเอชสามารถดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอัลตร้าไวโอเลต ที่ความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300 – 420 nm ซึ่งเกิด Photo – oxidized ที่รวดเร็ว การสลายตัวของพีเอเอชจะขึ้นอยู่กับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณแสงอาทิตย์ และ อุณหภูมิในช่วงเวลาของวัน การสลายตัวในบรรยากาศ ของพีเอเอชในอนุภาคของเขม่า แสดงถึงค่าครึ่งชีวิตของ B(a)P, B(e)P, B(g)H, Ind และ B(b)F จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในบรรยากาศมีค่าต่ำ ปริมาณแสงต่ำ และ ปริมาณความชื้นต่ำ จากการศึกษาของ Panther *et.al.*, 1999 พบว่าพีเอเอชสลายตัวได้ดีในเดือนที่มีสภาพอากาศร้อน เนื่องจากมีชั่วโมงที่มีแสงสว่างมากกว่า และ มีความเข้มข้นของแสงมาก ในบรรยากาศโดยทั่วไปพีเอเอชในอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเถ้าลอยเขม่า และ ผงถ่านมีความแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้ว่าเป็นพีเอเอชกลุ่มเดียวกัน คือ มีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ถึง 1000 ชั่วโมง Behymer and Hites, 1988 ศึกษาปัจจัยที่ผลเป็นต่อการสลายตัวโดยแสงของพีเอเอช ในเถ้าลอยในฤดูร้อน และ ฤดูหนาว จากการศึกษาพบว่า ค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวของพีเอเอช จากปฏิกิริยาของแสง ไม่ว่าโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติกกี่วงก็ตาม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเถ้าลอย เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นที่ผิว และสี ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าครึ่งชีวิตของพีเอเอชจากการเกิดปฏิกิริยาโดยแสง สีต่าง ๆ

พีเอเอช	White fly ash		Grey fly ash		Black fly ash	
	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว
Fluoranthene	7.7 ชม.	23.0 ชม.	1.9 วัน	5.7 วัน	1.2 วัน	3.6 วัน
Pyrene	3.7 ชม.	11.0 ชม.	1.6 วัน	4.8 วัน	1.1 วัน	3.3 วัน
Benzo(a)anthraene	15.0 นาที	45.0 นาที	17.0 ชม.	2.1 วัน	1.1 วัน	3.3 วัน
Chrysene	10.0 ชม.	1.30 วัน	2.3 วัน	6.9 วัน	1.0 วัน	3.0 วัน
Benzo(a)pyrene	15.0 ชม.	45.0 นาที	18.0 ชม.	2.3 วัน	20.0 ชม.	3.0 วัน
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	6.5 ชม.	20.0 ชม.	1.1 วัน	3.3 วัน	1.0 วัน	3.0 วัน
Benzo(g,h,i)pyrylene	1.9 ชม.	5.7 ชม.	2.5 วัน	7.5 วัน	23.0 ชม.	2.9 วัน

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2543) อ้างถึง Behymer and Hites, 1988

Butler and Crossly, 1981 ศึกษาค่าครึ่งชีวิตของพีเอเอช ในอนุภาคของเขม่าภายใต้สภาวะที่มีแสง และ มีความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 10 ppm พบว่า Benzo(a)pyrene มีค่าครึ่งชีวิต 168 ชั่วโมง Benzo(g,h,i)perylene 195 ชั่วโมง Pyrene 336 ชั่วโมง Benzo(a)anthraene 264 ชั่วโมง Chrysene 624 ชั่วโมง Fluoranthene 648 ชั่วโมง และ Phenanthrene 720 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแตกสลายของสารพีเอเอชในน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และดิน เกิดจากปฏิกิริยาแตกสลายด้วยน้ำ การย่อยสลายโดยชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic biodegradation) การแตกสลายโดยแสง (Photolysis) ค่าครึ่งชีวิตของสารพีเอเอชจำนวน 13 ชนิด แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าครึ่งชีวิตของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม

พีเอเอช	ค่าครึ่งชีวิต (ชม.)			
	อากาศ	น้ำผิวดิน	น้ำใต้ดิน	ดิน
Acenaphthene	0.879 – 8.79	3 – 300	590 – 4,896	295 – 2,448
Acenaphthylene	0.191 – 1.27	1,020 – 1,440	2,040 – 2,880	1,020 – 1,440
Anthracene	0.58 – 1.7	0.58 – 1.7	1,200 – 22,080	1,200 – 11,040
Benzo(a)anthracene	1 – 3	1 – 3	4,896 – 32,640	2,448 – 16,320
Benzo(b)fluoranthene	1.43 – 14.3	8.7 – 720	17,280 – 29,280	8,640 – 14,640
Benzo(k)fluoranthene	1.10 – 11.0	3.8 – 499	42,680 – 102,720	21,840 – 51,360
Benzo(a)pyrene	0.37 – 1.1	0.37 – 1.1	2,736 – 25,440	1,368 – 12,720
Chrysene	0.802 - 8.02	4.4 – 13	17,808 – 48,000	8,904 – 24,000
Dibenz(a,h)anthracene	0.428 – 4.28	6 – 782	17,328 – 45,120	8,664 – 22,560
Fluoranthene	2.02 – 20.2	21 – 63	6,720 – 21,120	3,360 - 10,560
Fluorene	6.81 - 68.1	768 – 1,440	1,536 – 2,880	1,536 – 2,880
Naphthalene	2.96 – 29.6	12 – 480	24 – 6,192	398 – 1,152
Phananthrene	2.01 – 20.1	3 – 25	768 – 9,600	384 - 4,800

ที่มา: Haward *et al.*, 1991

2.1.5.2. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเคมีแสง

ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเคมีแสง (Photochemical oxidation) มีความสำคัญต่อการสลายตัวของพีเอเอช ทั้งในรูปของก๊าซและในรูปของอนุภาค จากงานวิจัยของ Baek *et.al.*,1991 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง พีเอเอช กับ NO_x, N_2O_5, OH, SO_2 และ Peroxyacelyl nitrate ในบรรยากาศได้สารประกอบ oxy-, hydroxyl-, nitro- และ hydroxynitro- PAHs derivatives จากงานวิจัยของ Holloway *et.al.*, 1987 และ Kamens *et.al.*, 1986 พบว่าพีเอเอชเกิดปฏิกิริยา Photochemical oxidation เกิดสารประกอบ Nitrated PAHs, Quinones, Phenols และ Dihydrodiols

การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Hydroxyl radical (˙OH) และ Naphthalene สามารถแบ่งปฏิกิริยาได้เป็น 2 วิธี คือ 1) Hydroxyl (˙OH) เข้าทำปฏิกิริยากับ Naphthalene บริเวณตำแหน่งที่ 1 จากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยากับ NO_2 บริเวณตำแหน่ง ortho กรณีการเกิด Dehydration ดึงเอา H_2O ออกจากปฏิกิริยา เกิดเป็น 2 – Naphthalene และกรณีการสูญเสีย Nitrous acid เกิดเป็น 1 – naphthal นอกจากนี้ การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Hydroxyl radical ($^{\cdot}OH$) และ Naphthalene บริเวณตำแหน่งที่ 2 สามารถเกิดได้เช่นกัน เกิดเป็น 2 – naphthol, 1 – Nitronaphthalene, 2 – Formylcinnamaldehyde และ 2) Hydroxyl radical ($^{\cdot}OH$) เข้าทำปฏิกิริยากับ Naphthalene บริเวณตำแหน่ง C – H หรือ C = C

การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Hydroxyl radical และ Naphthalene ได้สารประกอบอะโรมาติกที่มีโครงสร้างแบบวงเปิด คือ 2 – Formylcinnamaldehyde เกิด Molar yield ประมาณ 38% และ Epox เกิด Molar yield ประมาณ 12% การเกิดปฏิกิริยาของ Naphthalene กับ NO_3 radical เกิดเป็น Nitrooxycyclohexadienyl – type radical ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับ NO_2 ถ้าเกิดปฏิกิริยาตรงตำแหน่งที่ 1 จะเกิดเป็น 1 – Nitronaphthalene และ NO_3 radical เข้าทำปฏิกิริยากับ Naphthalene ตรงตำแหน่งที่ 2 จะเกิดเป็น 2 – Nitronaphthalene ซึ่ง 1 – Nitronaphthalene และ 2 – Nitronaphthalene เกิด Molar yield เท่ากับ 35% นอกจากนี้ NO_3 radical สามารถเกิดปฏิกิริยากับ OH radical – Naphthalene เกิดเป็น Hydroxynitronaphthalene

2.1.5.3. การทำปฏิกิริยาของพีเอเอช กับ Reactive gases

นอกจากปฏิกิริยา Photochemical oxidation พีเอเอชสามารถลดลงได้จากการ Evaporative หรือ Oxidation reactions กับ Reactive gases ซึ่งก๊าซเหล่านี้อาจจะถูกปล่อยมาจากแหล่งเดียวกัน ตัวอย่างก๊าซเหล่านี้ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) โอโซน (O_3) และสารประกอบอื่นๆ ของ Photochemical smog และมีงานวิจัยของ Lindskog (1983) ศึกษาปฏิกิริยาของ NO_2 และ O_3 ในสภาวะที่ไม่มีแสง จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของพีเอเอช ลดลง ซึ่งมีปัจจัยจากความเข้มข้นของก๊าซ เวลาในการทำปฏิกิริยา และ ความชื้นในบรรยากาศ เมื่อมีการเพิ่มกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในอนุภาคของเขม่า พบว่าปฏิกิริยาของพีเอเอชเพิ่มมากกว่าปฏิกิริยาที่มีแต่ก๊าซ NO_2 และ O_3 เพียงอย่างเดียว

2.1.5.4. การระเหยกลายเป็นไอ

สารประกอบพีเอเอช มีแนวโน้มในการระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่บรรยากาศได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความดันไอ และ อุณหภูมิในบรรยากาศ ซึ่งพีเอเอชทุกชนิดระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง เช่น Benzo(g,h,i)pyrylene มีค่าความดันไอ 1.0×10^{-10} มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส Naphthalene มีค่าความดันไอที่ 1 มิลลิเมตรปรอทที่ 53 องศาเซลเซียส และ ระเหิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น การกลายเป็นไอของพีเอเอชที่อุณหภูมิห้อง เกิดได้น้อยมากหรือไม่เกิดเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.5. การรวมตัวของอนุภาคในบรรยากาศ

การกระจายตัวของพีเอเอชในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแตกต่างกันตามกระบวนการที่เกิด ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการควบแน่น หรือ การดูดซับ ทำให้พบพีเอเอช ใน 2 สถานะ คือ สถานะก๊าซ และ สถานะที่จับกับอนุภาคแขวนลอย (Particle - bound PAHs, p – PAHs) จากการศึกษาของ Chetwittayachan *et.al.*, 2002 พบว่าพีเอเอชจะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส และ อยู่ในรูปที่ยึดเกาะกับอนุภาคของขี้เถ้าลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่า จากการศึกษาโครงสร้างแบบชั้น (Shell structure) พีเอเอชจะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นพีเอเอชจะถูกปกคลุมด้วยสารกลุ่มระเหยง่ายชนิดอื่นอีกชั้นหนึ่ง นอกจากนี้ Venkataraman *et.al.*, 1999 ศึกษาความสัมพันธ์ของพีเอเอชที่พบในเขตเมือง โดยได้จำแนกลักษณะของอนุภาคเป็น 3 ลักษณะ คือ

- สารพีเอเอชที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน ซึ่งมีขนาดเล็กมากคือ เล็กกว่า 10 ไมครอน
- สารพีเอเอชที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็กหรืออาจดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1 – 2.0 ไมครอน ที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่มระเหยง่าย
- สารพีเอเอชที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่มีขนาดระหว่าง 2 – 20 ไมครอน

การเปลี่ยนแปลงของพีเอเอชในบรรยากาศระหว่างรูปแบบของการถูกกำจัดออกทางกายภาพ เช่น การตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง จากงานวิจัยของ Baek *et.al.*, 1991 พบว่าการกระจายตัวของพีเอเอชมากที่สุด ในอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.4 และ 1.1 ไมครอน นอกจากนี้พบว่าอนุภาคที่มีขนาด 3.0 – 5.0 ไมครอน สามารถถูกกำจัดจากบรรยากาศ ด้วยการตกสะสมแบบเปียกและ แบบแห้ง โดยส่วนใหญ่อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน มักเกาะกลุ่มกับอนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคใหญ่ ซึ่งทำให้อนุภาคฝุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มขนาดของอนุภาคฝุ่นปกติใช้เวลาเป็นวันถึงสัปดาห์ หลังจากนั้นจะเกิดการตกสะสมแบบเปียก และ แบบแห้งในบรรยากาศ ส่วนอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.1 – 0.3 ไมครอน มีระยะเวลาคงตัวในบรรยากาศได้หลายวันหรือนานกว่านั้น ทำให้สามารถแพร่กระจายตัวได้ในระยะทางไกล ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปการตกสะสมแบบแห้ง จะคงตัวในบรรยากาศได้นานกว่าการตกสะสมแบบเปียก

2.1.6 ความเป็นพิษของพีเอเอชในมนุษย์และสัตว์

จากการศึกษาความเป็นพิษของพีเอเอชในสัตว์ทดลอง และ ระบาดวิทยาพบว่า พีเอเอชเป็นสารที่ทำให้เกิดมะเร็ง ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ IARC (1983) จัดให้พีเอเอช เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่มที่ 1 (Human carcinogens Group 1) ในบรรดาสารพิษทั้งหลาย 275 ชนิด ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิษร้ายแรงมากที่สุด 20 อันดับ มีสารในกลุ่มพีเอเอชเป็นสารพิษที่ติดอันดับที่ 8, 9, 10 และ 17 กลุ่มสารพิษที่มีพิษร้ายแรงมากที่สุด 20 อันดับ เรียงจากมากไปหาน้อย ตามลำดับ ดังนี้

ลำดับที่ 1 Arsenic	ลำดับที่ 11 Chloroform
ลำดับที่ 2 Lead	ลำดับที่ 12 Aroclor 1254
ลำดับที่ 3 Mercury, Metallic	ลำดับที่ 13 DDT
ลำดับที่ 4 Vinyl Chloride	ลำดับที่ 14 Aroclor 1260
ลำดับที่ 5 Benzene	ลำดับที่ 15 Trichloroethylene
ลำดับที่ 6 PCBs	ลำดับที่ 16 Chromium (VI)
ลำดับที่ 7 Cadmium	ลำดับที่ 17 Dibenz(a,h)anthracene
ลำดับที่ 8 Benzo(a)pyrene	ลำดับที่ 18 Dieldrin
ลำดับที่ 9 Benzo(b)fluoranthene	ลำดับที่ 19 Hexachlorobutadiene
ลำดับที่ 10 PAHs	ลำดับที่ 20 Chlordan

2.1.6.1. พิษเฉียบพลันของพีเอเอช

U.S.EPA (1998) รายงานว่า Naphthalene ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolytic anemia) และ ต้อกระจก (Cataract) ความผิดปกติทั้ง 2 อย่างนี้เกิดได้ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง มีรายงานการเสียชีวิตของคนที่กินลูกเหม็นในขนาด 5 กรัม ผลการชันสูตรร่างผู้ตายพบว่า ปอดมีการคั่งของโลหิตและบวมน้ำที่ตับ มีการแทรกตัวของเม็ดเลือดขาวชนิด Polymorphonuclear leucocytes และ Lymphocytes พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเซลล์ตับ นอกจากนี้ยังมีรายงานการเสียชีวิตของเด็กอายุ 6 ปีที่กิน Naphthalene ในขนาด 2 กรัม จากการคำนวณพบว่า ปริมาณของ Naphthalene ที่ทำให้คนตายได้มีขนาด 71.4 ถึง 214.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว โดยคิดจากคนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 70 กิโลกรัม Kochevar *et al.*, 1982 รายงานว่า Pyrene ทำให้ผิวหนังของหนูตะเภาเกิดอาการแพ้แสงอย่างรุนแรง โดยศึกษาการแพ้แสงจากสารประกอบ 8 ชนิด ที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ โดยการป้ายสารเหล่านี้บนผิวหนังของหนูตะเภา แล้วฉายด้วยแสงอัลตร้าไวโอเลต พบว่า Pyrene ทำให้เกิดการอักเสบบวมแดงของผิวหนังได้มากที่สุด

Cottini and Mazzone (1939) รายงานว่า Benzo(a)pyrene ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และเยื่อบุทางเดินหายใจ โดยคนที่ได้รับ Benzo(a)pyrene ทางการหายใจ มีอาการไอหลอดลมอักเสบ การได้รับ Benzo(a)pyrene หรือน้ำมันดิบ ซึ่งมีพีเอเอชหลายชนิดเป็นส่วนประกอบโดยการสัมผัสทางผิวหนัง ทำให้เกิดความผิดปกติของผิวหนังคือ เป็นหูด นอกจากนี้ยังมีอาการแสบร้อน มีตุ่มหนองเกิดขึ้น และอาการเหล่านี้จะรุนแรงมากขึ้นเมื่อได้รับแสงอัลตร้าไวโอเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอเอชมีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำในสัตว์ทดลอง การได้รับพีเอเอชในระยะเวลาสั้น มักไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกายอย่างเด่นชัด และรุนแรง LD_{50} โดยการให้ทางปากในหนู Mouse และหนู Rat มีค่ามากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ยกเว้น Naphthalene ในหนู Mouse มีค่า LD_{50} 354 ถึง 710 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว LD_{50} ของ พีเอเอชในสัตว์ทดลอง แสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 LD_{50} ของพีเอเอชในสัตว์ทดลอง

พีเอเอช	Species	วิธีการได้รับสาร (มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว)	LD_{50}
Anthracene	หนู Mouse	ทางปาก	18,000
		ฉีดเข้าช่องท้อง	>430
Benzo(a)pyrene	หนู Mouse	ทางปาก	>1,600
		ฉีดเข้าช่องท้อง	250
		ฉีดเข้าใต้ผิวหนัง	50
Chrysene	หนู Mouse	ฉีดเข้าช่องท้อง	>320
Fluoranthene	หนู Mouse	ฉีดเข้าเส้นเลือด	100
	หนู Rat	ทางปาก	2,000
	กระต่าย	ป้ายบนผิวหนัง	3,180
Naphthalene	หนู Mouse	ทางปาก	354-710
		ฉีดเข้าช่องท้อง	150-400
	หนู Rat	ทางปาก	490-9,430
		ฉีดเข้าช่องท้อง	1,000-1,600
Phenanthrene	หนู Mouse	ทางปาก	700-1,000
		ฉีดเข้าช่องท้อง	700
		ฉีดเข้าเส้นเลือด	56
Pyrene	หนู Mouse	ฉีดเข้าช่องท้อง	514-678

ที่มา: กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 Reference dose โดยการกิน (RfDo) และโดยการหายใจ (RfDi)

พีเอเอช	Oral reference dose (RfDo)	Inhibition reference dose (RfDi)
Acenapthene	6.00×10^{-2}	-
Anthracene	3.00×10^{-2}	-
Fluoranthene	4.00×10^{-2}	-
Fluorene	4.00×10^{-2}	-
Naphthalene	3.00×10^{-2}	4.00×10^{-4}
Pyrene	2.00×10^{-2}	-

ที่มา: กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2543) อ้างถึง U.S.EPA (1999)

*หน่วยของ RfDo และ RfDi คือ มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน

ตารางที่ 2.11 ค่าความเข้มข้นของการเกิดมะเร็งโดยการกิน (CPSo) และโดยการหายใจ (CDSi)

พีเอเอช	ค่าความชันของการเกิดมะเร็งโดยการกิน (CPSo)	ค่าความชันของการเกิดมะเร็งโดยการหายใจ (CDSi)
Benzo(a)anthracene	7.30×10^{-1}	-
Benzo(b)fluoranthene	7.30×10^{-1}	-
Benzo(b)fluoranthene	7.30×10^{-2}	-
Benzo(a)pyrene	7.30	3.1
Chrysene	7.30×10^{-3}	-
Dibenz(a,h)anthracene	7.30	-
Indeno(1,2,3 –cd)pyrene	7.30×10^{-1}	-

ที่มา: กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2543) อ้างถึง U.S.EPA (1999)

*หน่วยของ CPSo และ CDSi คือ (มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน) $^{-1}$

2.1.6.2. พิษเรื้อรังของพีเอเอชในมนุษย์และสัตว์ทดลอง

The U.S. Department of Health and Human Survice (Grariviat, 1999) ได้สรุปว่าพีเอเอชอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็ง พีเอเอชหลายตัว เช่น Benzo(a)anthracene, Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthrene, Chrysene, Dibenzo(a,h)anthracene และ Indeno(1,2,3-cd)pyrene เป็นสาเหตุของการเกิดเนื้องอก จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยให้สัตว์ทดลองกิน รับทางผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือหายใจ เอาอากาศที่มีสารเหล่านี้เข้าไปเป็นระยะเวลานาน สำหรับมนุษย์มีรายงานว่า การได้รับสารเหล่านี้ โดยทางเดินหายใจหรือผิวหนังสัมผัสกับสารผสมของพีเอเอชเป็นระยะเวลานาน อาจทำให้เกิดมะเร็งได้ พิษเรื้อรังของพีเอเอชต่อมนุษย์และสัตว์ทดลอง สามารถจำแนกได้ดังนี้

1) การเป็นสารก่อมะเร็ง

กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2543) อ้างถึง IARC (1999) ได้จัดแบ่งพีเอเอชออกเป็น 2 กลุ่ม (ตารางที่ 2.12) ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ กลุ่มที่ก่อมะเร็ง และ กลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง เป็นที่น่าสังเกตว่าไม่มีพีเอเอชสารใดที่ IARC จัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในคน (Group 1) แม้ว่าพีเอเอชหลายสารเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง ซึ่งได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น ควันบุหรี่ น้ำมันดิบ เขม่า ควันเสียจากเตาเผาถ่านหิน หรือ จากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณ หรือ ความเข้มข้นของพีเอเอชแต่ละสารที่มนุษย์ได้รับจากสารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่น ๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย

2) ผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อน

Mackenzie and Angerine, 1981 รายงานไม่พบผลของพีเอเอชต่อการพัฒนาตัวอ่อนในมนุษย์ มีเพียงรายงานผลของ Benzo(a)pyrene ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเท่านั้น โดยหนู Mouse ที่ได้รับ Benzo(a)pyrene ระหว่างการตั้งท้อง ทำให้การพัฒนาของตัวอ่อนผิดปกติไป คือ อัตราการรอดชีวิตของลูกหนูเมื่อคลอดลดลง การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของลูกหนูที่มีชีวิตลดลง การพัฒนาระบบสืบพันธุ์ของตัวอ่อนผิดปกติ คือ เซลล์สืบพันธุ์มีรูปร่างผิดปกติ ซึ่งเมื่อลูกหนูเหล่านี้เติบโตเต็มที่ ความสมบูรณ์ทางเพศลดลง และ บางตัวเป็นหมัน

3) ความผิดปกติต่อการสืบพันธุ์

ไม่พบรายงานความเป็นพิษของพีเอเอชที่มีต่อระบบสืบพันธุ์ในมนุษย์ และ มีพีเอเอชเพียง 2 สารเท่านั้น ที่มีรายงานว่า ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ คือ Acenaphthene และ Benzo(a)pyrene U.S.EPA (1989c) ได้ทำการทดสอบความเป็นพิษของ Acenaphthene ในหนู Mouse ทั้ง 2 เพศ โดยการให้ Acenaphthene เข้าทางกระเพาะอาหารในขนาดตั้งแต่ 0 ถึง 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน ติดต่อกันนาน 13 สัปดาห์ พบว่า หนูเพศผู้ไม่มีความผิดปกติใดๆ ของระบบสืบพันธุ์ในขณะที่หนูเพศเมียที่ได้รับ Acenaphthene ในขนาด 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน มีน้ำหนักของรังไข่ลดลง อย่างสอดคล้องกับการลดลงของการทำงานของรังไข่ และ มดลูก

4) ความผิดปกติกับทารก

แม้ไม่มีรายงานความผิดปกติจากพีเอเอชที่เกิดกับทารกในมนุษย์ มีรายงานแต่เพียง Benzo(a)pyrene ในสัตว์ทดลองของ Mackenzie and Angerine, 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 การจัดกลุ่มพีเอเอช โดย International Agency for Research on Cancer (IARC)

Group 2A	สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (Probably carcinogenic to humans)	
	Benzo(a)pyrene	Dibenz(a,h)anthracene
	Benzo(a)anthracene	
Group 2B	สารที่อาจก่อมะเร็งในคน (Possibly carcinogenic to humans)	
	Benzo(b)fluoranthene	Benzo(j)fluoranthene
	Benzo(k)fluoranthene	Dibenzo(a,e)pyrene
	Dibenzo(a,h)pyrene	Dibenzo(a,i)pyrene
	Dibenzo(a,l)pyrene	Dibenzo(a,j)pyrene
	Dibenzo(a,h)anthracene	Indeno(1,2,3-cd)pyrene
	Naphthalene	
Group 3	สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน (Unclassifiable as carcinogenicity to humans)	
	Bnthracene	Benz(a)acridine
	Benz(c)acridine	Benzo(g,h,i)fluoranthene
	Benzo(a)fluorine	Benzo(b)fluorene
	Benzo(c)fluorine	Benzo(g,h,i)pyrylene
	Benzo(c)phenanthrene	Benzo(e)pyrene
	Chrysene	Coronene
	Cyclopenta(c,d)pyrene	Dibenz(a,c)anthracene
	Dibenzo(a,j)anthracene	Dibenzo(a,e)fluoranthene
	Dibenzo(h,r,s,t)pentaphene	Fluoranthene
	Fluorene	Perylene
	Phenanthrene	Pyrene
	Triphenylene	

ที่มา : กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2543) อ้างถึง IARC (1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.3. ความเป็นพิษเฉพาะด้าน

1) ปฏิกิริยาทางชีวเคมี (Biochemical interactions) พีเอเอชจะออกฤทธิ์ยับยั้งหรือกระตุ้นเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่

- Carboxylesterase เป็นเอนไซม์ใน Microsome เราจะพบได้ในเซลล์ของตับ ไต และในเยื่อบุลำไส้ Anthracene, Phenanthrene, Benzo(a)anthracene และ Benzo(a)pyrene มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของ Carboxylesterase ในเยื่อบุลำไส้ของหนู

- Aromatic Hydrocarbon Hydroxylases (AHH) เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม microsomal mixed function oxidases และเป็น cytochrom P-450 AHH มีหน้าที่เฉพาะเมทตาโบลิซึมของพีเอเอชทุกชนิด พีเอเอชส่วนมากมีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของ AHH โดยผ่าน Ahreceptor ซึ่งความสามารถในการกระตุ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพีเอเอช สปีชีส์ และสายพันธุ์ของสัตว์

- Aldenhyde Dehydrogenase (ADH) เป็นเอนไซม์ในไซโตพลาสซึม ที่พบได้มากในเซลล์ตับ การศึกษาในหนู พบว่าความรุนแรงของการกระตุ้น การทำงานของ ADH มีความสอดคล้องกับฤทธิ์ก่อมะเร็งของพีเอเอช ยกตัวอย่างเช่น Benzo(a)pyrene และ Benzo(a)anthracene สามารถกระตุ้นการทำงานของ ADH ได้มากกว่า และ มีฤทธิ์ก่อมะเร็งที่แรงกว่า Anthracene, Phenanthrene, Chrysene (Torronen *et al.*, 1981)

2.1.6.4. การเสริมพิษ/การต่อต้านพิษ

โดยทั่วไปพีเอเอชที่เกิดจากแหล่งต่างๆ อยู่ในรูปของสารผสมมากกว่าในรูปของสารเดี่ยว และ อาจมีสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่พีเอเอช ปะปนอยู่ด้วยเช่น สาร Nicotine ปะปนกับพีเอเอชในควันบุหรี่ เส้นใยแอสเบสตอสที่ปะปนกับพีเอเอชในผงเขม่าจากโรงงาน เป็นต้น การเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างพีเอเอชด้วยกันเอง และ ระหว่างพีเอเอชกับสารอื่น จึงอาจเกิดขึ้นได้ทั้งก่อน และ ภายหลังได้รับเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็ง และ ก่อกลายพันธุ์จะต้องถูกเมตาบอไลท์ เพื่อเปลี่ยนเป็นเมตาบอไลท์ ที่มีความเป็นพิษ และ สามารถรวมตัวกับสีชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สำคัญของเซลล์ เช่น DNA, RNA และโปรตีนได้ ฉะนั้นการยับยั้ง หรือ การกระตุ้นเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึม ของพีเอเอช ไม่ว่าจะเนื่องจากพีเอเอชด้วยกันเองหรือจากสารชนิดอื่นก็ตามย่อมมีผลในการเสริมหรือต่อต้านความเป็นพิษของพีเอเอชได้ (U.S.DHHS, 1995)

Benzo(a)pyrene เป็นสารก่อมะเร็งที่มีฤทธิ์แรง การศึกษาในหนูที่ได้รับ Benzo(a)pyrene ร่วมกับพีเอเอชชนิดอื่นที่มีฤทธิ์ ก่อมะเร็งอย่างอ่อนหรือไม่มีฤทธิ์เลย ได้แก่ Benzo(e)pyrene, Benzo(g,h,i)perylene, Fluoranthene และ Pyrene พบว่าสารเหล่านี้ทำให้ฤทธิ์การก่อมะเร็งของ Benzo(a)pyrene เพิ่มมากขึ้น โดย Benzo(e)pyrene, Fluoranthene และ Pyrene สามารถเสริมฤทธิ์ของ Benzo(a)pyrene ได้มากกว่า Benzo(g,h,i)perylene (Van Duuren *et al.*, 1967) และ พบว่าสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้ทำให้ปริมาณของสารประกอบระหว่าง Benzo(a)pyrene และ DNA เพิ่มมากขึ้นด้วย (DiGiovanni *et al.*, 1982; Lau and Baird, 1992; Rice *et al.*, 1986)

2.1.6.5. การระคายเคืองเบื้องต้น

พีเอเอชบางชนิดสามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อบุต่าง ๆ ได้

Anthracene ทำให้เกิดอาการแพ้แสง (Photosensitivity) ได้ทั้งในคนและสัตว์ทดลอง มีรายงานว่าคนที่ได้สัมผัสกับ Anthracene เกิดอาการอักเสบอย่างเฉียบพลันของผิวหนัง คือมีอาการบวมแดง แสบร้อน และ คันในบริเวณที่ได้สัมผัสกับ Anthracene นอกจากนี้ Anthracene ยังทำให้เกิดอาการระคายเคืองของดวงตา เยื่อบุตาอักเสบ ตาแดง หนังตาบวม น้ำตาไหล แพ้แสง และ มีอาการระคายเคืองของเยื่อบุทางเดินหายใจตอนต้นร่วมด้วย อาการเฉียบพลันเหล่านี้กลับหายเป็นปกติได้ในเวลาหลายวันหลังจากการได้รับ Anthracene หากได้รับเป็นระยะเวลานานผิวหนังส่วนที่ได้รับสัมผัสมีสีเข้มขึ้น ส่วนบนของผิวหนังหนาและด้าน มีการพองตัวของเส้นโลหิตฝอยของผิวหนังในบริเวณนั้น ในบางกรณีอาจมีการอักเสบของเยื่อบุทางเดินอาหารเกิดขึ้น แสงอัลตร้าไวโอเลตมีส่วนร่วมในการก่อความระคายเคืองของ Anthracene ด้วย Sinha and Chignell, 1993 รายงานว่าแสงอัลตร้าไวโอเลตความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร สามารถกระตุ้นให้เกิดพันธะโควาเลนท์ระหว่าง DNA และ Anthracene เพิ่มขึ้น

Pyrene ทำให้เกิดอาการแพ้แสงของผิวหนังได้อย่างรุนแรงในหนูตะเภา จากการศึกษาการแพ้แสงของสารประกอบ 8 ชนิดที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ โดยการป้ายสารละลายเหล่านี้บนผิวหนังของหนูตะเภาแล้วฉายแสงอัลตร้าไวโอเลต พบว่า Pyrene ทำให้เกิดการอักเสบบวมแดงของผิวหนังมากที่สุด (Kochevar *et al.*, 1982)

Benzo(a)pyrene ทำให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนัง และ เยื่อบุทางเดินหายใจ มีรายงานว่าคนที่ได้รับ Benzo(a)pyrene โดยการหายใจ มีอาการไอ หลอดลมอักเสบ การได้รับ Benzo(a)pyrene หรือ น้ำมันดิบซึ่งมีพีเอเอชหลายชนิดเป็นส่วนประกอบ โดยการสัมผัสทางผิวหนังทำให้เกิดอาการผิดปกติของผิวหนัง คือ เป็นหูด นอกจากนี้ยังมีอาการแสบร้อน ไวต่อแสง และ มีตุ่มหนองเกิดขึ้น อาการเหล่านี้รุนแรงมากขึ้นเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเลต (Cottini and Mazzone, 1939)

Benzo(a)anthracene ทำให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อบุทางเดินหายใจในมนุษย์ สำหรับในสัตว์ทดลองพบว่า Benzo(a)anthracene ทำให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อบุทางเดินหายใจ และการตรวจทางพยาธิของเยื่อบุทางเดินหายใจ พบว่า มีการบวมน้ำ มีการแทรกตัว (Infiltration) ของเม็ดเลือดขาวชนิด Granulocyte และ Mononuclear cells เข้าไปในเยื่อบุทางเดินหายใจ และ มีจำนวนเซลล์สร้างเส้นใย (Fibroblast) เพิ่มขึ้น ในระยะท้ายของการทดลองพบว่ามีภาวการณ์ทำให้เกิดพังผืด (Fibrosis) ของเยื่อบุทางเดินหายใจด้วย (Topping *et al.*, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.6. ความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกัน

ข้อมูลความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกันของพีเอเอช ส่วนใหญ่ คือ Benzo(a)pyrene การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า การได้รับ Benzo(a)pyrene ทางผิวหนังสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาของระบบภูมิคุ้มกันแบบ Allergic contact hypersensitivity ทำให้การตอบสนองของภูมิคุ้มกันที่มีต่อสารชนิดอื่นลดลง ยับยั้งการสร้างแอนติบอดี้ และ สามารถเปลี่ยนแปลงการทำงาน ของ Macrophages, T – cell และ B – cell (Blanton *et al.*, 1988)

2.2. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงถือเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลงานวิจัย การวิเคราะห์ทางสถิติ หรือ อาจมีการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการคาดการณ์หาระดับความเสี่ยง โดยข้อมูลการประเมินความเสี่ยงความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพส่วนใหญ่แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีที่ได้รับ และ ผลกระทบที่มีต่อร่างกาย และการประเมินความเสี่ยงยังสามารถหาจุดวิกฤตของปริมาณการได้รับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้อีกด้วย นอกจากนี้ข้อมูลจากการทำประเมินความเสี่ยงยังใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการพัฒนานโยบายด้านสุขภาพของมนุษย์ ช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพมนุษย์ และ สิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารเคมี

กระบวนการในการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ มี 4 ขั้นตอน คือ

1) การบ่งชี้สิ่งคุกคาม (Hazard identification) คือ กระบวนการในการบ่งชี้ว่าสิ่งใดหรือภาวะใดเป็นปัจจัยคุกคาม นั่นคือ หากมนุษย์สัมผัสสิ่งนั้น หรือ ภาวะนั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสุขภาพขึ้นได้ การบ่งชี้สิ่งคุกคาม เป็นการตอบคำถามว่า ในสถานที่แห่งหนึ่ง หรือ สภาพการณ์หนึ่งนั้น มีสิ่งคุกคามอยู่จริงหรือไม่ หรือ อะไรบ้างที่เป็นสิ่งคุกคาม เครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งของแพทย์อาชีวเวชศาสตร์ ในการบ่งชี้สิ่งคุกคามในสถานที่ทำงานก็คือ การเดินสำรวจสถานที่ทำงาน (walkthrough survey)

2) การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment) คือการประเมินระดับการสัมผัสที่แต่ละบุคคล ประชากร หรือ ระบบนิเวศ ได้รับว่ามากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึงขนาดการสัมผัส (dose) ระยะเวลาที่สัมผัส (duration) และ ช่องทางการสัมผัส (routes of exposure) รวมถึงเส้นทางการฟุ้งกระจายของสิ่งคุกคามจากในสิ่งแวดล้อมผ่านตัวกลาง (medias) มาสู่คนด้วย

3) การประเมินขนาดสัมผัสกับผลกระทบที่เกิดขึ้น (Dose-response assessment) เป็นการประเมินว่าขนาดของการสัมผัสระดับใดจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากน้อยเท่าใด ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้สามารถแบ่งระดับการสัมผัสเป็นระดับปลอดภัยกับระดับที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ตัวอย่างที่ชัดเจน เช่น การประเมินการตอบสนองต่อสารเคมีในวิชาพิษวิทยา สารพิษชนิดเดียวกัน แต่มีปริมาณการสัมผัสต่างกัน จะทำให้ร่างกายตอบสนองต่างกัน สำหรับสิ่งคุกคามประเภทอื่น ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งคุกคามทางกายภาพ ชีวภาพ และ การยศาสตร์ ระดับการสัมผัสที่ต่างกันนั้นก็จะทำให้ร่างกายมนุษย์เกิดผลตอบสนองต่างกันด้วยเช่นเดียวกัน

4) การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk characterization) คือ การวิเคราะห์ข้อมูลจากทั้ง 3 ขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อนำมาประเมินว่า การสัมผัสสิ่งคุกคามในสภาพที่เป็นอยู่นั้น ถือเป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือไม่ ในที่ทำงาน หรือ สถานประกอบการแห่งหนึ่ง คนทำงานแต่ละคน หรือ แผนกงานแต่ละแผนก ย่อมจะมีความเสี่ยงต่อสุขภาพที่แตกต่างกันไปตามสิ่งคุกคามที่สัมผัส รายละเอียดที่ต้องพิจารณาในขั้นตอนนี้คือ ต้องบอกให้ได้ว่าความเสี่ยงต่อปัจจัยคุกคามที่สนใจนั้น ระดับของความเสี่ยงมีมากน้อยแค่ไหน มีความเสี่ยงอย่างไร ใครเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงสูงสุด ลักษณะงาน หรือกิจกรรมแบบใดที่ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงสุด

รายละเอียดกระบวนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพทั้งหมดนั้น ประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลงานวิจัย ทั้งในสัตว์ทดลอง และ การศึกษาในมนุษย์ การวิเคราะห์ทางสถิติ การใช้สมการทำนายผลเพื่อคาดการณ์หาระดับของความเสี่ยง ซึ่งต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอีกอย่างมาก

เมื่อมีการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพแล้ว สิ่งสำคัญต่อมาก็คือการจัดการความเสี่ยง (risk management) ผู้ที่มีอำนาจตัดสินใจในการดำเนินการจัดการความเสี่ยงนั้นมักเป็นผู้นำชุมชน หรือผู้บริหารขององค์กร กระบวนการจัดการความเสี่ยงที่ดีจะต้องเลือกวิธีการ จัดการความเสี่ยงที่เหมาะสม และ ดำเนินการในช่วงเวลาที่เหมาะสมด้วย

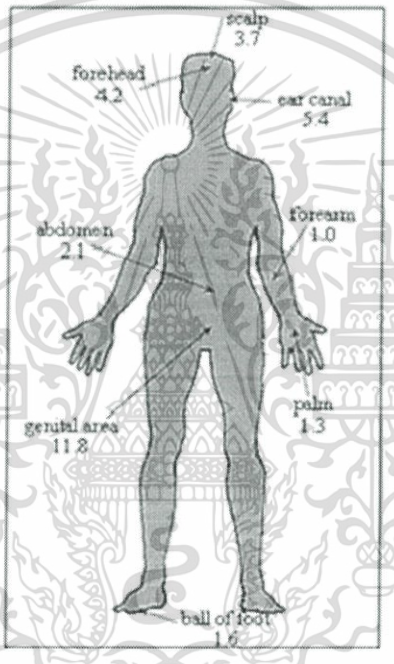
อีกกระบวนการหนึ่งที่ต้องกระทำไปควบคู่กับการจัดการความเสี่ยง คือ การสื่อสารความเสี่ยง (risk communication) เป็นกระบวนการที่ทำเพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงนั้นมากขึ้น บุคคลสำคัญที่จำเป็นต้องทำการสื่อสารความเสี่ยงให้เข้าใจเป็นอันดับแรกก็คือ ผู้นำชุมชน หรือ ผู้บริหารที่มีอำนาจตัดสินใจในการจัดการความเสี่ยงนั้นได้ นอกจากนี้ ยังอาจต้องสื่อสารความเสี่ยงไปยังสาธารณะชน หรือ คนที่ได้รับความเสี่ยงนั้นด้วย การนำเสนอข้อมูลเพื่อสื่อสารความเสี่ยงนั้นเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ ข้อมูลวิชาการที่สื่อสารต้องตรงกับความเป็นจริง ต้องทำให้เกิดความตระหนักรู้ในอันตรายที่อาจเกิดจากความเสี่ยงนั้น แต่ก็ต้องไม่ทำให้เกิดความตื่นตระหนกจนเกินไป และ ต้องทำให้ผู้ที่ได้รับความเสี่ยงนั้นมีความรู้ สามารถดูแลตัวเอง รับมือกับความเสี่ยงนั้นได้

ตัวอย่างความเสี่ยงการดูดซับสารพิษเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งเป็นสารพิษจากยาฆ่าแมลง ชื่อสารเคมี Methyl bromide เป็นสารที่มีความเสี่ยงในการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง โดยคนที่ทำหน้าที่ฉีดยาฆ่าแมลงเป็นบุคคลที่มีความเสี่ยงสูงสุด เพราะอยู่ใกล้ชิดสารเคมีมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง สารพิษจากยาฆ่าแมลงสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 วิธีดังนี้

1. ทางปาก เช่นการกลืนไอของสเปรย์ย่าฆ่าแมลง หรือ ดื่มน้ำ กินผลผลิตที่มีฆ่าแมลงปนเปื้อน
2. ทางการหายใจ ยาฆ่าแมลงสามารถเข้าได้ทั้งทางจมูก ปาก และ อาจจะลงไปสู่ปอด
3. ทางผิวหนัง ผิวหนังสามารถดูดซับยาฆ่าแมลงได้ และ ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อผิวหนังมีบาดแผล



รูปที่ 2.2 อัตราการดูดซับสารพิษจากยาฆ่าแมลงในร่างกายเมื่ออัตราการดูดซับที่ปลายแขนเท่ากับ 1
ที่มา: Rice knowledge Bank (2012)

การประเมินการสัมผัสในกรณีนี้ ประเมินในรูปของอัตราการดูดซับพิษ ที่อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายเทียบกับอัตราการดูดซับที่ปลายแขนซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 พบว่า สารพิษถูกดูดซับในร่างกายได้หลายแห่ง และ อัตราการดูดซับสารพิษสะสมที่อวัยวะสืบพันธุ์สูงสุดคิดเป็น 11.8 เท่าของการดูดซับที่ปลายแขน ดังนั้นคนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลง มีโอกาสที่จะเป็นมะเร็งที่อวัยวะสืบพันธุ์มากกว่าอวัยวะส่วนอื่น แต่อย่างไรก็ตาม หากต้องทำงานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี ไม่ว่าจะเป็นสารเคมีชนิดใดก็ตาม ควรหาอุปกรณ์ป้องกันให้มิดชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. การวิเคราะห์สารพีเอเอชในสารละลาย

กรณีตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมที่มีพีเอเอช นิยมทำการย่อย หรือ สลายพีเอเอช จากตัวอย่างสู่สารละลายอินทรีย์ โดยเลือกสารสกัด และ ให้ความร้อนที่เหมาะสม โดยการผ่านไหลวนของสารสกัด หรือ ทำการรีฟลักซ์ และ สกัดซ้ำจนได้สารละลายเพิ่มขึ้น แล้วนำไประเหยแห้ง ขั้นต่อไปจึงทำให้สารบริสุทธิ์มากขึ้น หรือ กำจัดสารรบกวน ทำให้เข้มข้นด้วยการพ่นอากาศ หรือ ก๊าซไนโตรเจน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีที่เหมาะสม

2.3.1 การเก็บตัวอย่าง

การสุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Sampling)

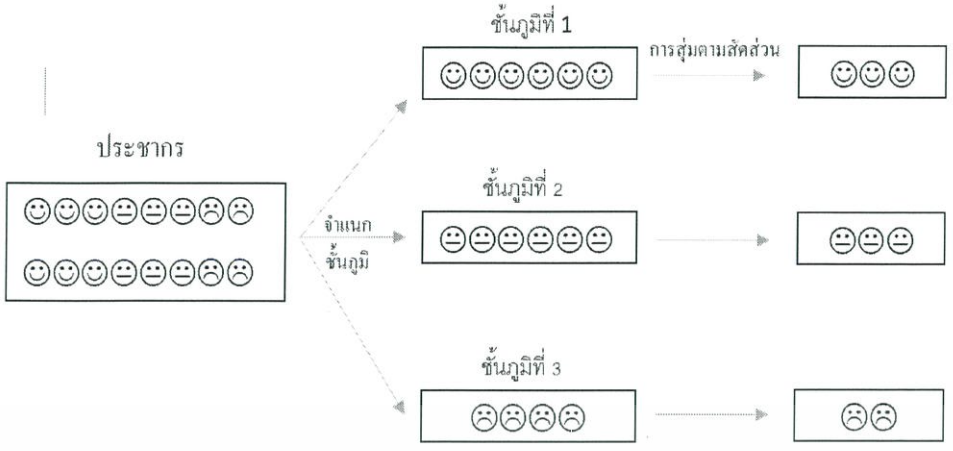
การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ เป็นการสุ่มตัวอย่างจากประชากรที่มีจำนวนมาก และ มีความแตกต่างกัน ระหว่างหน่วยสุ่มที่สามารถจำแนกออกเป็นชั้นภูมิ (Stratum) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความครบถ้วน และ ครอบคลุม จะต้องดำเนินการสุ่มกลุ่มตัวอย่างจากชั้นภูมิ มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) ศึกษาลักษณะของประชากรที่จะศึกษาอย่างละเอียด ว่าคุณลักษณะใดที่จะส่งผลต่อตัวแปรที่จะศึกษาตัวแปรใดบ้าง และ คุณลักษณะนั้น ๆ สามารถที่จำแนกออกเป็นกลุ่มย่อยได้หรือไม่ อาทิ เพศ ระดับการศึกษา อาชีพ เป็นต้น

2) จำแนกประชากรออกเป็นชั้นภูมิ ตามคุณลักษณะของกลุ่มย่อย โดยกำหนดให้สมาชิกในแต่ละกลุ่มย่อย มีความคล้ายคลึงกันให้มากที่สุด และ ให้มีความแตกต่าง ระหว่างกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มให้มากที่สุด เช่นเดียวกัน

3) สุ่มตัวอย่างจากกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่ม เพื่อเป็นสมาชิกของกลุ่มตัวอย่าง ที่จะศึกษาตามสัดส่วน กล่าวคือ ชั้นใดมีประชากรมากควรได้รับการสุ่มตัวอย่างเป็นตัวแทนมาก แสดงการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ

ข้อสังเกต ของการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ

1) ได้กลุ่มตัวอย่าง ที่มีคุณลักษณะที่ครอบคลุมทุกลักษณะ ของประชากร อย่างเป็นระบบ และ ช่วยลดความคลาดเคลื่อน แต่ไม่ต้องลดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง เหมือนวิธีการสุ่มอย่างง่ายทำให้การทดสอบทางสถิติ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) ถ้าจำนวนตัวแปร ที่ใช้มีมากเกินไป จะทำให้มีจานวนชั้นที่มาก และ ยุ่งยากในการแบ่งชั้น หรือทำให้สมาชิกของแต่ละชั้นอาจมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอ เสียเวลา และ ใช้ค่าใช้จ่ายสูง

3) ในการประมาณค่าความคลาดเคลื่อน จะต้องใช้สูตรการปรับแก้สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างที่ค่อนข้างซับซ้อน

$$n_h = \frac{N_h}{N} \times n \quad \text{..... ①}$$

เมื่อ n_h คือ จำนวนตัวอย่างที่เก็บ

N_h คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดในจุดเก็บแต่ละจุด

N คือ ผลรวมของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณ

ร้าน D1

$$n_h = \frac{1{,}200}{3{,}700} \times 30$$

$$= 10$$

การเลือกสุ่มตัวอย่างนั้นมีหลายแบบด้วยกัน เช่น การสุ่มกลุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Random Sampling) เป็นการสุ่มที่สมาชิกทุกหน่วยมีจำนวนไม่มากนัก ลักษณะของประชากร จะมีลักษณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกัน จะทำให้ไม่ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีความครอบคลุม หรือเป็นตัวแทนที่ดี ข้อดี คือ สะดวกใช้ได้ง่าย แต่ข้อเสีย คือ ถ้ากลุ่มประชากรมีจำนวนมากจะทำให้เสียเวลาเนื่องจาก จะต้องรู้เจาะจงว่าแต่ละลำดับเป็นอย่างไร เช่น การสุ่มจากประชากรทั้งหมดจะต้องรู้ว่า ในลำดับที่ 80 เป็นใคร การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ (Systematic Sampling) การสุ่มแบบนี้จะมีการเรียงลำดับของตัวอย่างไว้แบบสุ่ม และ ทำการหาช่วงในการสุ่มโดยคิดจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดหารด้วยจำนวนตัวอย่างที่ต้องการ จากนั้นก็ทำการเก็บตัวอย่างตามช่วงที่ได้ ข้อดี คือ ง่าย สะดวก และ สามารถได้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นสัดส่วน ข้อเสีย คือ ไม่สามารถกำหนดความแปรปรวนของตัวอย่างได้เนื่องจากการสุ่มได้เพียง 1 ตัวจากกลุ่มนั้น ๆ หรือ ถ้าตัวอย่างมีการเรียงจากมากไปน้อย ก็จะทำให้การสุ่มไม่ได้ตัวแทนของตัวอย่างที่ดี การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Sampling) คือ การสุ่มตัวอย่างโดยที่มีการแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ก่อนแล้วจึงทำการสุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ข้อดี คือ จะทำให้มีการสุ่มตัวอย่างที่เท่าเทียมกันทุกกลุ่ม การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Sampling) เป็นการแบ่งกลุ่มแบบภายในกลุ่มจะมีลักษณะที่แตกต่างแต่ระหว่างกลุ่มจะมีลักษณะที่เหมือนกัน ข้อดี คือ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสุ่ม ข้อเสีย คือ มีความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่า และ คำนวณค่าความแปรปรวนของข้อมูลจะยุ่งยากกว่าการสุ่มแบบง่าย และ การสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้น (Multistage Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นอาจเหมือน หรือ แตกต่างกัน เช่น ในขั้นที่ 1 ใช้การสุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิผสมกับการสุ่มแบบกลุ่ม และ ขั้นที่ 2 เป็นขั้นย่อยของขั้นแรก ใช้การสุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิผสมกับการสุ่มแบบกลุ่ม เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Sampling) ซึ่งมีข้อดี คือ ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีคุณลักษณะที่ครอบคลุมอย่างเป็นระบบ ทำให้ตัวอย่างที่ได้ เป็นตัวแทนที่ดี ในการนำมาศึกษา เพื่อให้การวิจัยมีความเชื่อถือ ข้อเสีย คือ ถ้าจำนวนตัวแปรที่ใช้มีมากเกินไป จะทำให้มีจำนวนชั้นที่มาก และ ยุ่งยากในการแบ่งชั้น

การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Sampling) จึงเป็นการสุ่มตัวอย่างที่ เหมาะสมกับการได้ข้อมูลในงานวิจัยอย่างถูกต้อง ครอบคลุมและครบถ้วน

เมื่อสุ่มตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมมาแล้ว จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้น (Pretreatment) การย่อย และ การสกัด (Digestion and Extraction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การเตรียมตัวอย่างที่ศึกษาสารพีเอเอช

ขั้นที่ 1 การเตรียมตัวอย่างเบื้องต้น

กรณีตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมที่เป็นสารอินทรีย์ ที่มีพีเอเอช นิยมทำการย่อย หรือ สลายพีเอเอช จากตัวอย่างสู่สารละลายอินทรีย์ โดยเลือกสารสกัด และ ให้ความร้อนที่เหมาะสม โดยการผ่านไหลวนของสารสกัด หรือ ทำการรีฟลักซ์

โดยทำการย่อยโปรตีน ซึ่งโปรตีนมีหน่วยย่อย คือ กรดอะมิโน ซึ่งกรดอะมิโน เป็นหน่วยเล็กที่สุดของโปรตีนเมื่อเรากินโปรตีนเข้าไปน้ำย่อยจะทำการย่อยโปรตีนออกเป็นกลุ่มของอะมิโนหลาย ๆกลุ่ม ต่อจากนั้นร่างกายจึงเริ่มดูดซึมอะมิโนแต่ละตัวเข้าไปใช้

ขั้นที่ 2 การสกัด (Extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีหนึ่งที่มีประโยชน์มากในการแยกสาร และ ทำสารให้บริสุทธิ์ เช่น การสกัดแยกสารประกอบบางชนิด ออกจากแหล่งที่เกิดในธรรมชาติ เช่น ใบไม้ ดอกไม้ การสกัดแยกสารผลิตภัณฑ์ ออกจากของผสมหลังทำปฏิกิริยา หลักการของการสกัด คือ การใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการ ออกมาจากสารผสม การสกัดพอจะแบ่งได้คร่าว ๆ เป็น 3 วิธีดังนี้

1) Solid – Liquid Extraction เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของแข็ง การสกัดแบบนี้มีหลักการไม่แตกต่างจากการหาตัวทำละลาย เพื่อตกผลึกสาร

2) Liquid – Liquid Extraction เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสม ซึ่งเป็นของเหลว

3) Acid – Base Extraction เป็นการใช้ปฏิกิริยากรดเบส เพื่อแยกสารอินทรีย์ ที่มีสมบัติเป็นกรดแก่ กรดอ่อน กลาง และ เบสออกจากกัน

ซึ่งการสกัดที่เราเลือกใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้คือ Liquid – Liquid Extraction

เนื่องจาก Liquid – Liquid Extraction เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม ในการสกัด และมีสมบัติเช่นเดียวกับตัวทำละลายที่เลือกสำหรับสกัด ตัวทำละลายที่ดีควรละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี มีจุดเดือดไม่สูงนัก เพื่อที่จะกำจัดออกไปจากสารที่ต้องการได้ง่าย หลังการสกัด ต้องไม่ทำปฏิกิริยา กับสาร หรือ กับตัวทำละลายอื่นที่จะใช้ร่วมกัน ไม่ควรติดไฟง่าย ไม่ควรมีพิษ และ ราคาไม่แพง ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารในห้องปฏิบัติการได้แก่ Diethyl ether, Dichloromethane, Ethyl Acetate และ 1 – butanol

ในการทดลอง เราได้เลือก solvent ที่ใช้ในการสกัดคือ สารละลายผสมระหว่าง n – Hexane กับ Dichloromethane เนื่องจาก n – Hexane กับ Dichloromethane ระเหยได้ง่าย และสามารถละลายสารประกอบอินทรีย์ได้ มีความเป็นพิษน้อยเมื่อเทียบกับตัวอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 การทำให้สารบริสุทธิ์ (Purification)

วิธีเลือก Solid Phase Extraction (SPE)

หลักการเลือก Sorbent นั้นให้ดูว่าสารที่เราสนใจเป็นพวกที่ละลายน้ำ หรือ ไม่ละลายน้ำ (Hydrophilic หรือ Hydrophobic) ให้เลือก sorbent ที่มี polarity ตรงกับสารที่เราจะแยก

ตารางที่ 2.13 การเลือกใช้ Sep – Pak Cartridges

Sorbent หรือ Packing Material	**สมบัติที่ผิว**	**การวิเคราะห์ที่ใช้**
C_{18}	Hydrophobic bonded silica	- แยกสาร Hydrophobic ออกจากสารละลาย Aqueous - ยา และ Metabolite ของยา ในเลือด น้ำเหลือง และ ปัสสาวะ - สารอินทรีย์ปริมาณน้อยในตัวอย่างน้ำ น้ำเสีย - กรดอินทรีย์ ในพวกเครื่องดื่ม และ ไวน์ - Peptide ในตัวอย่างเลือด น้ำเหลือง และ ของเหลวในร่างกาย
C_8	Hydrophobic non - polar bonded	- แยกสาร Hydrophobic ออกจากสารละลาย Aqueous - ใช้เมื่อต้องการให้สาร Retain น้อยลงกว่าแบบ C_{18} - ยา และ Metabolite ของยาในเลือด น้ำเหลือง และ ปัสสาวะ - Peptide ในตัวอย่างเลือด น้ำเหลือง และ ของเหลวในร่างกาย
Silica	Hydrophilic Polar (Neutral)	แยกสารละลายที่มี Polarity ต่ำ ถึงปานกลางออกจาก ลารละลาย non - aqueous - วิตามิน A, D, E และ K - ยาฆ่าแมลง - ไขมันชนิดต่าง ๆ - สารสกัดจากธรรมชาติ Pigment จากพืช - สารอินทรีย์สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ) ตารางที่ 2.13 การเลือกใช้ Sep – Pak Cartridges

Sorbent หรือ Packing Material	**สมบัติที่ผิว**	**การวิเคราะห์ที่ใช้**
Florisil	Hydrophilic Polar (Slightly basic)	แยกสารละลายที่มี Polarity ต่ำถึงปานกลางออกจากสารละลาย non – aqueous - วิธีตาม AOAC และ U.S.EPA - ตัวอย่างที่มีไขมันสูง - ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช ในอาหาร และ อาหารสัตว์ - สาร Polychlorinated biphenyls ใน Transformer oil
Alumina A	Hydrophilic Polar (Acidic)	- แยกสาร Hydrophilic ออกจากสารละลาย non – aqueous - มีสมบัติเป็น Cation exchanger เล็กน้อย - แยกน้ำตาล คาเฟอีน ในเครื่องดื่มประเภทโคล่า - วิตามินในอาหาร และ อาหารสัตว์ - ยาปฏิชีวนะ - สารผสมในอาหาร และ อาหารสัตว์
Alumina N	Hydrophilic Polar (Neutral)	- แยกสาร Hydrophilic ออกจากสารละลาย non – aqueous - ยาฆ่าวัชพืช - ปิโตรเลียม และ น้ำมัน - สารผสมในอาหาร - สารอินทรีย์สังเคราะห์
Alumina B	Hydrophilic Polar (Basic)	- แยกสาร Hydrophilic ออกจากสารละลาย non-aqueous - มีสมบัติเป็น Cation exchange เล็กน้อย - ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช น้ำเสีย - พวก Steroid ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ) ตารางที่ 2.13 การเลือกใช้ Sep – Pak Cartridges

Sorbent หรือ Packing Material	**สมบัติที่ผิว**	**การวิเคราะห์ที่ใช้**
Accell plus CM	Hydrophilic Polar (acidic) Cation exchange	- แยกพวก Ion ที่มีประจุบวก ในสารละลาย Aqueous หรือ non – aqueous - สกัดโปรตีนเอนไซม์ และ Immunoglobulin ต่าง ๆ ที่มีสภาวะเป็นด่างอ่อน - สารอินทรีย์สังเคราะห์ - แยก Peptide ขนาดต่าง ๆ
Accell Plus QMA	Hydrophilic Polar (Basic) Anion exchange	- แยก Ion ที่มีประจุลบในสารละลาย Aqueous หรือ non-aqueous - สกัดโปรตีน เอนไซม์ ที่มีฤทธิ์เป็นกรด และ กรดอ่อน - แยก Immunoglobulin ต่าง ๆ - แยก Peptide ขนาดต่าง ๆ - แยก Pigment ที่มีฤทธิ์เป็นกรด จากไวน์ น้ำผลไม้ อาหาร - แยกสารพวก Phenolic ต่าง ๆ
Aminopropyl NH2	Hydrophilic moderately polar (Slightly basic)	- ใช้เป็น weak anion exchanger - ยา และ Metabolite ของยา - อุตสาหกรรมปิโตรเลียม และ Lube oil - Saccharides - สารพวก Phenol และ Pigment พวก Phenolic
Cyanopropyl CN	Hydrophobic moderately non – polar (Neutral)	- วิเคราะห์สารที่ละลายใน Aqueous หรือ Organic - ยา และ Metabolite ของยา จากน้ำในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย - Metabolite จากเชื้อรา และ ผลิตภัณฑ์จากการหมัก - ยาฆ่าแมลง - Peptide ที่มีโครงสร้างเป็นสาร Hydrophobic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ) ตารางที่ 2.13 การเลือกใช้ Sep – Pak Cartridges

Sorbent หรือ Packing Material	**สมบัติที่ผิว**	**การวิเคราะห์ที่ใช้**
Diol	Hydrophobic moderately non – polar neutral phase	- วิเคราะห์สารที่ละลายใน Aqueous หรือ Organic - ธาตุที่มีปริมาณน้อยในน้ำ - ยาปฏิชีวนะในเครื่องสำอาง - แยก Peptide และโปรตีนต่าง ๆ

ที่มา: Mc Donald (1991)

สารที่เราศึกษาเป็นสารที่ non – polar จึงเลือก Sorbent ที่ไม่มี Polarity คือ C_{18} เพื่อทำการแยกสาร Hydrophobic ออกจากสารละลาย Aqueous

ขั้นตอนการใช้ SPE มีขั้นตอนง่าย ๆ 4 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้ คือ

1. Condition เป็นการเตรียม Packing ที่บรรจุอยู่ในแท่ง SPE ให้พร้อมรองรับตัวอย่าง
2. Load เป็นการใส่ตัวอย่างลงไปเพื่อให้จับกัน Sorbent
3. Rinse เป็นการขจัดสารที่จับกับ Sorbent ได้น้อยหรือจับอยู่ที่ส่วนผิวของ Sorbent ออก
4. Elution เป็นการดึงเอาสารที่เราสนใจที่เกาะกับ Sorbent ออก เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ขั้นที่ 4 การทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น (Enrichment/Concentration)

การทำให้สารเข้มข้นขึ้น ทำได้โดยนำสารละลายตัวอย่าง ไปพ่นไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ

1. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง High – Performance Liquid Chromatography – Fluorescence Detector (HPLC – FD)

HPLC เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่สนใจที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งจะถูกแยกออกมาในเวลาที่ต่างกัน สารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้น สารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่ สารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือ เข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ ก็จะถูกแยกออกมาทีหลังโดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งจะเรียกว่า โครมาโตแกรม (Chromatogram)

ข้อดี คือ สามารถตรวจวัดได้ทั้งเชิงคุณภาพวิเคราะห์ และ เชิงปริมาณวิเคราะห์ สำหรับข้อเสีย คือ มีราคาแพง และ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง

1. Naphthalene
2. Acenaphthylene
3. Acenapthene
4. Fluorene
5. Phenanthrene
6. Anthracene
7. Fluoranthene
8. Pyrene
9. Benzo(a)anthracene
10. Chrysene
11. Benzo(b)fluoranthene
12. Benzo(k)fluoranthene
13. Benzo(a)pyrene
14. Indeno(1,2,3-cd)pyrene
15. Dibenzo(a,h)anthracene
16. Benzo(ghi)perylene

รูปที่ 2.4 Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย HPLC – FD

ที่มา: http://www.chem.agilent.com/Library/applications/5990-5441EN.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC – MS)

GC – MS สามารถวิเคราะห์สาร Benzo(a)pyrene ได้ GC เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ของสารที่เราสนใจซึ่งเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้กับสารที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถระเหยกลายเป็นแก๊ส ได้เมื่อถูกความร้อน และ กลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่าง จะอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อ Phase 2 Phase คือ Stationary phase และ Mobile phase

ข้อดี คือ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบทั่วไป และ แบบเฉพาะเจาะจง จึงทำให้ Sensitivity ที่สูง สามารถบ่งชี้ถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้ และ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ และ เชิงคุณภาพ ข้อเสีย คือ มีราคาแพง และ มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง

1. Naphthalene
2. Acenaphthylene
3. Acenapthene
4. Fluorene
5. Phenanthrene
6. Anthracene
7. Fluoranthene
8. Pyrene
9. Benzo(a)anthracene
10. Chrysene
11. Benzo(b)fluoranthene
12. Benzo(k)fluoranthene
13. Benzo(a)pyrene
14. Indeno(1,2,3-cd)pyrene
15. Dibenzo(a,h)anthracene
16. Benzo(ghi)perylene

รูปที่ 2.5 Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย GC – MS

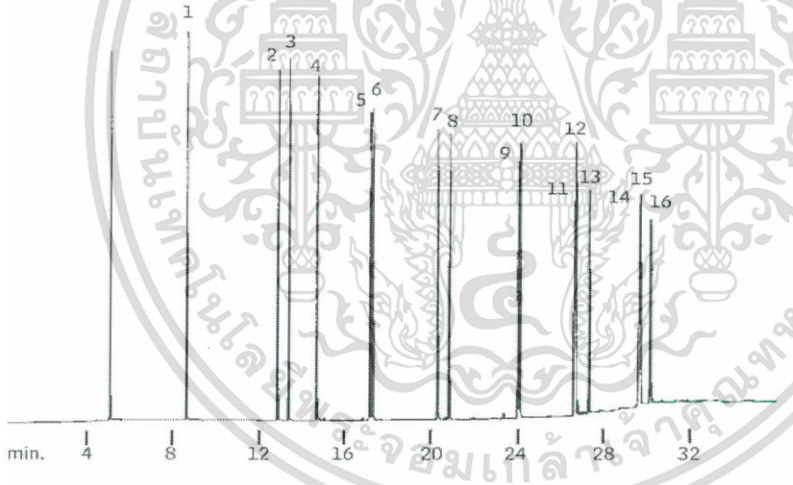
ที่มา: สวรรค์ (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Gas Chromatography- Flame Ionization Detector (GC – FID)

สามารถวิเคราะห์สาร Benzo(a)pyrene ได้ การเลือกใช้ตัววัดสัญญาณ (Detector) ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจะต้องเลือกให้เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ของสารแต่ละประเภท ในงานวิจัยนี้เป็นการตรวจวัด Benzo(a)pyrene ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จึงใช้ตัววัดสัญญาณชนิดเฟลมไอออไนเซชัน

ข้อดี คือ FID สามารถตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยกลายเป็นไอได้เกือบทุกชนิด (ยกเว้นสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถจะเกิดการไอออไนซ์ในเปลวไฟของแก๊สไฮโดรเจน) และ FID ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีอุณหภูมิขีดจำกัดเป็น 400 องศาเซลเซียส ข้อเสีย คือ ในการใช้ FID นั้นจะเกิดกระบวนการสันดาปในเปลวไฟจะให้ไอน้ำเกิดขึ้น ดังนั้นจะต้องให้เปลวไฟมีอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการควบแน่นของน้ำ เพราะว่าถ้าไอน้ำถูกควบแน่นอาจจะรวมกับตัวทำละลาย หรือ สารตัวอย่างที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ จะทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้น และ ทำให้สภาพความว่องไวลดลง

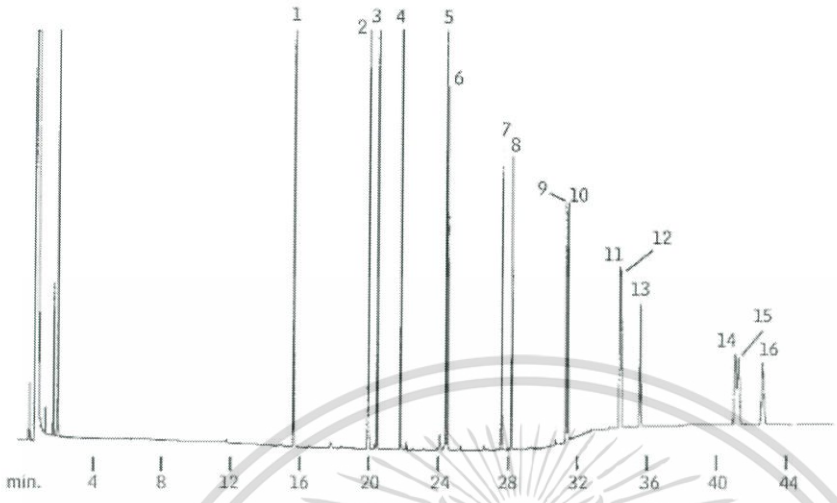


1. Naphthalene
2. Acenaphthylene
3. Acenapthene
4. Fluorene
5. Phenanthrene
6. Anthracene
7. Fluoranthene
8. Pyrene
9. Benzo(a)anthracene
10. Chrysene
11. Benzo(b)fluoranthene
12. Benzo(k)fluoranthene
13. Benzo(a)pyrene
14. Indeno(1,2,3-cd)pyrene
15. Dibenzo(a,h)anthracene
16. Denzo(ghi)perylene

รูปที่ 2.6 Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย GC – FID (Rtx – 5, 0.32 mm ID)

ที่มา: http://www.restek.com/chromatogram/view/GC_EV00376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Naphthalene
2. Acenaphthylene
3. Acenapthene
4. Fluorene
5. Phenanthrene
6. Anthracene
7. Fluoranthene
8. Pyrene
9. Benzo(a)anthracene
10. Chrysene
11. Benzo(b)fluoranthene
12. Benzo(k)fluoranthene
13. Benzo(a)pyrene
14. Indeno(1,2,3-cd)pyrene
15. Dibenzo(a,h)anthracene
16. Benzo(ghi)perylene

รูปที่ 2.7 Chromatogram ที่ตรวจพบพีเอเอช โดย GC – FID (Rtx – 5, 0.53 mm ID)

ที่มา: http://www.restek.com/chromatogram/view/GC_EV00043

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้เครื่อง GC – FID เพราะสารมารถวิเคราะห์สาร Benzo(a)pyrene ได้ โดยอยู่ในเงื่อนไขของเครื่องมือ และ งบประมาณที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไกรวิทย์ และคณะ (2551) ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ เพื่อดูดซับแบบเพิ่มความเข้มข้น สำหรับการวิเคราะห์พีเอเอช 3 ตัว ได้แก่ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ในน้ำเสียสังเคราะห์ และวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกโทรฟลูออโรเมทรี พบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ที่ความเข้มข้น 1 ppm ได้เท่ากับ 75.63%, 72.84% และ 71.12% ตามลำดับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 3 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ที่เวลา 30 นาที นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับพีเอเอช ที่ช่วงความเข้มข้น 0.00 – 1.00 ppm ได้ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ของ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene ได้เท่ากับ 0.21, 0.02 และ 0.04 ppm ตามลำดับ

ฉัตรา และคณะ (2551) ศึกษาปริมาณสารพีเอเอชในดินบริเวณที่มีการเผาหญ้าในที่โล่งแจ้ง โดยทำการวิเคราะห์พีเอเอช 3 ชนิด ได้แก่ Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโทรฟลูออโรเมทรี จากการวิเคราะห์พบ Phenanthrene 0.1327 ppm, Naphthalene 0.0206 ppm และ Pyrene 0.0875 ppm จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ เนื่องจากมีความไวในการวิเคราะห์สูง

ตุลาธร และคณะ (2551) ศึกษาการกระจายขนาดของฝุ่นละออง ชนิด และ ปริมาณพีเอเอชในอนุภาคขนาดต่าง ๆ และ ในเถ้าที่เกิดจากการเผากระดาษทอง และ โลหะหนักในกระดาษเงินกระดาษทอง และ ในเถ้า พบว่า ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผากระดาษเงินกระดาษทองส่วนในใหญ่เป็นฝุ่นขนาดเล็กมีขนาด 0.4 - 0. 7 ไมครอนมากที่สุด โดยพบชนิด พีเอเอช โดยเรียงลำดับจากปริมาณมากไปน้อย คือ Phenenthrene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(k) fluoranthene, Benzo(a)pyrene และ Anthracene ตามลำดับ จากการวิเคราะห์โลหะหนัก 3 ชนิดพบว่า การเผากระดาษเงินกระดาษทอง 1 กิโลกรัม มีแคดเมียม 1,483 ppm โครเมียม 2,209 ppm และ ตะกั่ว 1,636 ppm

จิตผกา และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วยด่าง (Saponify) จากนั้นกำจัดสารเจือปนอื่นด้วยวิธี Solid Phase Extraction (SPE) โดยใช้ Sep-Pak ชนิด C18 ตรวจวัดชนิด และ ปริมาณด้วย HPLC – FD ได้ทดสอบความใช้ได้ของวิธี (Method validation) โดยใช้หมูปิ้งเป็นตัวแทนของอาหารปิ้งย่าง ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อน B(a)P 12 ตัวอย่าง ปริมาณที่พบ ต่ำสุดคือ <0.5 และสูงสุดคือ 1.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และ พบว่ามีค่า Limit of detection เท่ากับ 0.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และ Limit of quantitation เท่ากับ 0.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีช่วงการวิเคราะห์ที่ให้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear working range) เท่ากับ 0.5 - 10.0 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.9893 และ ตลอดช่วง Linear working range มีความถูกต้องแสดงด้วย % Recovery เท่ากับ 88 – 95 มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ซ้ำ (Repeatability) แสดงด้วยค่า % RSD เท่ากับ 4.8 - 15.4

Afsaneh *et al.*, (2010) ทำการศึกษาพีเอเอช 3 ตัว คือ Fluoranthene, Benzo(b)fluoranthene และ Benzo(a)pyrene ในเนื้อสัตว์ย่าง 9 ชนิด ที่เป็นที่นิยมของมาเลเซีย วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC-FD พบว่าความเข้มข้นในกลุ่มกรรมวิธีการย่างเนื้อสัตว์ โดยใช้ ใช้ถ่าน, แก๊ส และ เตาอบย่าง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 3.51 – 106 ng/g และ พบ Fluoranthene ในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ความเข้มข้นรวมของพีเอเอช สูงสุดคือ 132 ng/g พบในสเต็กเนื้อ และ ความเข้มข้นต่ำสุดคือ 3.51 ng/g พบในไก่อบ

Farhadian A. *et al.*, (2012) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของพีเอเอชจากการหมัก ในเนื้อย่างทั้งหมด 7 กรรมวิธี 1) หมักขั้นพื้นฐาน หมักกับ น้ำตาล น้ำ หัวหอมใหญ่ ขมิ้น ตะไคร้ เกลือ กระเทียม และ อบเชย 2) หมักขั้นพื้นฐานกับน้ำมัน 3) หมักกับเครื่องหมักสำเร็จรูป 4) หมักขั้นพื้นฐานกับน้ำมัน และ น้ำมะนาว 5) หมักขั้นพื้นฐานกับน้ำมะนาว 6) หมักขั้นพื้นฐานกับน้ำมัน และ น้ำมะนาว 7) หมักกับเครื่องหมักสำเร็จรูปกับมะขาม ระยะเวลาในการหมักมี 4 ช่วงเวลาคือ 0, 4, 8 และ 12 ชั่วโมง ก่อนนำเนื้อไปย่างถ่าน ควบคู่ไปกับการ Clean up ด้วย SPE และ ทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC – FD จากการศึกษาพบว่า การหมักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) พบว่าพีเอเอช ลดลง 70% ในเนื้อที่ผ่านกรรมวิธีการหมักกับน้ำหมักที่มีความเป็นกรด (มีน้ำมะนาว 1.2%) หมักขั้นพื้นฐานกับน้ำมะนาว > หมักขั้นพื้นฐาน > หมักขั้นพื้นฐานกับน้ำมันและน้ำมะนาว > หมักขั้นพื้นฐานกับน้ำมัน เป็นลำดับที่ดีที่สุดในการหมัก ส่วนระยะเวลาในการหมักมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

Yong – Hong *et al.*, (2012) ได้ศึกษาการเกิด และ ระดับของ Benzo(a)pyrene ในอาหารที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน จากประเทศจีน วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC – FD จากตัวอย่างทั้งหมด 119 ตัวอย่าง มี 105 ตัวอย่างพบ Benzo(a)pyrene ที่ระดับ 0.03 – 19.75 µg/kg และพบ Benzo(a)pyrene ในอาหาร 12 แหล่งสูงกว่าระดับสูงสุดที่จีนกำหนดในอาหาร (5 µg/kg) โดยมีมากถึง 19.75 µg/kg ซึ่งเกือบ 4 เท่าของระดับสูงสุดที่กำหนด Benzo(a)pyrene ในระดับที่สูงจะพบในตัวอย่าง เช่น Charcoal – grilled และ เนื้อสัตว์รมควันโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เนื้อหมู เนื้อ และ ไส้กรอก จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สุขภาพของประชาชนมีความเสี่ยงต่อมะเร็งจาก Benzo(a)pyrene ในอาหารที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jahurul M.H.A. *et al.*,(2013) ได้ทำการศึกษาพีเอเอชทั้งหมด 3 ตัวด้วยกัน คือ Fluoranthene, Benzo(b)fluoranthene และ Benzo(a)pyrene ในผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกเนื้อสัตว์ และ ปลา วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC – FD จากการประมาณสำหรับประชากรที่ทำแบบสอบถาม 600 คน อายุมากกว่า 18 ปี มีความถี่ในการบริโภคอาหารในแบบสอบถาม ระดับสูงของพีเอเอชที่พบ คือ Fluoranthene 219.74 ng/g และ ระดับต่ำสุด คือ Benzo(a)pyrene 22.33 ng/g และ พบว่าในสเต็กเนื้อพบพีเอเอช รวม สูงที่สุดในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารทั้งหมด คือ 66.28 ng/g ค่าเฉลี่ยในการบริโภคของชาวมาเลเซียพีเอเอช ทั้ง 3 ตัว โดยชาวมาเลเซีย คือ 297.58 ng/day

Mojtaba *et al.*, (2013) ทำการศึกษาพีเอเอช โดยใช้สนามแม่เหล็กในการดูดซับ (Magnetic Solid Phase Extraction, MSPE) ที่ขึ้นอยู่กับผนังคาร์บอนหลากหลายชนิดในหลอดนาโน ในการทดลองเลือกใช้ Magnetic Carbon Nanotubes (MCNTs) ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับได้ดี จึงนำมาใช้เป็นตัวดูดซับเพื่อแยกพีเอเอช และ ทำการวิเคราะห์โดย GC – MS ได้ %Recovery เท่า 81.3% - 96.7% และ พบความเข้มข้นรวมของ Benzo(a)anthraene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(a)pyrene และ Chrysene ในเนื้อวัว เนื้อแกะ และ เนื้อไก่ เท่ากับ 4.000, 3.414 และ 0.931 µg/kg ตามลำดับ

Olatunde *et al.*, (2014) ได้ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของพีเอเอชทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene , Indeno(1,2,3-cd)pyrene และ Benzo(g,h,i)perylene ในเนื้อรมควัน เนื้อย่าง และ เนื้อต้ม ทำการย่อยสลายตัวอย่างด้วยด่างสกัดโดย Dichloromethane และ n-hexane จากนั้น Clean – up ด้วยวิธี Solid Phase Extraction (SPE) วิเคราะห์โดยเครื่อง GC – FID จากผลการทดลองพบว่า Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene และ Benzo(g,h,i)perylene ในเนื้อรมควัน เนื้อย่าง และเนื้อต้ม มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.64 - 31.54 µg/kg, 0.07 - 7.04 µg/kg, 0.09 - 15.03 µg/kg, 0.51 - 46.67 µg/kg และ 0.01 - 5.11 µg/kg ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1. อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1. อุปกรณ์

1. เครื่อง Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC – FID) รุ่น CP 3800 คอลัมน์ GC ชนิด Rtx – 5, (Cross bond 5% diphenyl – 95% dimethyl polysiloxane) ขนาด 30 m x 0.25 mm ID x 0.25 μm df บริษัท Restex, ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่อง Gas Chromatography – Mass Spectrometer (GC – MS) รุ่น 6890 N คอลัมน์ชนิด HP – 5MS ขนาด 30 m × 0.25 mm ID × 0.25 μm บริษัท Agilent Technologies, ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. VertiPak™ C18 – LP tube Solid Phase Extraction บริษัท Vertical Chromatography, ประเทศไทย
4. เครื่องปั่นของแห้งละเอียด ยี่ห้อ Philips, ประเทศจีน
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AUX220
6. อะลูมิเนียมฟลอยด์
7. Vial ขนาด 2 mL
8. Heating mantle ยี่ห้อ Falc
9. Rotary evaporator ยี่ห้อ Eyela รุ่น N-N SERIES
10. Sinter glass ยี่ห้อ Robu
11. Thermometer
12. Glass bead
13. Microliter pipette ยี่ห้อ Digita ประเทศเยอรมนี
14. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2. สารเคมี

1. Benzo(a)pyrene Standard Fluka Company (HPLC Grade) ความเข้มข้น 102 ng/mL ประเทศสิงค์โปร์
2. Methanol (AR Grade) 99.8% ยี่ห้อ Loba chemie ประเทศอินเดีย
3. Potassium hydroxide (KOH) (AR Grade) ยี่ห้อ Carlo erba ประเทศอิตาลี
4. n – Hexane (HPLC Grade) ยี่ห้อ Carlo erba ประเทศอิตาลี
5. Dichloromethane (DCM) (HPLC Grade) ยี่ห้อ Carlo erba ประเทศอิตาลี
6. Anhydrous Na_2SO_4 (AR Grade) ยี่ห้อ Carlo erba ประเทศอิตาลี
7. น้ำกลั่น
8. น้ำ Dionized water (DI)

3.2. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1. การทำกราฟมาตรฐาน

3.2.1.1. การทำกราฟมาตรฐาน สำหรับฉีด GC – FID

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 50 µg/L (เตรียมในภาคผนวก ก)
2. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC – FID
3. ทำเช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนความเข้มข้นเป็น 100, 150, 200, 250 และ 300 µg/L ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้ มาสร้างกราฟมาตรฐาน

3.2.1.2. การทำกราฟมาตรฐาน สำหรับฉีด GC – MS

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 10 µg/L (เตรียมในภาคผนวก ก)
2. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC – MS
3. ทำเช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนความเข้มข้นเป็น 45และ 100 µg/L ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้ มาสร้างกราฟมาตรฐาน

3.2.2 การเก็บตัวอย่าง

ทำการสุ่มตัวอย่างแบบ Stratified Sampling บริเวณร้านรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังรูปที่ 3.1 จำนวน 30 ไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

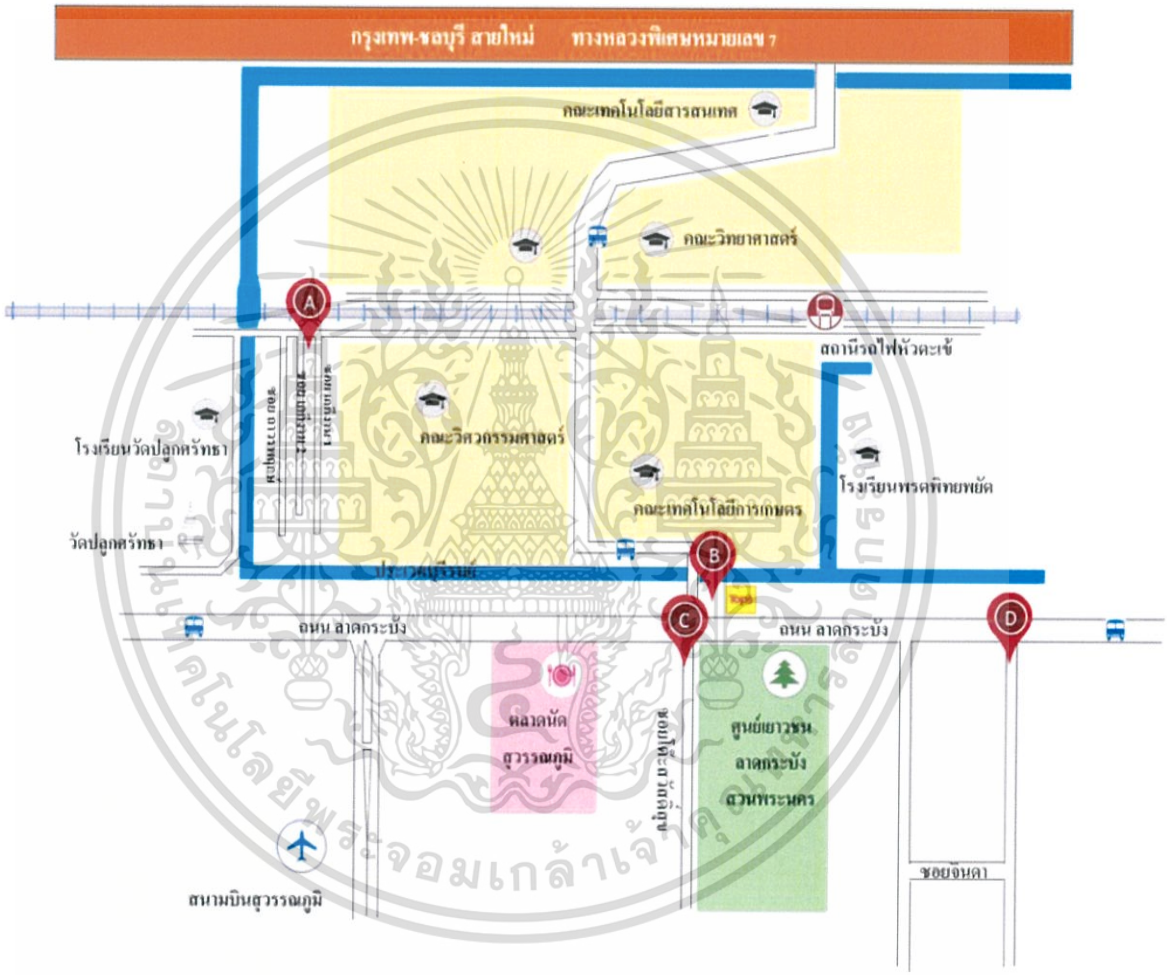
การสุ่มตัวอย่างหมูปิ้ง พบว่า มีการขายตามรูปในแผนที่

บริเวณ A มีทั้งหมด 3 ร้าน

บริเวณ B มีทั้งหมด 1 ร้าน

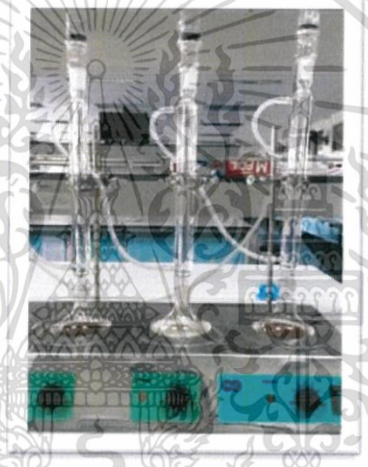
บริเวณ C มีทั้งหมด 1 ร้าน

บริเวณ D มีทั้งหมด 2 ร้าน


กรุงเทพ-ชลบุรี สายใหม่
ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะวิทยาศาสตร์
สถานีรถไฟพัทยาใต้
โรงเรียนวัดปลูกศรัทธา
วัดปลูกศรัทธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
โรงเรียนทรงศิริทัยพยัต
ประชาอุทิศ
ถนน ลาดกระบัง
ถนน ลาดกระบัง
คลองสอง
คลองสาม
คลองสี่
คลองห้า
คลองหก
คลองเจ็ด
คลองแปด
คลองเก้า
คลองสิบ
คลองสิบเอ็ด
คลองสิบสอง
คลองสิบสาม
คลองสิบสี่
คลองสิบห้า
คลองสิบหก
คลองสิบเจ็ด
คลองสิบแปด
คลองสิบเก้า
คลองยี่สิบ
คลองยี่สิบเอ็ด
คลองยี่สิบสอง
คลองยี่สิบสาม
คลองยี่สิบสี่
คลองยี่สิบห้า
คลองยี่สิบหก
คลองยี่สิบเจ็ด
คลองยี่สิบแปด
คลองยี่สิบเก้า
คลองสามสิบ
คลองสามสิบเอ็ด
คลองสามสิบสอง
คลองสามสิบสาม
คลองสามสิบสี่
คลองสามสิบห้า
คลองสามสิบหก
คลองสามสิบเจ็ด
คลองสามสิบแปด
คลองสามสิบเก้า
คลองสี่สิบ
คลองสี่สิบเอ็ด
คลองสี่สิบสอง
คลองสี่สิบสาม
คลองสี่สิบสี่
คลองสี่สิบห้า
คลองสี่สิบหก
คลองสี่สิบเจ็ด
คลองสี่สิบแปด
คลองสี่สิบเก้า
คลองห้าสิบ
คลองห้าสิบเอ็ด
คลองห้าสิบสอง
คลองห้าสิบสาม
คลองห้าสิบสี่
คลองห้าสิบห้า
คลองห้าสิบหก
คลองห้าสิบเจ็ด
คลองห้าสิบแปด
คลองห้าสิบเก้า
คลองหกสิบ
คลองหกสิบเอ็ด
คลองหกสิบสอง
คลองหกสิบสาม
คลองหกสิบสี่
คลองหกสิบห้า
คลองหกสิบหก
คลองหกสิบเจ็ด
คลองหกสิบแปด
คลองหกสิบเก้า
คลองเจ็ดสิบ
คลองเจ็ดสิบเอ็ด
คลองเจ็ดสิบสอง
คลองเจ็ดสิบสาม
คลองเจ็ดสิบสี่
คลองเจ็ดสิบห้า
คลองเจ็ดสิบหก
คลองเจ็ดสิบเจ็ด
คลองเจ็ดสิบแปด
คลองเจ็ดสิบเก้า
คลองแปดสิบ
คลองแปดสิบเอ็ด
คลองแปดสิบสอง
คลองแปดสิบสาม
คลองแปดสิบสี่
คลองแปดสิบห้า
คลองแปดสิบหก
คลองแปดสิบเจ็ด
คลองแปดสิบแปด
คลองแปดสิบเก้า
คลองเก้าสิบ
คลองเก้าสิบเอ็ด
คลองเก้าสิบสอง
คลองเก้าสิบสาม
คลองเก้าสิบสี่
คลองเก้าสิบห้า
คลองเก้าสิบหก
คลองเก้าสิบเจ็ด
คลองเก้าสิบแปด
คลองเก้าสิบเก้า
คลองหนึ่งร้อย
คลองหนึ่งร้อยเอ็ด
คลองหนึ่งร้อยสอง
คลองหนึ่งร้อยสาม
คลองหนึ่งร้อยสี่
คลองหนึ่งร้อยห้า
คลองหนึ่งร้อยหก
คลองหนึ่งร้อยเจ็ด
คลองหนึ่งร้อยแปด
คลองหนึ่งร้อยเก้า
คลองสองร้อย
คลองสองร้อยเอ็ด
คลองสองร้อยสอง
คลองสองร้อยสาม
คลองสองร้อยสี่
คลองสองร้อยห้า
คลองสองร้อยหก
คลองสองร้อยเจ็ด
คลองสองร้อยแปด
คลองสองร้อยเก้า
คลองสามร้อย
คลองสามร้อยเอ็ด
คลองสามร้อยสอง
คลองสามร้อยสาม
คลองสามร้อยสี่
คลองสามร้อยห้า
คลองสามร้อยหก
คลองสามร้อยเจ็ด
คลองสามร้อยแปด
คลองสามร้อยเก้า
คลองสี่ร้อย
คลองสี่ร้อยเอ็ด
คลองสี่ร้อยสอง
คลองสี่ร้อยสาม
คลองสี่ร้อยสี่
คลองสี่ร้อยห้า
คลองสี่ร้อยหก
คลองสี่ร้อยเจ็ด
คลองสี่ร้อยแปด
คลองสี่ร้อยเก้า
คลองห้าร้อย
คลองห้าร้อยเอ็ด
คลองห้าร้อยสอง
คลองห้าร้อยสาม
คลองห้าร้อยสี่
คลองห้าร้อยห้า
คลองห้าร้อยหก
คลองห้าร้อยเจ็ด
คลองห้าร้อยแปด
คลองห้าร้อยเก้า
คลองหกร้อย
คลองหกร้อยเอ็ด
คลองหกร้อยสอง
คลองหกร้อยสาม
คลองหกร้อยสี่
คลองหกร้อยห้า
คลองหกร้อยหก
คลองหกร้อยเจ็ด
คลองหกร้อยแปด
คลองหกร้อยเก้า
คลองเจ็ดร้อย
คลองเจ็ดร้อยเอ็ด
คลองเจ็ดร้อยสอง
คลองเจ็ดร้อยสาม
คลองเจ็ดร้อยสี่
คลองเจ็ดร้อยห้า
คลองเจ็ดร้อยหก
คลองเจ็ดร้อยเจ็ด
คลองเจ็ดร้อยแปด
คลองเจ็ดร้อยเก้า
คลองแปดร้อย
คลองแปดร้อยเอ็ด
คลองแปดร้อยสอง
คลองแปดร้อยสาม
คลองแปดร้อยสี่
คลองแปดร้อยห้า
คลองแปดร้อยหก
คลองแปดร้อยเจ็ด
คลองแปดร้อยแปด
คลองแปดร้อยเก้า
คลองเก้าร้อย
คลองเก้าร้อยเอ็ด
คลองเก้าร้อยสอง
คลองเก้าร้อยสาม
คลองเก้าร้อยสี่
คลองเก้าร้อยห้า
คลองเก้าร้อยหก
คลองเก้าร้อยเจ็ด
คลองเก้าร้อยแปด
คลองเก้าร้อยเก้า
คลองหนึ่งพัน
คลองหนึ่งพันเอ็ด
คลองหนึ่งพันสอง
คลองหนึ่งพันสาม
คลองหนึ่งพันสี่
คลองหนึ่งพันห้า
คลองหนึ่งพันหก
คลองหนึ่งพันเจ็ด
คลองหนึ่งพันแปด
คลองหนึ่งพันเก้า
คลองสองพัน
คลองสองพันเอ็ด
คลองสองพันสอง
คลองสองพันสาม
คลองสองพันสี่
คลองสองพันห้า
คลองสองพันหก
คลองสองพันเจ็ด
คลองสองพันแปด
คลองสองพันเก้า
คลองสามพัน
คลองสามพันเอ็ด
คลองสามพันสอง
คลองสามพันสาม
คลองสามพันสี่
คลองสามพันห้า
คลองสามพันหก
คลองสามพันเจ็ด
คลองสามพันแปด
คลองสามพันเก้า
คลองสี่พัน
คลองสี่พันเอ็ด
คลองสี่พันสอง
คลองสี่พันสาม
คลองสี่พันสี่
คลองสี่พันห้า
คลองสี่พันหก
คลองสี่พันเจ็ด
คลองสี่พันแปด
คลองสี่พันเก้า
คลองห้าพัน
คลองห้าพันเอ็ด
คลองห้าพันสอง
คลองห้าพันสาม
คลองห้าพันสี่
คลองห้าพันห้า
คลองห้าพันหก
คลองห้าพันเจ็ด
คลองห้าพันแปด
คลองห้าพันเก้า
คลองหกพัน
คลองหกพันเอ็ด
คลองหกพันสอง
คลองหกพันสาม
คลองหกพันสี่
คลองหกพันห้า
คลองหกพันหก
คลองหกพันเจ็ด
คลองหกพันแปด
คลองหกพันเก้า
คลองเจ็ดพัน
คลองเจ็ดพันเอ็ด
คลองเจ็ดพันสอง
คลองเจ็ดพันสาม
คลองเจ็ดพันสี่
คลองเจ็ดพันห้า
คลองเจ็ดพันหก
คลองเจ็ดพันเจ็ด
คลองเจ็ดพันแปด
คลองเจ็ดพันเก้า
คลองแปดพัน
คลองแปดพันเอ็ด
คลองแปดพันสอง
คลองแปดพันสาม
คลองแปดพันสี่
คลองแปดพันห้า
คลองแปดพันหก
คลองแปดพันเจ็ด
คลองแปดพันแปด
คลองแปดพันเก้า
คลองเก้าพัน
คลองเก้าพันเอ็ด
คลองเก้าพันสอง
คลองเก้าพันสาม
คลองเก้าพันสี่
คลองเก้าพันห้า
คลองเก้าพันหก
คลองเก้าพันเจ็ด
คลองเก้าพันแปด
คลองเก้าพันเก้า
คลองหนึ่งหมื่น
คลองหนึ่งหมื่นเอ็ด
คลองหนึ่งหมื่นสอง
คลองหนึ่งหมื่นสาม
คลองหนึ่งหมื่นสี่
คลองหนึ่งหมื่นห้า
คลองหนึ่งหมื่นหก
คลองหนึ่งหมื่นเจ็ด
คลองหนึ่งหมื่นแปด
คลองหนึ่งหมื่นเก้า
คลองสองหมื่น
คลองสองหมื่นเอ็ด
คลองสองหมื่นสอง
คลองสองหมื่นสาม
คลองสองหมื่นสี่
คลองสองหมื่นห้า
คลองสองหมื่นหก
คลองสองหมื่นเจ็ด
คลองสองหมื่นแปด
คลองสองหมื่นเก้า
คลองสามหมื่น
คลองสามหมื่นเอ็ด
คลองสามหมื่นสอง
คลองสามหมื่นสาม
คลองสามหมื่นสี่
คลองสามหมื่นห้า
คลองสามหมื่นหก
คลองสามหมื่นเจ็ด
คลองสามหมื่นแปด
คลองสามหมื่นเก้า
คลองสี่หมื่น
คลองสี่หมื่นเอ็ด
คลองสี่หมื่นสอง
คลองสี่หมื่นสาม
คลองสี่หมื่นสี่
คลองสี่หมื่นห้า
คลองสี่หมื่นหก
คลองสี่หมื่นเจ็ด
คลองสี่หมื่นแปด
คลองสี่หมื่นเก้า
คลองห้าหมื่น
คลองห้าหมื่นเอ็ด
คลองห้าหมื่นสอง
คลองห้าหมื่นสาม
คลองห้าหมื่นสี่
คลองห้าหมื่นห้า
คลองห้าหมื่นหก
คลองห้าหมื่นเจ็ด
คลองห้าหมื่นแปด
คลองห้าหมื่นเก้า
คลองหกหมื่น
คลองหกหมื่นเอ็ด
คลองหกหมื่นสอง
คลองหกหมื่นสาม
คลองหกหมื่นสี่
คลองหกหมื่นห้า
คลองหกหมื่นหก
คลองหกหมื่นเจ็ด
คลองหกหมื่นแปด
คลองหกหมื่นเก้า
คลองเจ็ดหมื่น
คลองเจ็ดหมื่นเอ็ด
คลองเจ็ดหมื่นสอง
คลองเจ็ดหมื่นสาม
คลองเจ็ดหมื่นสี่
คลองเจ็ดหมื่นห้า
คลองเจ็ดหมื่นหก
คลองเจ็ดหมื่นเจ็ด
คลองเจ็ดหมื่นแปด
คลองเจ็ดหมื่นเก้า
คลองแปดหมื่น
คลองแปดหมื่นเอ็ด
คลองแปดหมื่นสอง
คลองแปดหมื่นสาม
คลองแปดหมื่นสี่
คลองแปดหมื่นห้า
คลองแปดหมื่นหก
คลองแปดหมื่นเจ็ด
คลองแปดหมื่นแปด
คลองแปดหมื่นเก้า
คลองเก้าหมื่น
คลองเก้าหมื่นเอ็ด
คลองเก้าหมื่นสอง
คลองเก้าหมื่นสาม
คลองเก้าหมื่นสี่
คลองเก้าหมื่นห้า
คลองเก้าหมื่นหก
คลองเก้าหมื่นเจ็ด
คลองเก้าหมื่นแปด
คลองเก้าหมื่นเก้า
คลองหนึ่งแสน
คลองหนึ่งแสนเอ็ด
คลองหนึ่งแสนสอง
คลองหนึ่งแสนสาม
คลองหนึ่งแสนสี่
คลองหนึ่งแสนห้า
คลองหนึ่งแสนหก
คลองหนึ่งแสนเจ็ด
คลองหนึ่งแสนแปด
คลองหนึ่งแสนเก้า
คลองสองแสน
คลองสองแสนเอ็ด
คลองสองแสนสอง
คลองสองแสนสาม
คลองสองแสนสี่
คลองสองแสนห้า
คลองสองแสนหก
คลองสองแสนเจ็ด
คลองสองแสนแปด
คลองสองแสนเก้า
คลองสามแสน
คลองสามแสนเอ็ด
คลองสามแสนสอง
คลองสามแสนสาม
คลองสามแสนสี่
คลองสามแสนห้า
คลองสามแสนหก
คลองสามแสนเจ็ด
คลองสามแสนแปด
คลองสามแสนเก้า
คลองสี่แสน
คลองสี่แสนเอ็ด
คลองสี่แสนสอง
คลองสี่แสนสาม
คลองสี่แสนสี่
คลองสี่แสนห้า
คลองสี่แสนหก
คลองสี่แสนเจ็ด
คลองสี่แสนแปด
คลองสี่แสนเก้า
คลองห้าแสน
คลองห้าแสนเอ็ด
คลองห้าแสนสอง
คลองห้าแสนสาม
คลองห้าแสนสี่
คลองห้าแสนห้า
คลองห้าแสนหก
คลองห้าแสนเจ็ด
คลองห้าแสนแปด
คลองห้าแสนเก้า
คลองหกแสน
คลองหกแสนเอ็ด
คลองหกแสนสอง
คลองหกแสนสาม
คลองหกแสนสี่
คลองหกแสนห้า
คลองหกแสนหก
คลองหกแสนเจ็ด
คลองหกแสนแปด
คลองหกแสนเก้า
คลองเจ็ดแสน
คลองเจ็ดแสนเอ็ด
คลองเจ็ดแสนสอง
คลองเจ็ดแสนสาม
คลองเจ็ดแสนสี่
คลองเจ็ดแสนห้า
คลองเจ็ดแสนหก
คลองเจ็ดแสนเจ็ด
คลองเจ็ดแสนแปด
คลองเจ็ดแสนเก้า
คลองแปดแสน
คลองแปดแสนเอ็ด
คลองแปดแสนสอง
คลองแปดแสนสาม
คลองแปดแสนสี่
คลองแปดแสนห้า
คลองแปดแสนหก
คลองแปดแสนเจ็ด
คลองแปดแสนแปด
คลองแปดแสนเก้า
คลองเก้าแสน
คลองเก้าแสนเอ็ด
คลองเก้าแสนสอง
คลองเก้าแสนสาม
คลองเก้าแสนสี่
คลองเก้าแสนห้า
คลองเก้าแสนหก
คลองเก้าแสนเจ็ด
คลองเก้าแสนแปด
คลองเก้าแสนเก้า
คลองหนึ่งล้าน
คลองหนึ่งล้านเอ็ด
คลองหนึ่งล้านสอง
คลองหนึ่งล้านสาม
คลองหนึ่งล้านสี่
คลองหนึ่งล้านห้า
คลองหนึ่งล้านหก
คลองหนึ่งล้านเจ็ด
คลองหนึ่งล้านแปด
คลองหนึ่งล้านเก้า
คลองสองล้าน
คลองสองล้านเอ็ด
คลองสองล้านสอง
คลองสองล้านสาม
คลองสองล้านสี่
คลองสองล้านห้า
คลองสองล้านหก
คลองสองล้านเจ็ด
คลองสองล้านแปด
คลองสองล้านเก้า
คลองสามล้าน
คลองสามล้านเอ็ด
คลองสามล้านสอง
คลองสามล้านสาม
คลองสามล้านสี่
คลองสามล้านห้า
คลองสามล้านหก
คลองสามล้านเจ็ด
คลองสามล้านแปด
คลองสามล้านเก้า
คลองสี่ล้าน
คลองสี่ล้านเอ็ด
คลองสี่ล้านสอง
คลองสี่ล้านสาม
คลองสี่ล้านสี่
คลองสี่ล้านห้า
คลองสี่ล้านหก
คลองสี่ล้านเจ็ด
คลองสี่ล้านแปด
คลองสี่ล้านเก้า
คลองห้าล้าน
คลองห้าล้านเอ็ด
คลองห้าล้านสอง
คลองห้าล้านสาม
คลองห้าล้านสี่
คลองห้าล้านห้า
คลองห้าล้านหก
คลองห้าล้านเจ็ด
คลองห้าล้านแปด
คลองห้าล้านเก้า
คลองหกล้าน
คลองหกล้านเอ็ด
คลองหกล้านสอง
คลองหกล้านสาม
คลองหกล้านสี่
คลองหกล้านห้า
คลองหกล้านหก
คลองหกล้านเจ็ด
คลองหกล้านแปด
คลองหกล้านเก้า
คลองเจ็ดล้าน
คลองเจ็ดล้านเอ็ด
คลองเจ็ดล้านสอง
คลองเจ็ดล้านสาม
คลองเจ็ดล้านสี่
คลองเจ็ดล้านห้า
คลองเจ็ดล้านหก
คลองเจ็ดล้านเจ็ด
คลองเจ็ดล้านแปด
คลองเจ็ดล้านเก้า
คลองแปดล้าน
คลองแปดล้านเอ็ด
คลองแปดล้านสอง
คลองแปดล้านสาม
คลองแปดล้านสี่
คลองแปดล้านห้า
คลองแปดล้านหก
คลองแปดล้านเจ็ด
คลองแปดล้านแปด
คลองแปดล้านเก้า
คลองเก้าล้าน
คลองเก้าล้านเอ็ด
คลองเก้าล้านสอง
คลองเก้าล้านสาม
คลองเก้าล้านสี่
คลองเก้าล้านห้า
คลองเก้าล้านหก
คลองเก้าล้านเจ็ด
คลองเก้าล้านแปด
คลองเก้าล้านเก้า
คลองสิบล้าน
คลองสิบล้านเอ็ด
คลองสิบล้านสอง
คลองสิบล้านสาม
คลองสิบล้านสี่
คลองสิบล้านห้า
คลองสิบล้านหก
คลองสิบล้านเจ็ด
คลองสิบล้านแปด
คลองสิบล้านเก้า
คลองยี่สิบล้าน
คลองยี่สิบล้านเอ็ด
คลองยี่สิบล้านสอง
คลองยี่สิบล้านสาม
คลองยี่สิบล้านสี่
คลองยี่สิบล้านห้า
คลองยี่สิบล้านหก
คลองยี่สิบล้านเจ็ด
คลองยี่สิบล้านแปด
คลองยี่สิบล้านเก้า
คลองสามสิบล้าน
คลองสามสิบล้านเอ็ด
คลองสามสิบล้านสอง
คลองสามสิบล้านสาม
คลองสามสิบล้านสี่
คลองสามสิบล้านห้า
คลองสามสิบล้านหก
คลองสามสิบล้านเจ็ด
คลองสามสิบล้านแปด
คลองสามสิบล้านเก้า
คลองสี่สิบล้าน
คลองสี่สิบล้านเอ็ด
คลองสี่สิบล้านสอง
คลองสี่สิบล้านสาม
คลองสี่สิบล้านสี่
คลองสี่สิบล้านห้า
คลองสี่สิบล้านหก
คลองสี่สิบล้านเจ็ด
คลองสี่สิบล้านแปด
คลองสี่สิบล้านเก้า
คลองห้าสิบล้าน
คลองห้าสิบล้านเอ็ด
คลองห้าสิบล้านสอง
คลองห้าสิบล้านสาม
คลองห้าสิบล้านสี่
คลองห้าสิบล้านห้า
คลองห้าสิบล้านหก
คลองห้าสิบล้านเจ็ด
คลองห้าสิบล้านแปด
คลองห้าสิบล้านเก้า
คลองหกสิบล้าน
คลองหกสิบล้านเอ็ด
คลองหกสิบล้านสอง
คลองหกสิบล้านสาม
คลองหกสิบล้านสี่
คลองหกสิบล้านห้า
คลองหกสิบล้านหก
คลองหกสิบล้านเจ็ด
คลองหกสิบล้านแปด
คลองหกสิบล้านเก้า
คลองเจ็ดสิบล้าน
คลองเจ็ดสิบล้านเอ็ด
คลองเจ็ดสิบล้านสอง
คลองเจ็ดสิบล้านสาม
คลองเจ็ดสิบล้านสี่
คลองเจ็ดสิบล้านห้า
คลองเจ็ดสิบล้านหก
คลองเจ็ดสิบล้านเจ็ด
คลองเจ็ดสิบล้านแปด
คลองเจ็ดสิบล้านเก้า
คลองแปดสิบล้าน
คลองแปดสิบล้านเอ็ด
คลองแปดสิบล้านสอง
คลองแปดสิบล้านสาม
คลองแปดสิบล้านสี่
คลองแปดสิบล้านห้า
คลองแปดสิบล้านหก
คลองแปดสิบล้านเจ็ด
คลองแปดสิบล้านแปด
คลองแปดสิบล้านเก้า
คลองเก้าสิบล้าน
คลองเก้าสิบล้านเอ็ด
คลองเก้าสิบล้านสอง
คลองเก้าสิบล้านสาม
คลองเก้าสิบล้านสี่
คลองเก้าสิบล้านห้า
คลองเก้าสิบล้านหก
คลองเก้าสิบล้านเจ็ด
คลองเก้าสิบล้านแปด
คลองเก้าสิบล้านเก้า
คลองหนึ่งร้อยล้าน
คลองหนึ่งร้อยล้านเอ็ด
คลองหนึ่งร้อยล้านสอง
คลองหนึ่งร้อยล้านสาม
คลองหนึ่งร้อยล้านสี่
คลองหนึ่งร้อยล้านห้า
คลองหนึ่งร้อยล้านหก
คลองหนึ่งร้อยล้านเจ็ด
คลองหนึ่งร้อยล้านแปด
คลองหนึ่งร้อยล้านเก้า
คลองสองร้อยล้าน
คลองสองร้อยล้านเอ็ด
คลองสองร้อยล้านสอง
คลองสองร้อยล้านสาม
คลองสองร้อยล้านสี่
คลองสองร้อยล้านห้า
คลองสองร้อยล้านหก
คลองสองร้อยล้านเจ็ด
คลองสองร้อยล้านแปด
คลองสองร้อยล้านเก้า
คลองสามร้อยล้าน
คลองสามร้อยล้านเอ็ด
คลองสามร้อยล้านสอง
คลองสามร้อยล้านสาม
คลองสามร้อยล้านสี่
คลองสามร้อยล้านห้า
คลองสามร้อยล้านหก
คลองสามร้อยล้านเจ็ด
คลองสามร้อยล้านแปด
คลองสามร้อยล้านเก้า
คลองสี่ร้อยล้าน
คลองสี่ร้อยล้านเอ็ด
คลองสี่ร้อยล้านสอง
คลองสี่ร้อยล้านสาม
คลองสี่ร้อยล้านสี่
คลองสี่ร้อยล้านห้า
คลองสี่ร้อยล้านหก
คลองสี่ร้อยล้านเจ็ด
คลองสี่ร้อยล้านแปด
คลองสี่ร้อยล้านเก้า
คลองห้าร้อยล้าน
คลองห้าร้อยล้านเอ็ด
คลองห้าร้อยล้านสอง
คลองห้าร้อยล้านสาม
คลองห้าร้อยล้านสี่
คลองห้าร้อยล้านห้า
คลองห้าร้อยล้านหก
คลองห้าร้อยล้านเจ็ด
คลองห้าร้อยล้านแปด
คลองห้าร้อยล้านเก้า
คลองหกร้อยล้าน
คลองหกร้อยล้านเอ็ด
คลองหกร้อยล้านสอง
คลองหกร้อยล้านสาม
คลองหกร้อยล้านสี่
คลองหกร้อยล้านห้า
คลองหกร้อยล้านหก
คลองหกร้อยล้านเจ็ด
คลองหกร้อยล้านแปด
คลองหกร้อยล้านเก้า
คลองเจ็ดร้อยล้าน
คลองเจ็ดร้อยล้านเอ็ด
คลองเจ็ดร้อยล้านสอง
คลองเจ็ดร้อยล้านสาม
คลองเจ็ดร้อยล้านสี่
คลองเจ็ดร้อยล้านห้า
คลองเจ็ดร้อยล้านหก
คลองเจ็ดร้อยล้านเจ็ด
คลองเจ็ดร้อยล้านแปด
คลองเจ็ดร้อยล้านเก้า
คลองแปดร้อยล้าน
คลองแปดร้อยล้านเอ็ด
คลองแปดร้อยล้านสอง
คลองแปดร้อยล้านสาม
คลองแปดร้อยล้านสี่
คลองแปดร้อยล้านห้า
คลองแปดร้อยล้านหก
คลองแปดร้อยล้านเจ็ด
คลองแปดร้อยล้านแปด
คลองแปดร้อยล้านเก้า
คลองเก้าร้อยล้าน
คลองเก้าร้อยล้านเอ็ด
คลองเก้าร้อยล้านสอง
คลองเก้าร้อยล้านสาม
คลองเก้าร้อยล้านสี่
คลองเก้าร้อยล้านห้า
คลองเก้าร้อยล้านหก
คลองเก้าร้อยล้านเจ็ด
คลองเก้าร้อยล้านแปด
คลองเก้าร้อยล้านเก้า
คลองพันล้าน
คลองพันล้านเอ็ด
คลองพันล้านสอง
คลองพันล้านสาม
คลองพันล้านสี่
คลองพันล้านห้า
คลองพันล้านหก
คลองพันล้านเจ็ด
คลองพันล้านแปด
คลองพันล้านเก้า
คลองสองพันล้าน
คลองสองพันล้านเอ็ด
คลองสองพันล้านสอง
คลองสองพันล้านสาม
คลองสองพันล้านสี่
คลองสองพันล้านห้า
คลองสองพันล้านหก
คลองสองพันล้านเจ็ด
คลองสองพันล้านแปด
คลองสองพันล้านเก้า
คลองสามพันล้าน
คลองสามพันล้านเอ็ด
คลองสามพันล้านสอง
คลองสามพันล้านสาม
คลองสามพันล้านสี่
คลองสามพันล้านห้า
คลองสามพันล้านหก
คลองสามพันล้านเจ็ด
คลองสามพันล้านแปด
คลองสามพันล้านเก้า
คลองสี่พันล้าน
คลองสี่พันล้านเอ็ด
คลองสี่พันล้านสอง
คลองสี่พันล้านสาม
คลองสี่พันล้านสี่
คลองสี่พันล้านห้า
คลองสี่พันล้านหก
คลองสี่พันล้านเจ็ด
คลองสี่พันล้านแปด
คลองสี่พันล้านเก้า
คลองห้าพันล้าน
คลองห้าพันล้านเอ็ด
คลองห้าพันล้านสอง
คลองห้าพันล้านสาม
คลองห้าพันล้านสี่
คลองห้าพันล้านห้า
คลองห้าพันล้านหก
คลองห้าพันล้านเจ็ด
คลองห้าพันล้านแปด
คลองห้าพันล้านเก้า
คลองหกพันล้าน
คลองหกพันล้านเอ็ด
คลองหกพันล้านสอง
คลองหกพันล้านสาม
คลองหกพันล้านสี่
คลองหกพันล้านห้า
คลองหกพันล้านหก
คลองหกพันล้านเจ็ด
คลองหกพันล้านแปด
คลองหกพันล้านเก้า
คลองเจ็ดพันล้าน
คลองเจ็ดพันล้านเอ็ด
คลองเจ็ดพันล้านสอง
คลองเจ็ดพันล้านสาม
คลองเจ็ดพันล้านสี่
คลองเจ็ดพันล้านห้า
คลองเจ็ดพันล้านหก
คลองเจ็ดพันล้านเจ็ด
คลองเจ็ดพันล้านแปด
คลองเจ็ดพันล้านเก้า
คลองแปดพันล้าน
คลองแปดพันล้านเอ็ด
คลองแปดพันล้านสอง
คลองแปดพันล้านสาม
คลองแปดพันล้านสี่
คลองแปดพันล้านห้า
คลองแปดพันล้านหก
คลองแปดพันล้านเจ็ด
คลองแปดพันล้านแปด
คลองแปดพันล้านเก้า
คลองเก้าพันล้าน
คลองเก้าพันล้านเอ็ด
คลองเก้าพันล้านสอง
คลองเก้าพันล้านสาม
คลองเก้าพันล้านสี่
คลองเก้าพันล้านห้า
คลองเก้าพันล้านหก
คลองเก้าพันล้านเจ็ด
คลองเก้าพันล้านแปด
คลองเก้าพันล้านเก้า
คลองหนึ่งหมื่นล้าน
คลองหนึ่งหมื่นล้านเอ็ด
คลองหนึ่งหมื่นล้านสอง
คลองหนึ่งหมื่นล้านสาม
คลองหนึ่งหมื่นล้านสี่
คลองหนึ่งหมื่นล้านห้า
คลองหนึ่งหมื่นล้านหก
คลองหนึ่งหมื่นล้านเจ็ด
คลองหนึ่งหมื่นล้านแปด
คลองหนึ่งหมื่นล้านเก้า
คลองสองหมื่นล้าน
คลองสองหมื่นล้านเอ็ด
คลองสองหมื่นล้านสอง
คลองสองหมื่นล้านสาม
คลองสองหมื่นล้านสี่
คลองสองหมื่นล้านห้า
คลองสองหมื่นล้านหก
คลองสองหมื่นล้านเจ็ด
คลองสองหมื่นล้านแปด
คลองสองหมื่นล้านเก้า
คลองสามหมื่นล้าน
คลองสามหมื่นล้านเอ็ด
คลองสามหมื่นล้านสอง
คลองสามหมื่นล้านสาม
คลองสามหมื่นล้านสี่
คลองสามหมื่นล้านห้า
คลองสามหมื่นล้านหก
คลองสามหมื่นล้านเจ็ด
คลองสามหมื่นล้านแปด
คลองสามหมื่นล้านเก้า
คลองสี่หมื่นล้าน
คลองสี่หมื่นล้านเอ็ด
คลองสี่หมื่นล้านสอง
คลองสี่หมื่นล้านสาม
คลองสี่หมื่นล้านสี่
คลองสี่หมื่นล้านห้า
คลองสี่หมื่นล้านหก
คลองสี่หมื่นล้านเจ็ด
คลองสี่หมื่นล้านแปด
คลองสี่หมื่นล้านเก้า
คลองห้าหมื่นล้าน
คลองห้าหมื่นล้านเอ็ด
คลองห้าหมื่นล้านสอง
คลองห้าหมื่นล้านสาม
คลองห้าหมื่นล้านสี่
คลองห้าหมื่นล้านห้า
คลองห้าหมื่นล้านหก
คลองห้าหมื่นล้านเจ็ด
คลองห้าหมื่นล้านแปด
คลองห้าหมื่นล้านเก้า
คลองหกหมื่นล้าน
คลองหกหมื่นล้านเอ็ด
คลองหกหมื่นล้านสอง
คลองหกหมื่นล้านสาม
คลองหกหมื่นล้านสี่
คลองหกหมื่นล้านห้า
คลองหกหมื่นล้านหก
คลองหกหมื่นล้านเจ็ด
คลองหกหมื่นล้านแปด
คลองหกหมื่นล้านเก้า
คลองเจ็ดหมื่นล้าน
คลองเจ็ดหมื่นล้านเอ็ด
คลองเจ็ดหมื่นล้านสอง
คลองเจ็ดหมื่นล้านสาม
คลองเจ็ดหมื่นล้านสี่
คลองเจ็ดหมื่นล้านห้า
คลองเจ็ดหมื่นล้านหก
คลองเจ็ดหมื่นล้านเจ็ด
คลองเจ็ดหมื่นล้านแปด
คลองเจ็ดหมื่นล้านเก้า
คลองแปดหมื่นล้าน
คลองแปดหมื่นล้านเอ็ด
คลองแปดหมื่นล้านสอง
คลองแปดหมื่นล้านสาม
คลองแปดหมื่นล้านสี่
คลองแปดหมื่นล้านห้า
คลองแปดหมื่นล้านหก
คลองแปดหมื่นล้านเจ็ด
คลองแปดหมื่นล้านแปด
คลองแปดหมื่นล้านเก้า
คลองเก้าหมื่นล้าน
คลองเก้าหมื่นล้านเอ็ด
คลองเก้าหมื่นล้านสอง
คลองเก้าหมื่นล้านสาม
คลองเก้าหมื่นล้านสี่
คลองเก้าหมื่นล้านห้า
คลองเก้าหมื่นล้านหก
คลองเก้าหมื่นล้านเจ็ด
คลองเก้าหมื่นล้านแปด
คลองเก้าหมื่นล้านเก้า
คลองหนึ่งแสนล้าน
คลองหนึ่งแสนล้านเอ็ด
คลองหนึ่งแสนล้านสอง
คลองหนึ่งแสนล้านสาม
คลองหนึ่งแสนล้านสี่
คลองหนึ่งแสนล้านห้า
คลองหนึ่งแสนล้านหก
คลองหนึ่งแสนล้านเจ็ด
คลองหนึ่งแสนล้านแปด
คลองหนึ่งแสนล้านเก้า
คลองสองแสนล้าน
คลองสองแสนล้านเอ็ด
คลองสองแสนล้านสอง
คลองสองแสนล้านสาม
คลองสองแสนล้านสี่
คลองสองแสนล้านห้า
คลองสองแสนล้านหก
คลองสองแสนล้านเจ็ด
คลองสองแสนล้านแปด
คลองสองแสนล้านเก้า
คลองสามแสนล้าน
คลองสามแสนล้านเอ็ด
คลองสามแสนล้านสอง
คลองสามแสนล้านสาม
คลองสามแสนล้านสี่
คลองสามแสนล้านห้า
คลองสามแสนล้านหก
คลองสามแสนล้านเจ็ด
คลองสามแสนล้านแปด
คลองสามแสนล้านเก้า
คลองสี่แสนล้าน
คลองสี่แสนล้านเอ็ด
คลองสี่แสนล้านสอง
คลองสี่แสนล้านสาม
คลองสี่แสนล้านสี่
คลองสี่แสนล้านห้า
คลองสี่แสนล้านหก
คลองสี่แสนล้านเจ็ด
คลองสี่แสนล้านแปด
คลองสี่แสนล้านเก้า
คลองห้าแสนล้าน
คลองห้าแสนล้านเอ็ด
คลองห้าแสนล้านสอง
คลองห้าแสนล้านสาม
คลองห้าแสนล้านสี่
คลองห้าแสนล้านห้า
คลองห้าแสนล้านหก
คลองห้าแสนล้านเจ็ด
คลองห้าแสนล้านแปด
คลองห้าแสนล้านเก้า
คลองหกแสนล้าน
คลองหกแสนล้านเอ็ด
คลองหกแสนล้านสอง
คลองหกแสนล้านสาม
คลองหกแสนล้านสี่
คลองหกแสนล้านห้า
คลองหกแสนล้านหก
คลองหกแสนล้านเจ็ด
คลองหกแสนล้านแปด
คลองหกแสนล้านเก้า
คลองเจ็ดแสนล้าน
คลองเจ็ดแสนล้านเอ็ด
คลองเจ็ดแสนล้านสอง
คลองเจ็ดแสนล้านสาม
คลองเจ็ดแสนล้านสี่
คลองเจ็ดแสนล้านห้า
คลองเจ็ดแสนล้านหก
คลองเจ็ดแสนล้านเจ็ด
คลองเจ็ดแสนล้านแปด
คลองเจ็ดแสนล้านเก้า
คลองแปดแสนล้าน
คลองแปดแสนล้านเอ็ด
คลองแปดแสนล้านสอง
คลองแปดแสนล้านสาม
คลองแปดแสนล้านสี่
คลองแปดแสนล้านห้า
คลองแปดแสนล้านหก
คลองแปดแสนล้านเจ็ด
คลองแปดแสนล้านแปด
คลองแปดแสนล้านเก้า
คลองเก้าแสนล้าน
คลองเก้าแสนล้านเอ็ด
คลองเก้าแสนล้านสอง
คลองเก้าแสนล้านสาม
คลองเก้าแสนล้านสี่
คลองเก้าแสนล้านห้า
คลองเก้าแสนล้านหก
คลองเก้าแสนล้านเจ็ด
คลองเก้าแสนล้านแปด
คลองเก้าแสนล้านเก้า
คลองหนึ่งล้านล้าน
คลองหนึ่งล้านล้านเอ็ด
คลองหนึ่งล้านล้านสอง
คลองหนึ่งล้านล้านสาม
คลองหนึ่งล้านล้านสี่
คลองหนึ่งล้านล้านห้า
คลองหนึ่งล้านล้านหก
คลองหนึ่งล้านล้านเจ็ด
คลองหนึ่งล้านล้านแปด
คลองหนึ่งล้านล้านเก้า
คลองสองล้านล้าน
คลองสองล้านล้าน

3.2.3 การหาสภาวะการย่อยที่เหมาะสม

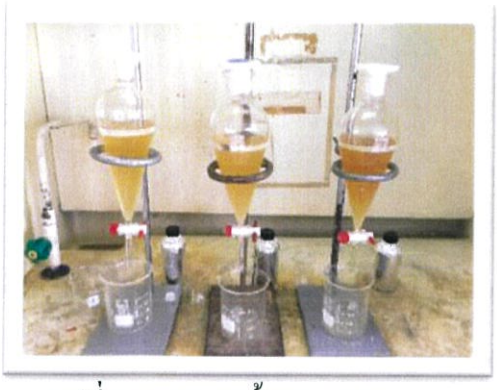
1. นำหมูปิ้งจำนวน 30 ไม้ มาปั่นให้ละเอียดนาน 5 นาที
2. นำหมูปิ้งที่ปั่นละเอียดจากข้อ 1 มา 10 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติม anh. Na_2SO_4 จำนวน 2 กรัม เพื่อดูดน้ำในตัวอย่างหมูปิ้ง
3. เติมสารละลายผสมระหว่าง methanol กับ KOH เข้มข้น 2 M จำนวน 150 มิลลิลิตร โดยชั่ง KOH 16.8 กรัม ละลายน้ำ 15 มิลลิลิตร เทสารละลาย KOH ลง methanol 135 มิลลิลิตร และปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที ลงในขวดก้นกลม เขย่าให้เข้ากัน และใส่เม็ด glass bead
4. ตั้งอุปกรณ์กับเครื่อง Heating mantle ต่อกับ cooling bath ซึ่งจะให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ที่อุณหภูมิ 13 - 15°C ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่อง Heating mantle

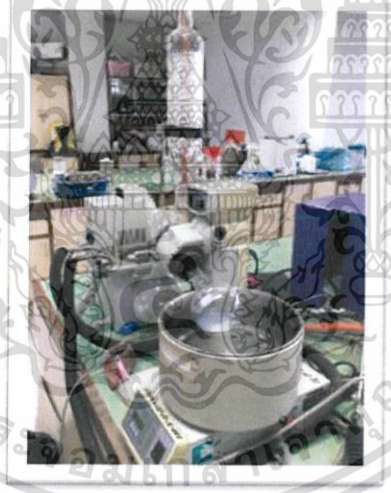
5. ทำการ reflux ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที, 3 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง 30 นาที จนได้สารละลายเนื้อเดียวกัน
6. นำมาหล่อเย็นให้อุณหภูมิเป็น 25 – 40°C
7. นำส่วนของสารละลายที่ได้มาใส่ในกรวยแยก ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมระหว่าง n – Hexane กับ Dichloromethane (อัตราส่วน 4:1) 50 มิลลิลิตร
8. เขย่าให้สารผสมจนเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้น ดังรูป 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การแยกชั้นของสาร

9. ไขสารชั้นบนเก็บไว้ แล้วทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง นำสารที่สกัดได้ทั้ง 3 ครั้งมารวมกัน
10. นำไประเหยแห้งด้วยเครื่อง Rotary evaporator โดยใช้อุณหภูมิ 35°C ความดัน 180 mmHg ให้เหลือปริมาตร 2 มิลลิลิตร ดังรูป 3.4
11. สังเกตผลที่ได้จากการทดลอง

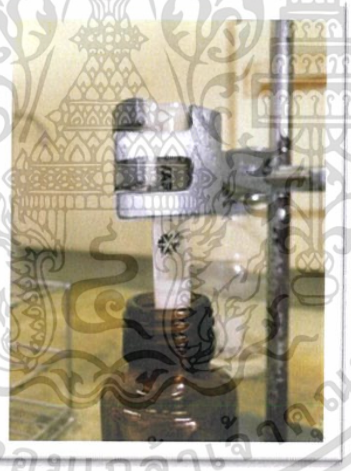


รูปที่ 3.4 เครื่อง Rotary evaporator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4. การเตรียมตัวอย่าง

1. ทำเหมือนหัวข้อ 3.2.3 ตั้งแต่ข้อ 1 – 4
2. ทำการ reflux ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 70°C โดยใช้เวลาที่เป็นภาวะการย่อยที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลอง 3.2.3 จนได้สารละลายเนื้อเดียวกัน
3. นำมาหล่อเย็นให้อุณหภูมิเป็น 25 – 40°C
4. นำส่วนของสารละลายที่ได้มาใส่ในกรวยแยก ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมระหว่าง n – Hexane กับ Dichloromethane (อัตราส่วน 4:1) 50 มิลลิลิตร
5. เขย่าให้สารผสมจนเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้น
6. ไขสารชั้นบนเก็บไว้ แล้วทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง นำสารที่สกัดได้ทั้ง 3 ครั้งมารวมกัน
7. นำไประเหยแห้งด้วยเครื่อง Rotary evaporator โดยใช้อุณหภูมิ 35°C ความดัน 180 mmIIg ให้เหลือปริมาตร 2 มิลลิลิตร
8. ใส่ลงในขวดสีชา
9. ชะ C-18 SPE tube ด้วย ด้วย methanol จำนวน 3 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำ Dionized water (DI) จำนวน 3 มิลลิลิตร ดังรูป 3.5

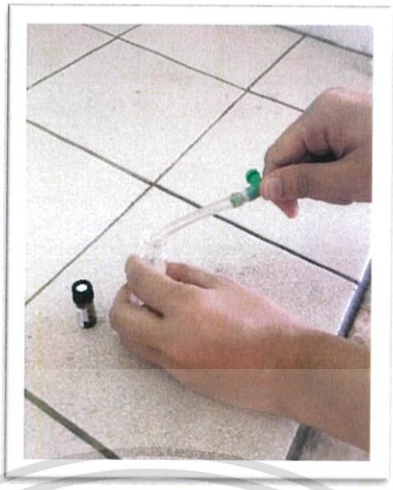


รูปที่ 3.5 C-18 SPE tube

10. นำสารละลายตัวอย่าง ลงใน C-18 SPE tube
11. ชะต่อด้วย n – Hexane + DCM ในอัตราส่วน 2:1 จำนวน 4 มิลลิลิตร และเก็บสารละลายที่ได้จากการชะครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. นำมาทำให้แห้งโดยการพ่นไนโตรเจน ให้เหลือปริมาตร 2 มิลลิลิตร ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 การพ่นไนโตรเจน

13. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้น Benzo(a)pyrene โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC – FID) เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ ซึ่งจะใช้สภาวะดังตารางที่ 3.1
14. นำผลที่วิเคราะห์ได้ ไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากผู้บริโภคหมูปิ้งโดยแจกแบบสอบถาม 100 คน

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ B(a)P ด้วยเครื่อง GC – FID

พารามิเตอร์	สภาวะในการเดินระบบ
Column	Rtx – 5, (Crossbond 5% diphenyl – 95% dimethyl polysiloxane) ขนาด 30 m x 0.25 mm ID x 0.25 µm df
Oven temperature	100°C (0 min), ramp rate 6°C/min to 300°C (0 min), ramp rate 15°C/min to 330°C (15 min)
Injector temperature	250°C
Final temperature	330°C
Carrier gas	He

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ B(a)P ด้วยเครื่อง GC – MS

พารามิเตอร์	สภาวะในการเดินระบบ
Gas Chromatograph	6890 N (Agilent Technologies, USA)
Carrier gas	He, Flow rate 1 mL/min
Column	HP – 5MS, 30 m × 0.25 mm ID × 0.25 μm (film thickness) capillary column (J&W Scientific, USA)
Initial column temperature	80°C
Temperature program ramp rate	Injector temperature : 290°C Oven temperature 80°C (Initial temperature), Holding at 80°C for 2 min, then increased from 80°C to 150°C at 20°C /min, holding at 150°C for 10 min, next increased from 150°C to 285°C at 5°C/min, then increased from 285°C to 300 285°C at 3°C/min and hold at 300°C for 7 min.
Injector mode split less	1 μL
Purge flow split vent	60 mL/min @ 1°C
Final temperature	300°C
Final hold time	10 min
Analytical time	50 min
Detector	Mass Spectrometer 5973 N (Agilent Technologies, USA)
MS mode	EI mode (SIM mode)
MS detector temperature	300°C
Mass range/scan speed	30 – 500 amu/sec.
Transfer line temperature	300°C
Filament / multiplier delay	6 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การประกันคุณภาพ

3.2.5.1. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ สำหรับฉีด GC – FID

เติม Benzo(a)pyrene ความเข้มข้น 300 µg/L ลงในหมูปิ้ง 10 กรัม ที่ได้จากการปั่นละเอียด และทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.4 นำผลที่ทำการวิเคราะห์ได้ มาคำนวณเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (ภาคผนวก ค)

3.2.5.2. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ สำหรับฉีด GC – MS

เติม Benzo(a)pyrene ความเข้มข้น 45 µg/L ลงในหมูปิ้ง 30 กรัม ที่ได้จากการปั่นละเอียด และทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.4 นำผลที่ทำการวิเคราะห์ได้ มาคำนวณเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (ภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การสุ่มตัวอย่าง

การศึกษาความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene และ ประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น จากการบริโภค หมูปิ้ง ซึ่งมีการเลือกตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Sampling) บริเวณรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีการสุ่มตัวอย่างดังตารางที่ 4.1 หมูปิ้งแต่ละไม้มีน้ำหนักเฉลี่ย 15.02 $\pm$ 1.52 กรัม (n = 7)

ตารางที่ 4.1 การสุ่มตัวอย่างแบบ Stratified Sampling บริเวณรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง

บริเวณที่ขาย	ร้าน	จำนวนที่ขายได้โดยประมาณ (ไม้/วัน)	ช่วงเวลาขาย	จำนวนที่สุ่มตัวอย่าง (ไม้)	จำนวนที่สุ่มแบบสอบถาม (คน)
บริเวณ A	A1	400	6.00-12.00 และ 16.00-19.00	3	10
	A2	350	6.00-12.00	3	10
	A3	900	23.00-3.00	7	23
บริเวณ B	B1	150	17.00-21.00	2	7
บริเวณ C	C1	300	15.00-19.00	2	7
บริเวณ D	D1	1,200	4.00-11.00 และ 15.00-24.00	10	33
	D2	400	5.00-9.00	3	10
รวม		3,700		30	100

การคำนวณการสุ่มตัวอย่าง (ภาคผนวก จ.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกสุ่มตัวอย่างนั้นมีหลายแบบด้วยกัน เช่น การสุ่มกลุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เป็นการสุ่มที่สมาชิกทุกหน่วยมีจำนวนไม่มากนัก ลักษณะของประชากร จะทำให้ไม่ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีความครอบคลุม หรือ เป็นตัวแทนที่ดี ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Sampling) ซึ่งมีข้อดี คือ ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีคุณลักษณะที่ครอบคลุม อย่างเป็นระบบ ทำให้ตัวอย่างที่ได้ เป็นตัวแทนที่ดี ในการนำมาศึกษา เพื่อให้การวิจัยมีความน่าเชื่อถือ ข้อเสีย คือ ถ้าจำนวนตัวแปรที่ใช้มีมากเกินไป จะทำให้มีจำนวนชั้นที่มาก และยุ่งยากในการแบ่งชั้น การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ จึงเป็นการสุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมกับการได้ข้อมูลในงานวิจัยอย่างถูกต้อง ครอบคลุมและครบถ้วน

4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย่อยเนื้อหมู

ผลจากการกำหนดระยะเวลาในการย่อยตัวอย่าง ได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับ หลังจากทำการย่อยแล้วได้นำไปสกัดและระเหยแห้งด้วยเครื่อง Rotary evaporator ได้ผลดังรูป

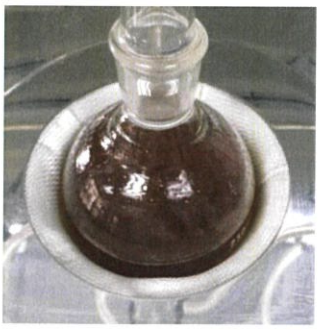
(ก) (ข) (ค)

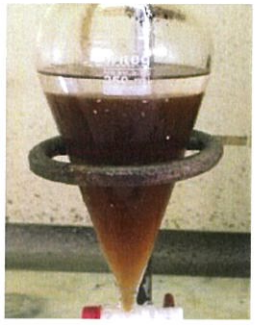
รูปที่ 4.1 ผลของเวลาในการย่อย ต่อการสกัดพีเอเอชที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.2 ผลของเวลาในการย่อย ต่อการสกัดพีเอเอชที่ 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


(ก)


(ข)

(ค)

รูปที่ 4.3 ผลของเวลาในการย่อย ต่อการสกัดพีเอเอชที่ 3 ชั่วโมง 30 นาที

(ก) ผลที่ได้หลังจากทำการย่อยในแต่ละช่วงเวลา

(ข) ผลที่ได้จากการสกัด

(ค) ผลจากการระเหยแห้งของสารที่สกัดได้

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการย่อยโดยใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที การสกัดพบว่า สารละลายที่สกัดได้ในชั้นบนจะขุ่น เมื่อนำมาระเหยแห้งจะจับตัวเป็นก้อน และ มีลักษณะคล้ายสบู่ ในระยะเวลาการย่อยที่ 3 ชั่วโมง จะเห็นว่าการสกัดมีลักษณะขุ่นแต่น้อยกว่าที่เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อนำมาระเหยแห้งจะได้เป็นสารละลายสีขาวขุ่น มีลักษณะเป็นวุ้นเล็กน้อย และ ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที จะสังเกตได้ว่า สารละลายที่สกัดได้นั้นจะใส และ เมื่อนำไประเหยแห้งแล้วจะได้เป็นสารละลายใส ไม่มีสี

จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการการย่อยเนื้อหมู คือ ที่เวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Base – catalyzed transesterification reaction อย่างสมบูรณ์ โดยสารละลายจะทำการย่อยสลายโปรตีนจากเนื้อ ได้เป็นกรดอะมิโน และ Methoxy group ที่อยู่ในสารละลายจะจับตัวกับ Carbonyl group ซึ่งมีพีเอเอชเกาะอยู่ด้วย ฉะนั้น จากการที่สารละลายที่ได้จากการสกัด และ การระเหยแห้งในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที และ 3 ชั่วโมง มีลักษณะคล้ายวุ้นนั้น อาจเนื่องมาจากการที่ Methoxy group จับตัวกับ Carbonly group ไม่หมด จึงทำให้โพแทสเซียมเข้าแทนที่ Methoxy group ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสบู่

ตัวอย่างปฏิกิริยา (http://www.chemtopics.com/aplab/ester.pdf)

$$\begin{array}{l} CH_2-OCOR \\ | \\ CH-OCOR \\ | \\ CH_2-OCOR \end{array} + 3CH_3OH \xrightarrow{KOH} 3CH_3O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R + \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array} \quad \ldots (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

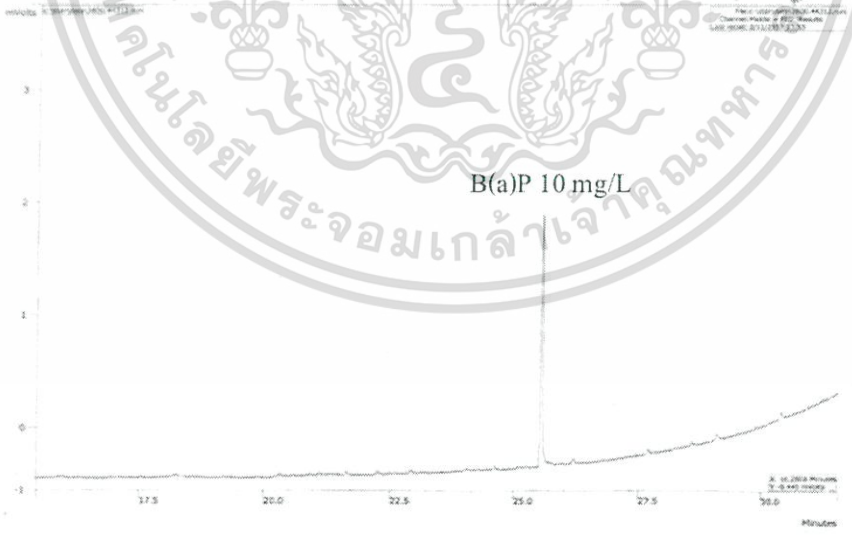
$$\begin{array}{l} CH_2-OCOR \\ | \\ CH-OCOR \\ | \\ CH_2-OCOR \end{array} + 2CH_3OH \xrightarrow{KOH} \begin{array}{l} O \\ \| \\ 2CH_3O-C-R \\ \\ O \\ \| \\ KO-C-R \end{array} + \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array} \quad \ldots (4.2)$$

สมการที่ 4.1 แสดงถึงลักษณะของการเกิด Base – catalyzed transesterification reaction อย่างสมบูรณ์ ในสมการที่ 4.2 เป็นการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งคือการที่ Methoxy group ไม่เพียงพอที่จะจับกับ Carbonyl group จะทำให้เบสเข้ามาแทนที่ จึงสามารถเกิดเป็นสบู่ได้

4.3 ผลจากการวิเคราะห์ Benzo(a)pyrene

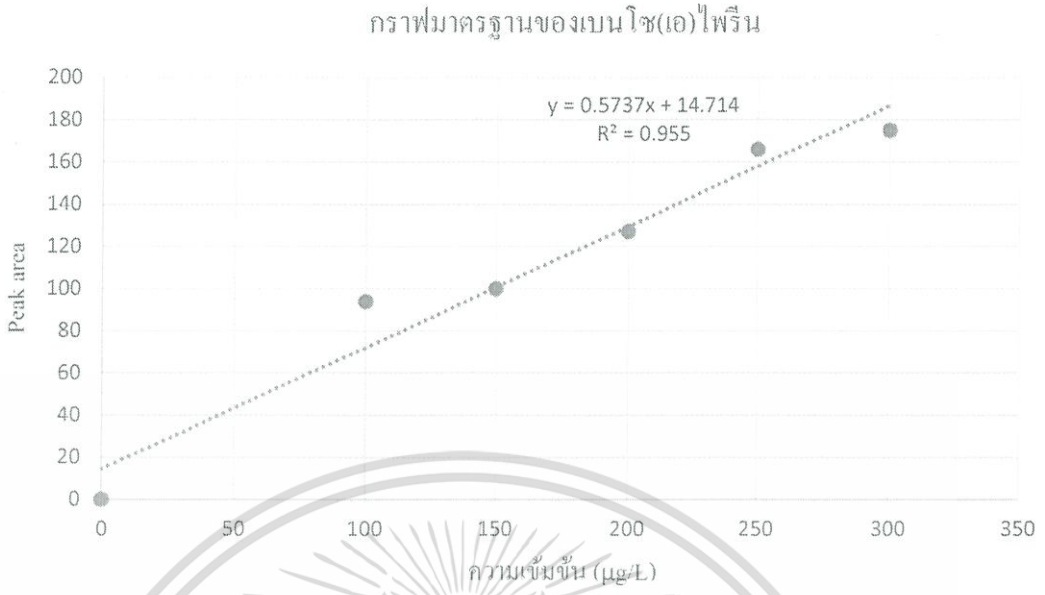
4.3.1 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – FID

จากการทดลอง พบว่าเครื่อง GC – FID สำหรับสารมาตรฐาน B(a)P ที่ความเข้มข้นสูง 10 mg/L ตามสภาวะที่ใช้ในการเดินเครื่อง GC – FID สามารถแสดงพีค B(a)P ดังโครมาโตแกรมในรูปที่ 4.4 แต่ไม่สามารถตรวจพบสาร Benzo(a)pyrene ในตัวอย่างหมูปิ้งได้ (ภาคผนวก ข) เนื่องจากความเข้มข้นของ B(a)P ในตัวอย่างหมูปิ้งต่ำกว่าค่าที่ตรวจพบได้ จากการทดลองเครื่องมือตรวจพบพีค (Signal, S) ที่มีค่าพื้นที่สูงกว่าสัญญาณรบกวน (Noise, N) มีค่าอัตราส่วน S/N เกิน 5 คือ 100 µg/L



รูปที่ 4.4 โครมาโตแกรมสารละลายมาตรฐาน Benzo(a)pyrene ความเข้มข้น10 mg/L ที่ได้จากการฉีด GC – FID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของเบนโซ(เอ)ไพรีนจากการฉีด GC – FID

4.3.2 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – MS

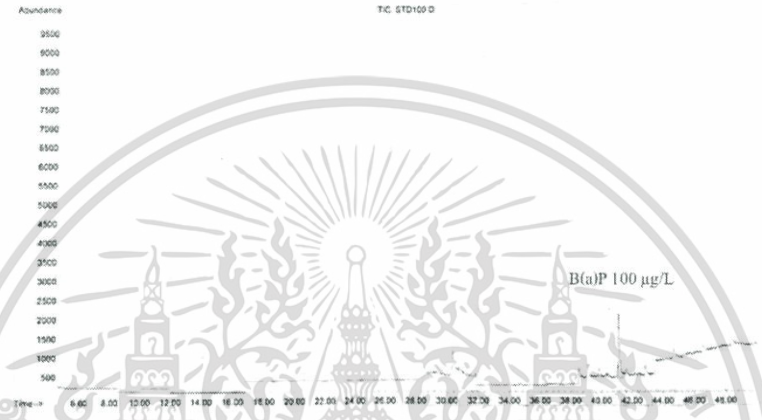
จากผลการทดลอง พบว่าเครื่องมือสามารถตรวจพบสาร Benzo(a)pyrene ในเนื้อหมูได้ (ภาคผนวก ข) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GC – MS

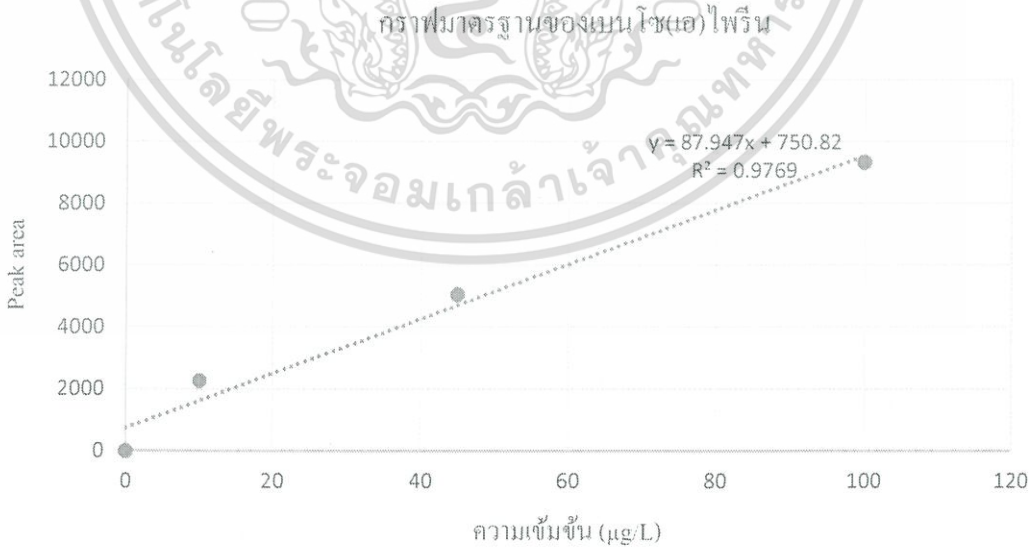
ตัวอย่างที่	วันที่	น้ำหนักหมูปิ้ง (g)	ความเข้มข้นของ B(a)P ในหมูปิ้ง (µg/kg)
1	7/11/2557	30.01	12.20
2	1/12/2557	30.02	7.50
ค่าเฉลี่ย		30.015 ± 0.007	9.85 ± 3.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นได้ว่า ในเนื้อหมู 30 กรัม สามารถตรวจพบได้ในความเข้มข้นของสาร B(a)P แตกต่างกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากกระบวนการปิ้งหมูในแต่ละวันมีความแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิในการปิ้ง เพราะเป็นการใช้ถ่านเป็นแหล่งให้ความร้อน ฉะนั้นจะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการปิ้งให้คงที่ได้ ทำให้ระดับการสุกของเนื้อ หรือการไหม้เกรียมของเนื้อ ก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละครั้งของการปิ้งย่าง รวมถึงปริมาณไขมันในหมูปิ้ง ซึ่งไขมันมีคุณสมบัติเป็น non – polar สามารถจับกับ B(a)P ได้ดี ยิ่งมีปริมาณไขมันมาก จะมีโอกาสพบ B(a)P มากขึ้น และไขมันในหมูปิ้งในแต่ละไม้ก็จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 4.6 โครมาโตแกรมสารละลายมาตรฐาน Benzo(a)pyrene ความเข้มข้น 100 µg/L ที่ได้จาก
การฉีด GC – MS



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานของเบนโซ(เอ)ไพรีนจากการฉีด GC – MS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ

4.4.1 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – FID

การประกันคุณภาพโดยการทำ % Recovery (เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ) โดยการเติมสารมาตรฐาน Benzo(a)pyrene ความเข้มข้น 300 µg/L ลงในตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้น Benzo(a)pyrene โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC – FID) เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ พบว่าได้ % Recovery เท่ากับ 130 เปอร์เซ็นต์ (คำนวณภาคผนวก ค) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (ภาคผนวก ค) แต่ในความเป็นจริงแล้วตัวอย่างอาจจะมี Benzo(a)pyrene อยู่น้อยมากเกินกว่าที่ขีดจำกัดของเครื่องมือจะสามารถตรวจพบ เพราะฉะนั้นเป็นไปได้ว่า จะได้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับเกินช่วงที่จะยอมรับได้

4.4.2 วิเคราะห์ Benzo(a)pyrene โดย GC – MS

การประกันคุณภาพ โดยการทำ %Recovery (เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ) จะทำเช่นเดียวกันกับเทคนิคของ GC – FID โดยเติมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 45 µg/L ได้ %Recovery เท่ากับ 102.22 เปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวก ค) และจากการหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารมาตรฐาน เป็นการตรวจสอบ ความถูกต้องของกระบวนการที่ทำการทดลอง และ จากผลที่ได้พบว่า สามารถได้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

4.5 ประเมินความเสี่ยงที่ได้รับจากการบริโภคหมูปิ้ง

จากการสำรวจสอบถามในเรื่องของการบริโภคหมูปิ้งของนักศึกษา จำนวน 100 คน โดยรวมเป็นผู้หญิงซึ่งคิดเป็นร้อยละ 65.00 เป็นเพศชายร้อยละ 35.00 เมื่อพิจารณาการรับประทานหมูปิ้งในแต่ละสัปดาห์ พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่จะรับประทานหมูปิ้งอยู่ในช่วง 1 – 4 ไม้ ต่อสัปดาห์ ซึ่งคิดเป็นร้อยละของจำนวนเป็น 61.00 และมีการรับประทานช่วง 5 – 8, 9 – 12 และ 13 – 16 ไม้ต่อสัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 26, 11 และ 2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความรู้ และพฤติกรรมการบริโภคหมูปิ้งของนักศึกษา พบว่า พฤติกรรมในการรับประทานที่พบในระดับมากที่สุด คือ ทุกครั้งที่รับประทานหมูปิ้ง ไม่รับประทานที่ไหม้เกรียม ค่าเฉลี่ย 3.51 คิดเป็นร้อยละ 70.20 ส่วนชอบรับประทานมันที่ติดกับเนื้อหมู และ เลือกรับประทานหมูปิ้งที่มีลักษณะไหม้เกรียมอยู่ในระดับน้อย ค่าเฉลี่ย 2.97 และ 2.42 คิดเป็นร้อยละ 59.40 และ 48.40 ตามลำดับ ความรู้ของผู้ตอบแบบสอบถามในเรื่องของสารพิษที่เกิดจากการปิ้งย่าง พบว่า มีความรู้ในระดับมากที่สุด ได้แก่ สารกลุ่มพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ พีเอเอช เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งสามารถพบในหมูปิ้ง และ สารพีเอเอช เป็นสารที่มีความเป็นพิษเรื้องรัง เมื่อได้รับอย่างต่อเนื่องอาจจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ค่าเฉลี่ย 4.02 และ 3.90 คิดเป็นร้อยละ 80.40 และ 78.00 ตามลำดับ ส่วนสารกลุ่มพีเอเอชเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ไฟป่า จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธูป ปิ้งย่าง เป็นต้น อยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 3.91 คิดเป็นร้อยละ 78.20 จำนวนร้อยละของผู้ตอบแบบประเมินในการเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคหมูปิ้ง บริโภคตามปกติ บริโภคน้อยลง และ ไม่บริโภคเป็น 26.00, 66.00 และ 8.00 ตามลำดับ (ภาคผนวก ง)

จากผลจากการวิเคราะห์ Benzo(a)pyrene ด้วยเครื่อง GC – MS ได้ความเข้มข้นเฉลี่ย ที่ตรวจพบคือ 9.85 ± 3.32 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจากการคำนวณในการประเมินความเสี่ยงนี้ นำค่าเฉลี่ย มาเป็นค่าที่ผู้บริโภคได้รับ และ ทำการรวบรวมแบบสอบถาม 100 คน ที่บริโภคหมูปิ้ง ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และ นำมาคิดประเมินความเสี่ยงในการได้รับสาร Benzo(a)pyrene

ตารางที่ 4.3 การประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากการบริโภคหมูปิ้งของเพศชายและเพศหญิง

เพศ		ชาย	หญิง
จำนวน		35	65
น้ำหนัก (kg)		69.00	56.31
ปริมาณการบริโภค	ไม้/สัปดาห์	7	6
	กรัม/วัน	15.02	12.87
ความเสี่ยง		2.4×10^{-5}	2.7×10^{-5}

ทำการประเมินแยกชายและหญิง จากตารางพบว่า ในชาย 35 คน บริโภคหมูปิ้งเฉลี่ยวันละ 15.02 กรัม หรือ 7 ไม้ต่อสัปดาห์ ในหญิง 65 คน บริโภคหมูปิ้งเฉลี่ยวันละ 12.87 กรัม หรือ 6 ไม้ต่อสัปดาห์ นำมาคิดค่าในการประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น ในเพศชาย พบว่าค่าความเสี่ยงเป็น 2.4×10^{-5} หรือ โอกาสในการเป็นมะเร็งจากการบริโภคของเพศชายเป็น 24 ในล้าน ในเพศหญิง พบว่าค่าความเสี่ยง เป็น 2.7×10^{-5} หรือ โอกาสในการเป็นมะเร็งจากการบริโภคของเพศหญิงเป็น 27 ในล้าน ซึ่งจากการคำนวณจะเห็นได้ว่าความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน และพบว่ามีความเสี่ยงปานกลาง เมื่อมีการบริโภคเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง (ตัวอย่างการคำนวณภาคผนวก ง)

สำหรับการประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากการบริโภคหมูปิ้ง เราได้ประเมินความเสี่ยงเพียง การได้รับสารทางปาก หรือทางการกินหมูปิ้งเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ควรมีการศึกษาอาหารประเภทอื่นที่มีการบริโภคเป็นประจำเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเนื้อหมูปิ้ง พบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที ทำการย่อยได้ดีที่สุด สารที่ระเหยแห้งไม่มีการจับตัวเป็นวุ้นหรือเป็นก้อน และ ได้สารละลายเป็นของเหลวใสทั้งหมด

จากการหาความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ในหมูปิ้งโดยใช้เครื่อง GC – FID เป็นเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น พบว่า ไม่สามารถตรวจพบ Benzo(a)pyrene ได้

จากการทดลองหาความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ในหมูปิ้งโดยใช้เครื่อง GC – MS พบว่าตัวอย่างสามารถตรวจพบได้ เมื่อนำมาคำนวณโดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน ตัวอย่างที่ได้จะมีความเข้มข้นเท่ากับ 12.2 และ 7.5 µg/kg เฉลี่ยเท่ากับ 9.85 ± 3.32 µg/kg และ เมื่อคิดเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับเท่ากับ 102.22% ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

จากการประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งได้นำค่าจากการตรวจพบในหมูปิ้งของ GC – MS มาใช้ในการประเมินความเสี่ยง และ จากการแจกแบบสอบถามของการบริโภคหมูปิ้ง พบว่า ความเสี่ยงจากการบริโภคของเพศชาย เมื่อคำนวณจากความเข้มข้นเฉลี่ย ได้ความเสี่ยงเป็น 24 ในล้าน และจากเพศหญิง ความเสี่ยงที่ได้จากความเข้มข้นเฉลี่ย 27 ในล้าน ซึ่งความเสี่ยงที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับเพศชาย ถ้ามีการรับประทานอย่างต่อเนื่องเป็นประจำจะมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาหาความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene สามารถนำไปวิเคราะห์ได้กับเครื่องมืออื่น เช่น HPLC – FD
2. การศึกษาหาความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ควรมีการศึกษาในอาหารประเภทปิ้งย่างอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2543. **เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง พอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. 2543. **พีเอเอช**. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

ไกรวิทย์ เอียวพันธ์, พรพิมล ฉวีวรรณ และรุ่งคุณ เสือทองคำ. 2551. **การใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับแบบเพิ่มความเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์สารพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนปริมาณน้อยในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีสเปกโทรฟลูออโรเมทรีที่สถานะของแข็ง**.ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จิตผกา สันทัดรบ, ทองสุข ปายะนันทน์ และกนกพร อธิสุข. 2552. **การพัฒนาวิธีวิตรวจเคราะห์ Benzo(a)pyrene ในเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง**. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 51(3 - 4), 177 - 186.

จิตรลดา มูประสิทธิ์. 2552. **องค์ประกอบและสัดส่วนของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ใน PM_{10} จากแหล่งปลดปล่อยต่างประเภทในจังหวัดสงขลา**. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชูติมา ศรีวิบูลย์. 2546. **การวิเคราะห์โดยเครื่องมือโครมาโตกราฟี**. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

จุฑารัตน์. 2554. **การประเมินความเสี่ยงความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพมนุษย์**. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2557). Available: http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/74

ฉัตรา พจนานุวัตร, ทวีวัตร สีผักแว่น และบุษบา ยะอนันต์. 2551. **การวิเคราะห์ปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอเอช) ที่ปนเปื้อนในดินบริเวณที่มีการเผาหญ้าในที่โล่งแจ้งโดยใช้เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์วิเคราะห์ในรูปของแข็ง**. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดวงกมล อมรศักดิ์โสภณ. 2554. **Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)**. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2557). Available: https://www.gpo.or.th/rdi/html/gc.html

ตุลาธร โอภากุลวงษ์, ภาณุพงศ์ ทองประสิทธิ์ และวัลลี คำพาที. 2551. **การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอนุภาคต่างๆที่เกิดจากการเผากระดาษเงินกระดาษทอง**. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2551. **เทคนิคการแยก**. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. 2534. **เทคนิคการแยกสารโดยวิธีโครมาโทกราฟี**. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช. **การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ**. นนทบุรี : ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2547.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. 2557. **การสกัดด้วยตัวทำละลาย**. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2557). Available: www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter8.pdf

มหาวิทยาลัยราชภัฏราชอุดรธานี. 2556. **การสุ่มตัวอย่าง**. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2557). Available: http://www.udru.ac.th/website/attachments/elearning/01/07.pdf

แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2534. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพ: ชวนพิมพ์.

สวรรค์ ภูธิวุฒิ. 2552. **การกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลในที่โล่ง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สิรวิชญ์ เดชธรรม. 2554. **ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ**. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2557). Available: http://www.summacheeva.org/index_article_risk_assessment.htm

สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. 2552. **สารเบนโซเอไพรีนในอาหาร**. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2557). Available: http://www.moph.go.th/ops/iprg/include/admin_hotnew/show_hotnew.php?idHot_new=51228

Afsaneh F., Jinap S., Faridah A. and Zaidul I.S. 2010. **Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat**. Food Control, 21(2010), 606–610. dio: 10.1016/j.foodcont.2009.09.002

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. **Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Service, Public Health Service. [Online]. (Access 1 September 2014). Available: http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf

Access to European Union law (EUR – Lex). 2005. **Commission Regulation (EC) No 208/2005 of 4 February 2005: amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards polycyclic aromatic hydrocarbons.** Official Journal of the European Union. [Online]. (Access 8 October 2014). Available: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:034:0003:0005:EN:PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baek S.O., Field R.A. and Goldstone M.E. 1991. **A Review of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources Fate and Behavior**. Water, Air and Soil Pollution, 60, 279-300.

Behymer T. and Hites R. 1988. **Photolysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Adsorbed on Fly Ash**. Environmental Science and Technology, 22, 1311-1319.

Bellah O. P., Lesego C., Mmualefe and Nellah T. n.d. **Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fish eith Agilent Bond Elut QuEChERS AOAC Kit and HPLC-FD**. [Online]. (Access 15 October2014).
Available: http://www.chem.agilent.com/Library/applications/5990-5441EN.pdf

Blanton R.H., Myers M.J. and Bick P.H. 1988. **Modulation of immunocompetent cell populations by benzo[a]pyrene**. Toxicol Appl Pharmacol, 93, 267-274.

Budzinski H., Bellocq J., Pierard C. and Garriques P. 1997. **Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary**. Mar Chem, 58, 85-97.

Butler J.D. and Crossley P. 1981. **Reactivity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Adsorbed on Soot Particles**. Atmospheric Environment, 15, 91-94.

Chemistry Resources. n.d. **Acid and Base Catalyzed Esterification.** [Online]. (Access 15 October 2014). Available: http://www.chemtopics.com/aplab/ester.pdf

Chetwittayachan T., Shimazaki D. and Yamamoto K. 2002. **A Comparison of Temporal Variation of Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (pPAHs) Concentration in Different Urban Environments: Tokyo, Japan and Bangkok, Thailand.** Atmospheric Environment, 36, 2027-2037.

Cottini G.B. and Mazzone G.B. 1939. **The effects of 3, 4-benzopyrene on human skin**. Am J Cancer, 37, 186 – 195.

DiGiovanni J., Rymer J. and Slaga T.J. 1982. **Anticarcinogenic and cocarcinogenic effects of benzo[a]pyrene and dibenz[a,c]anthracene on skin tumor initiation by polycyclic hydrocarbons**. Carcinogenesis, 3, 371-375.

Eglinton, G., and Murphy M.T.J. 1969. **Organic Geochemistry**. Springer-Verlag Berlin

Farhadian A., Jinap S., A. Faridah. and I.S.M. Zaidul. 2012. **Effects of marinating on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene and fluoranthene) in grilled beef meat**. Food Control, 28(2012), 420 – 425. dio: 10.1016/j.foodcont.2012.04.034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gilbert M.M. 1991. **INTROBUCTION TO ENGINEERING AND SCIENCE**. n.d. United States of America. Prentice – Hall

Grariviat, H. 1999. **A Study on air Pollution by Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok Urban Atmosphere**. Doctoral dissertation. School of Environment, Resource and Development. Asian Institute of Technology.

Holloway M.P., Bigalow M.C., McCoy E.C., Anders M., Rosenkranz H.S. and Howard P.C. 1987. **Photochemical Instability of 1-nitropyrene, 3-nitrofluoranthene, 1,8-dinitropyrene and their Parent Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. Mutation Research, 187, 199-207.

Howard P.H., Boethling R.S., Jarvis W.F., Meylan W.M and Michaelenko E. M.1991. **Handbook of Environmental Degradation Rate. Blackie academic and professional**, London. 400-409.

IARC. 1983. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Human. 32: **Polynuclear Aromatic hydrocarbons**, Part 1: Chemical, Environmental and Experimental Data. IARC, Lyon. France.

Jahurul M.H.A., Jinap S., Zaidul I.S.M., Farhadian A. and Hajeb P. 2013. **Determination of fluoranthene, benzo[b]fluoranthene and benzo[a]pyrene in meat and fish products and their intake by Malaysian**. Food Bioscience, 1(2013), 73-80. dio: 10.1016/j.fbio.2013.03.006

Kamens R.M., Fulcher J.N. and Zhishi G. 1986. **Effect of Temperature on Wood Soot: PAHs Decay in Atmospheres with Sunlight and Low NO_x**. Atmospheric Environment, 20, 1579-1587.

Kamens R.M., Guo Z., James N.F. and Bell D.A. 1988. **The Influence of Humidity, Sunlight and Temperature on the daytime Decay of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Soot Particle**. Environmental Science and Technology, 22, 103-108.

Kamens R.M., Karam H., Guo J., Perry J. and Stockburgerg L. 1989. **The Behavior of Oxygenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Soot Particle**. Environmental Science and Technology, 32, 1237-1243.

Keshtkar H. and Ashbaugh L.L. 2007. **Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons particulate emission factors from agricultural burning.** Atmospheric Environment, 41, 2729-2739.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kochevar I.E., Armstrong R.B., Einbinder J., Walther R.R. and Harber L.C. 1982. **Coal tar phototoxicity: Active compounds and action spectra**. Photochem Photobiol, 36, 65-69.

Lau H.H. and Baird W.M. 1992. **The co-carcinogen benzo[e]pyrene increases the binding of a low dose of the carcinogen benzo[a]pyrene to DNA in Sencar mouse epidermis**. Cancer Lett (Ireland) 63, 229 - 236.

Lindskog A. 1983. **Transformation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Sampling**. Environmental Health Perspectives, 47, 81-84.

Mabey, W.R., Smith, J.H. and Podoll, R.T. 1982. **Aquatic fate process data for organic priority pollutants**. Washington, D.C: US Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Stanards. EPA 440/4-81-014.

Mackenzie K.M. and Angevine D.M. 1981. **Infertility in mice exposed in utero to benzo[a]pyrene**. Biol Reprod, 24, 183-191.

Mc Donald D.P. 1991. **Waters Sep-Pak Cartridge Applications Bibliography** 5th ed. Waters, Division of Millipore, Milford MA.

Mojtaba M., Reza A., Mohamad E.G., Masud Y. and Noushin R. 2013. Magnetic solid-phase extraction based on magnetic multi-walled carbon nanotubes for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat samples. Talanta, 115(2013), 957-965. doi: org/10.1016/j.talanta.2013.07.005

Nikolaou K., Masclet P. and Mouvier G. 1984. **Sources and Chemical Reactivity of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere – A Critical Review**. The Science of the Total Environment, 32, 103-132.

Olatunde S.O., Olalekan S.F., Beatrice O.O. and Bhekumusa J.X. 2014. **Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in processed meat products using gas chromatography – Flame ionization detector**. Food Chemistry, 156(2014), 296–300. dio: 10.1016/j.foodchem.2014.01.120

Panther B.C., Hooper M.A. and Tapper N.J. 1999. **A Comparison of Air Particulate Matter and Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Some Tropical and Temperate Urban Environments**. Atmospheric Environment, 33, 4087-4099.

Pankow J.F. 1991. **Common y-intercept and single Compound Regressions of Gas- Partical Partitioning Data VS 1/T**. Atmospheric Environment, 25, 2229-2239.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Restek. n.d. **Polynuclear Aromatic Hydrocarbons US EPA Method 610 on Rtx-5**. [Online]. (Access 5 July 2014). Available: http://www.restek.com/chromatogram/view/GC_EV00376

Restek. n.d. **Polynuclear Aromatic Hydrocarbons US EPA Method 610 on Rtx-5**. [Online]. (Access 5 July 2014). Available: http://www.restek.com/chromatogram/view/GC_EV00043

Rice J.E., Hosted T.J., DeFloria M.C., La Voie E.J., Fischer D.L., and Wiley J.C. 1986. **Tumor-initiating activity of major in-vivo metabolites of indeno[1,2,3-cd]pyrene on mouse skin**. Carcinogenesis 7, 1761 - 1764.

Rice knowledge Bank. 2012. Pesticide Safety and Knapsack Sprayer Use. [Online]. (Access 1 September 2014). Available: http://www.knowledgebank.irri.org/ipm/personal-protection.html

Singha B.K. and Chignell C.F. 1993. **Binding of anthracene to cellular macromolecules in the presence of light**. Photochem Photobiol, 37, 33-37.

Topping D.C., Pal B.C., Martin D.H., Nelson F.R. and Nettesheim P. 1978. **Pathologic changes induced in respiratory tract mucosa by polycyclic hydrocarbons of differing carcinogenic activity**. Am J Cancer, 93, 311-324.

Torronen R., Nousiainen U. and Hanninen O. 1981. **Induction of aldehyde dehydrogenase by polycyclic aromatic hydrocarbons in rats**. Chem Biol Interact, 36, 33-34.

U.S.DHHS. 1995. **Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. US. Department of Health and Human Service.

U.S.EPA. 1986. **Method 8310 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. [Online]. (Access 3 August 2014). Available: http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8310.pdf

U.S.EPA. 1989c. **Mouse Oral Subchronic Toxicity Study with Acenaphthene**. Washington DC., US 89 pp.

U.S.EPA. 1998. **Toxicological Review of Naphthalene**. (CAS No. 91-20-3). [Online]. (Access 1 September 2014). Available: http://www.epa.gov/iris.

Van Duuren B.L., Langseth L. and Goldschmidt B.M. 1967. **Carcinogenicity of epoxides, lactones and peroxy compounds: VI**. Structure and carcinogenic activity. J Natl Cancer Inst, 39, 1217-1227.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Venkataraman C., Thomas S. and Kulkarmi P. 1999. **Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Gas-particle Partitioning to Urban Aerosols**. Journal of Aerosol Science, 30, 759-770.

Yamasaki H., Kuwata K. and Miyamoto H. 1982. **Effect of ambient temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons**. Environment Science and Technology, 16(4), 84-89.

Yong-Hong C., En-Qin X., Xiang-Rong X., Sha L., Wen-Hua L., Shan W., Gui-Fang D., Zhi-Fei Z., Jing Z and Hua-Bin L. 2012. **Evaluation of Benzo[a]pyrene in Food from China by High-Performance Liquid Chromatography-Fluorescence Detection Environmental Research and Public Health**, 9 (2012), 4159-4169 dio: 10.3390/ijerph9114159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. การคำนวณและการเตรียมสารมาตรฐานสำหรับฉีด GC – FID

1. จากสารมาตรฐาน 102 ng/µL

$$\frac{102\ ng}{1\ \mu L}\ x\ \frac{1\ \mu g}{10^3\ ng}\ x\ \frac{10^6\ \mu L}{1\ L} = 102 \text{ x } 10^3 \text{ µg/L หรือ } 102{,}000 \text{ µg/L}$$

ตาราง ก-1 การเตรียม B(a)P สำหรับกราฟมาตรฐาน

เตรียมจากสารละลาย B(a)P เข้มข้น (µg/L)	B(a)P ที่ต้องการ (µg/L)	B(a)P ที่ใช้ (µL)	n – Hexane ที่ใช้	ปริมาตรสุทธิ (µL)
102,000	10,000	98.04	901.96	1,000
10,000	1,000	200	1,800.00	2,000
1,000	50	25	450	500
1,000	100	50	450	500
1,000	150	75	425	500
1,000	200	100	400	500
1,000	250	125	375	500
1,000	300	150	350	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณและการเตรียมสารมาตรฐานสำหรับฉีด GC – MS

1. จากสารมาตรฐาน 102 ng/µL

$$\frac{102\ ng}{1\ \mu L}\ x\ \frac{1\ \mu g}{10^3\ ng}\ x\ \frac{10^6\ \mu L}{1\ L} = 102 \times 10^3\ \mu g/L \text{ หรือ } 102{,}000\ \mu g/L$$

ตาราง ก-2 การเตรียม B(a)P สำหรับกราฟมาตรฐาน

เตรียมจากสารละลาย B(a)P เข้มข้น (µg/L)	B(a)P ที่ต้องการ (µg/L)	B(a)P ที่ใช้ (µL)	n – Hexane ที่ใช้	ปริมาตรสุทธิ (µL)
102,000	10,000	98.04	901.96	1,000
10,000	1,000	200	1,800.00	2,000
1,000	45	450	550	1,000
1,000	100	200	1,800	2,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากการวิเคราะห์

1. ข้อมูลจากการฉีด Gas Chromatography

1.1 ข้อมูลจากการฉีด GC – FID

ตารางที่ ข-1 พื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานเบนโซ(เอ)ไพรีน ที่ช่วงความเข้มข้น 0 - 300 µg/L

ความเข้มข้น (µg/L)	Retention time	Peak area
0	-	0
50	25.654	n.d.
100		94
150		100
200		127
250		166
300		175

ตารางที่ ข-2 พื้นที่ใต้พีคของเบนโซ(เอ)ไพรีน จากตัวอย่างหมูปิ้ง

Sample	Retention time	Peak area
Blank	-	0
Sample 1	25.654	n.d.
Sample 2		n.d.
Sample 3		n.d.

n.d. = not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ข้อมูลจากการฉีด GC – MS

ตารางที่ ข-3 พื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานเบนโซ(เอ)ไพรีน ที่ช่วงความเข้มข้น 0 - 100 µg/L

ความเข้มข้น (µg/L)	Retention time	Peak area
0	-	0
10	41.16	2257
45		5048
100		9330

ตารางที่ ข-4 พื้นที่ใต้พีคของเบนโซ(เอ)ไพรีน จากตัวอย่างหมูปิ้ง

Sample	**Retention time**	**Peak area**
Blank	-	0
Sample 1	25.654	16855
Sample 2		10638
Sample 3		50927

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

1. การหาความเข้มข้นของ B(a)P ในตัวอย่าง

1.1. การหาความเข้มข้นของ B(a)P ในตัวอย่างหมูปิ้ง (GC – MS)

จากกราฟมาตรฐาน $y = 87.947x + 750.82$, $R^2 = 0.9769$ ..... (ค.1)

Sample 1 Peak area (y) = 16855

แทนค่า y ลงในสมการ ค.1 $16855 = 87.947x + 750.82$

$x = (16855 - 750.82)/87.947$

$x = 183.11$ µg/L

สารละลาย 1,000 mL มี B(a)P = 183.11 µg

สารละลายที่สกัดได้ 2 mL มี B(a)P $= \frac{183.11 \times 2}{1,000}$

$= 0.3662$ µg

น้ำหนักหมู 30.01 g มีปริมาณของ B(a)P = 0.3662 µg

น้ำหนักหมู 1 g มีความเข้มข้นของ B(a)P $= \frac{1 \times 0.3662}{30.01}$ µg

$= 0.0122$ µg/g

$= 12.20$ µg/kg

ดังนั้น ปริมาณ B(a)P ที่สกัดได้เท่ากับ 0.3662 µg

ความเข้มข้น B(a)P ในหมูปิ้ง เท่ากับ 12.20 µg/kg

Sample 2 Peak area (y) = 10638

แทนค่า y ลงในสมการ (ค.1) คำนวณเช่นเดียวกับ Sample 1

จะได้ ปริมาณ B(a)P ที่สกัดได้เท่ากับ 0.2248 µg

และ ความเข้มข้น B(a)P ในหมูปิ้ง เท่ากับ 7.50 µg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ

2.1. การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับจากการวิเคราะห์ด้วย GC – FID

จากการทดลองใช้สารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น1,000 µg/Lจำนวน600 µLลงในหมูปิ้ง 10 g

สารละลาย 1,000,000 µL มี B(a)P 1,000 µg

สารละลาย 600 µL มี B(a)P $\frac{600\times1,000}{1,000,000}$ = 0.6 µg

น้ำหนักหมู 10 g เติม B(a)P = 0.6 µg

น้ำหนักหมู 1 g มีความเข้มข้นของ B(a)P = $\frac{1\times0.6}{10}$ µg

= 0.06 µg/g

= 60 µg/kg

ดังนั้น ปริมาณ B(a)P ที่เติมลงในหมูปิ้ง เท่ากับ 0.6 µg

ความเข้มข้น B(a)P ที่เติมลงในหมูปิ้ง เท่ากับ 60 µg/kg

จากกราฟมาตรฐานของเบนโซ(เอ)ไพรีน (บทที่ 4 รูปที่ 4.5)
สามารถหาสมการเส้นตรงได้ $y = 0.5737x + 14.714$, $R^2 = 0.955$ นำพื้นที่ใต้พีคของหมูปิ้งที่เติมสารละลายมาตรฐานเบนโซ(เอ)ไพรีน 1,000 µg/L จำนาน 600 µL ซึ่งมีค่า 241 ไปแทนในสมการจะได้

$241 = 0.5737x + 14.714$

$x = (241 - 14.714)/0.5737$

$x = 394.43$ µg/L

สารละลาย 1,000 mL มี B(a)P = 394.43 µg

สารละลายที่สกัดได้ 2 mL มี B(a)P = $\frac{394.43\times2}{1,000}$

= 0.78 µg

น้ำหนักหมู 10 g มีปริมาณของ B(a)P = 0.78 µg

น้ำหนักหมู 1 g มีความเข้มข้นของ B(a)P = $\frac{1\times0.78}{10}$ µg

= 0.078 µg/g

= 78 µg/kg

ดังนั้น ปริมาณ B(a)P ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.78 µg

ความเข้มข้น B(a)P ในหมูปิ้ง เท่ากับ 78 µg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานของเบนโซ(เอ)ไพรีน (บทที่ 4 รูปที่ 4.5)

สามารถหาสมการเส้นตรงได้ $y = 0.5737x + 14.714$, $R^2 = 0.955$ นำพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างหมูปิ้งแทนลงในสมการ พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง เครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้ เพราะฉะนั้น B(a)P ที่สกัดได้ใกล้เคียง 0 µg

จึงสามารถหาเปอร์เซ็นต์การกลับคืนได้จาก

ปริมาณ B(a)P ที่เติมลงหมูปิ้ง (Spike) = 0.6 µg

ปริมาณ B(a)P ที่สกัดได้ (Sample) = 0 µg

ปริมาณ B(a)P ที่วัดได้ = 0.78 µg

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกลับคืน} = \left(\frac{B(a)P_{\text{ที่วัดได้}} - B(a)P_{sample}}{B(a)P_{spike}}\right) \times 100$$

$$= \left(\frac{0.78 - 0}{0.6}\right) \times 100$$

$$= 130$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การคืนกลับของเบนโซ(เอ)ไพรีน เท่ากับ 130 เปอร์เซ็นต์

2.2. การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับจากการวิเคราะห์ด้วย GC – MS

จากการทดลองใช้สารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1,000 µg/L จำนาน 90 µL ลงในหมูปิ้ง 30.00 g

สารละลาย 1,000,000 µL มี B(a)P 1,000 µg

สารละลาย 90 µL มี B(a)P $\frac{90 \times 1{,}000}{1{,}000{,}000}$ = 0.09 µg

น้ำหนักหมู 30.00 g มีปริมาณของ B(a)P = 0.09 µg

น้ำหนักหมู 1 g มีความเข้มข้นของ B(a)P = $\frac{1 \times 0.09}{30.00}$ µg

= 0.003 µg/g

= 3 µg/kg

ดังนั้น ปริมาณ B(a)P ที่เติมลงในหมูปิ้ง เท่ากับ 0.09 µg

ความเข้มข้น B(a)P ในหมูปิ้ง เท่ากับ 3 µg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานของเบนโซ(เอ)ไพรีน (บทที่ 4 รูปที่ 4.7)

สามารถหาสมการเส้นตรง (ค.1) ได้ $y = 87.947x + 750.82$, $R^2 = 0.9769$ นำพื้นที่ใต้พีคของหมูปิ้งที่เติมสารละลายมาตรฐานเบนโซ(เอ)ไพรีน 1,000 µg/L จำนวน 90 µL ซึ่งมีค่า 54988 ไปแทนในสมการ (ค.1) จะได้

$$54988 = 87.947x + 750.82$$

$$x = (54988 - 750.82)/87.947$$

$$x = 616.70 \text{ µg/L}$$

สารละลาย 1,000 mL มี B(a)P = 616.70 µg

สารละลายที่สกัดได้ 2 mL มี B(a)P $= \frac{616.70 \times 2}{1,000}$

$= 1.233$ µg

น้ำหนักหมู 30.00 g มีปริมาณของ B(a)P = 1.233 µg

น้ำหนักหมู 1 g มีความเข้มข้นของ B(a)P $= \frac{1 \times 1.233}{30.00}$ µg

$= 0.0411$ µg/g

$= 41.11$ µg/kg

ดังนั้น ปริมาณ B(a)P ที่สกัดได้ เท่ากับ 1.233 µg

ความเข้มข้น B(a)P ในหมูปิ้ง เท่ากับ 41.11 µg/kg

จากการคำนวณข้อ 1 ปริมาณ B(a)P ที่สกัดได้จากตัวอย่าง เท่ากับ 1.1411 µg

ความเข้มข้น B(a)P ในหมูปิ้ง เท่ากับ 38 µg/kg

จึงสามารถหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับได้จาก

ปริมาณ B(a)P ที่เติมลงหมูปิ้ง (Spike) = 0.09 µg

ปริมาณ B(a)P ที่สกัดได้ (Sample) = 1.1411 µg

ปริมาณ B(a)P ที่วัดได้ = 1.233 µg

เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ $= \left(\frac{B(a)P_{\text{ที่วัดได้}} - B(a)P_{sample}}{B(a)P_{spike}}\right) \times 100$

$= \left(\frac{1.233 - 1.1411}{0.09}\right) \times 100$

$= 102.22$ %

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การคืนกลับของเบนโซ(เอ)ไพรีน เท่ากับ 102.22 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสาร Benzo(a)pyrene

1. ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคหมูปิ้ง

วัตถุประสงค์ แบบสอบถามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการรับประทานอาหาร ของผู้บริโภคหมูปิ้ง บริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อนำข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการป้องกันปัญหาสุขภาพอนามัยของผู้ที่มีความเสี่ยงจากการบริโภคหมูปิ้ง

คำชี้แจง แบบสอบถามนี้มี 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความรู้และพฤติกรรมการบริโภคอาหาร

การตอบแบบสอบถามนี้จะไม่มีผลกระทบต่อท่านแต่อย่างใด เป็นการสอบถามเพื่อประกอบการศึกษาโครงงานพิเศษของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตอนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงกับความเป็นจริงของผู้ถูกสัมภาษณ์

1. เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

2. ปัจจุบันท่านอายุ ☐☐ ปี

3. น้ำหนักปัจจุบัน ☐☐ กก.

สำหรับผู้วิจัย

sex	
age	
weight	
Food-1	

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความรู้และพฤติกรรม การบริโภคหมูปิ้ง

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือ เติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงกับความเป็นจริงของผู้ถูกสัมภาษณ์มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ในหนึ่งสัปดาห์ คุณรับประทานหมูปิ้งคิดเป็นปริมาณไม้/สัปดาห์อยู่ในข้อใด

☐ 1-4 ไม้/สัปดาห์ ☐ 5-8 ไม้/สัปดาห์

☐ 9-12 ไม้/สัปดาห์ ☐ 13-16 ไม้/สัปดาห์

☐ มากกว่า 17 ไม้

2. ความรู้และพฤติกรรมการบริโภคหมูปิ้ง

หมายเหตุ 5 = มากที่สุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = ไม่แน่ใจ/ไม่

ลำดับที่	รายการ	5	4	3	2	1
1	คุณเลือกรับประทานหมูปิ้งที่มีลักษณะไหม้เกรียม					
2	ทุกครั้งที่รับประทานหมูปิ้ง ท่านตัดส่วนที่ไหม้เกรียมทิ้ง					
3	ท่านชอบกินมันที่ติดกับเนื้อหมู					
4	สารพีเอเอช เป็นสารที่มีความเป็นพิษเรื้องรัง เมื่อได้รับอย่างต่อเนื่องอาจจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ท่านเชื่อข้อความนี้					
5	สารกลุ่มพีเอเอช เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ไฟป่า จุดธูป ปิ้งย่าง เป็นต้นท่านเชื่อข้อความนี้					
6	สารกลุ่มพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือ พีเอเอช เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งสามารถพบในหมูปิ้ง ท่านเชื่อข้อความนี้					

สำหรับผู้วิจัย	
Food-1	
Food-2	
Food-3	
Food-4	
Food-5	
Food-6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าท่านทราบว่าการบริโภคหมูปิ้ง มีความเสี่ยงที่จะได้รับสารกลุ่มพีเอเอช ท่านจะเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคหรือไม่เพราะอะไร

☐ บริโภคตามปกติ เพราะ .....
☐ บริโภคน้อยลง เพราะ .....
☐ ไม่บริโภค เพราะ .....

2. สรุปผลประเมิน

โครงงานพิเศษของนักศึกษาระดับปริญญาตรี
เรื่อง แบบสอบถามการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคหมูปิ้ง
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ ง-1 จำนวนร้อยละของผู้ตอบแบบประเมินจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน	ร้อยละ
ชาย	35	35.00
หญิง	65	65.00
รวม	**100**	**100.00**

ตารางที่ ง-2 จำนวนร้อยละของผู้ตอบแบบประเมินจำแนกตามพฤติกรรมการบริโภคหมูปิ้ง

การรับประทานหมูปิ้ง	จำนวน	ร้อยละ
1-4 ไม้/สัปดาห์	61	**61.00**
5-8 ไม้/สัปดาห์	26	26.00
9-12 ไม้/สัปดาห์	11	11.00
13-16 ไม้/สัปดาห์	2	2.00
มากกว่า 17 ไม้/สัปดาห์	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ความรู้และพฤติกรรมการบริโภคหมูปิ้ง

ความรู้และพฤติกรรม	ระดับความความรู้และพฤติกรรม					ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่แน่ใจ/ไม่		
คุณเลือกรับประทานหมูปิ้งที่มีลักษณะไหม้เกรียม	1 (1)	7 (7)	35 (35)	**47** **(47)**	10 (10)	**2.42**	**48.40**
ทุกครั้งที่รับประทานหมูปิ้ง ท่านตัดส่วนที่ไหม้เกรียมทิ้ง	**32** **(32)**	19 (19)	27 (27)	12 (12)	10 (10)	**3.51**	**70.20**
ท่านชอบกินมันที่ติดกับเนื้อหมู	16 (16)	20 (20)	22 (22)	**29** **(29)**	13 (13)	**2.97**	**59.40**
สารพีเอเอช เป็นสารที่มีความเป็นพิษเรื้องรัง เมื่อได้รับอย่างต่อเนื่องอาจจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ท่านเชื่อข้อความนี้	**38** **(38)**	22 (22)	18 (18)	6 (6)	6 (6)	**3.9**	**78.00**
สารกลุ่มพีเอเอช เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ไฟป่า จุดธูป ปิ้งย่าง เป็นต้นท่านเชื่อข้อความนี้	33 (33)	**41** **(41)**	16 (16)	4 (4)	6 (6)	**3.91**	**78.20**
สารกลุ่มพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งสามารถพบในหมูปิ้ง ท่านเชื่อข้อความนี้	**38** **(38)**	**38** **(38)**	17 (17)	2 (2)	5 (5)	**4.02**	**80.40**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4 จำนวนร้อยละของผู้ตอบแบบประเมินจำแนกตามการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคหมูปิ้ง

การบริโภค	จำนวน	ร้อยละ
บริโภคตามปกติ	26	26.00
บริโภคน้อยลง	66	**66.00**
ไม่บริโภค	8	8.00

3. การประเมินความเสี่ยง (Rick Assessment)

ตารางที่ ง-5 ข้อมูลความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง

สารเคมี	จำแนกประเภทสารก่อมะเร็ง	ค่าศักยภาพการเกิดมะเร็ง เมื่อได้รับทางปาก $(mg/kg/day)^{-1}$
อาร์เซนิก (As)	A	1.75
เบนซิน (C_6H_6)	A	2.9×10^{-2}
เบนโซ(เอ)ไพรีน	B_2	11.5
แคดเมียม (Cd)	B_1	-
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4)	B_2	0.13
คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$)	B_2	6.1×10^{-3}
โครเมียม (Cr^{6+})	A	-
ดีดีที	B_2	0.34
1,1 – Dichlorolthylene	C	0.58
Dieldrin	B_2	30

ที่มา: Gilbert (1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสาร Benzo(a)pyreneที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk)

สำหรับสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง สามารถทำการประเมินความเสี่ยง และคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Risk = CDI \times PF \quad \text{..... (จ.1)}$$

$$\text{เมื่อ } CDI = (C \times IR \times EF \times ET \times ED \times CF) / (BW \times AT)$$

ถ้า Risk มีค่าน้อยกว่า 1 x 10^{-6} สามารถยอมรับได้คือ ไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร

3.1 คำนวณความเสี่ยงในเพศชาย

3.1.1 ความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene จากค่าเฉลี่ย เท่ากับ 9.85 µg /kg

น้ำหนักเฉลี่ยจากชาย 35 คน	69	kg
ปริมาณที่บริโภคเฉลี่ยจากชาย 35 คน	7	ไม้/สัปดาห์
น้ำหนักหมูปิ้งเฉลี่ย	15.02	กรัม/ไม้
ปริมาณที่บริโภคหมูปิ้ง	$= \frac{7 \times 15.02\ g}{7d} \times \frac{1\ kg}{1000\ g}$	
	= 0.015 (kg/d)	
ค่าศักยภาพของ PF ทางปาก	11.5	$(mg/kg/d)^{-1}$
ความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ในหมูปิ้งที่กิน	9.85	µg /kg

$$CDI = \frac{(0.015\frac{kg}{d}) \times (9.85\frac{\mu g}{kg})}{69\ kg}$$

$$= 0.0021 \quad \mu g/kg/d$$

$$= 2.1 \times 10^{-6} \quad mg/kg/d$$

$$Risk = CDI \times PF$$

$$= 2.1 \times 10^{-6} \quad mg/kg/d \times 11.5\ (mg/kg/d)^{-1}$$

$$= 2.4 \times 10^{-5}$$

มีความเสี่ยงปานกลาง คือ 24 ใน 1,000,000 หรือ โอกาสเป็นมะเร็ง 24 ในล้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คำนวณความเสี่ยงในเพศหญิง

2.2.1 ความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene จากค่าเฉลี่ย เท่ากับ 9.85 µg /kg

น้ำหนักเฉลี่ยจากหญิง 65 คน	56.31	kg
ปริมาณที่บริโภคเฉลี่ยจากหญิง 65 คน	6	ไม้/สัปดาห์
น้ำหนักหมูปิ้งเฉลี่ย	15.02	กรัม/ไม้
ปริมาณที่บริโภคหมูปิ้ง	$= \frac{6 \times 15.02\ g}{7d} \times \frac{1\ kg}{1000\ g}$	
	= 0.013 (kg/d)	
ค่าศักยภาพของ PF ทางปาก	11.5	$(mg/kg/d)^{-1}$
ความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene ในหมูปิ้งที่กิน	9.85	µg /kg

$$CDI = \frac{(0.013\frac{kg}{d}) \times (9.85\frac{\mu g}{kg})}{56.31\ kg}$$

$$= 0.0023 \quad \mu g/kg/d$$

$$= 2.3 \times 10^{-6} \quad mg/kg/d$$

$$Risk = CDI \times PF$$

$$= 2.3 \times 10^{-6} \quad \mu g/kg/d \times 11.5\ (mg/kg/d)^{-1}$$

$$= 2.7 \times 10^{-5}$$

มีความเสี่ยงปานกลาง คือ 27 ใน 1,00,000 หรือ โอกาสเป็นมะเร็ง 27 ในล้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การสุ่มตัวอย่าง

1.การคำนวณการสุ่มตัวอย่าง

จากสูตร

$$n_h = \frac{N_h}{N} \times n \quad \text{..... (จ.1)}$$

เมื่อ n_h คือ จำนวนตัวอย่างที่เก็บ

N_h คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดในจุดเก็บแต่ละจุด

N คือ ผลรวมของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณ

บริเวณ A

ร้าน A1

ขายได้โดยประมาณ 400 ไม้/วัน

แทนค่าลงในสมการที่ (จ.1)

จะได้ $$n_h = \frac{400}{3,700} \times 30$$

$$= 3$$

ดังนั้น จำนวนที่สุ่มตัวอย่างเท่ากับ 3 ไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-1 อุณหภูมิของร้านหมูปิ้งแต่ละร้าน

บริเวณที่ขาย	ร้าน	อุณหภูมิที่วัดได้	อุณหภูมิเฉลี่ย
บริเวณ A	A1	124.5	138.2 ± 15.9
		134.3	
		155.7	
	A2	210.3	173.1 ± 33.7
		164.4	
		144.5	
	A3	135.8	134.5 ± 23.5
		110.3	
		157.3	
บริเวณ B	B1	177.9	175.5 ± 4.9
		178.9	
		169.8	
บริเวณ C	C1	183.5	174.4 ± 8.8
		165.9	
		173.7	
บริเวณ D	D1	174.3	163.8 ± 23.6
		180.3	
		136.7	
	D2	159.7	163.8 ± 4.1
		163.8	
		167.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้