

ศัภยภาพการก่อการกลายพันธุ์ของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากฝุ่นละออง  
ในเขตกรุงเทพมหานครในช่วงปี พ.ศ.2549-2552



นางสาวสุธาทิพย์ ไสยมาตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



MUTAGENICITY POTENTIAL OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS FROM  
PARTICULATE MATTER IN BANGKOK DURING 2006-2009

Miss Suthatip Saiyard

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ศักยภาพการก่อการกลายพันธุ์ของสารโพลีไซคลิก  
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากฝุ่นละอองในเขตกรุงเทพมหานคร  
ในช่วงปี พ.ศ.2549-2552

โดย

นางสาวสุภาทิพย์ ไสยาตร์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ ไชยิตานนท์


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

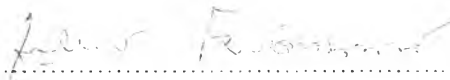
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

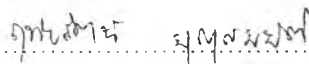
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

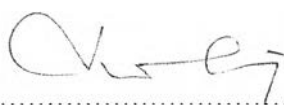
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็ชรประชา)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ ไชยิตานนท์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ บุญสมบัติ)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ชลาทิพย์ รัตสุข)

สุชาติพิทย์ ไสยชาติ : ศักยภาพการก่อการกลายพันธุ์ของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากฝุ่นละอองในเขตกรุงเทพมหานครในช่วงปี พ.ศ.2549-2552. (MUTAGENICITY POTENTIAL OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS FROM PARTICULATE MATTER IN BANGKOK DURING 2006-2009) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ไชยจิตานนท์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ.ดร.ศิริช พงษ์เพ็ญจันทร์, 131 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาศักยภาพการก่อการกลายพันธุ์ของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ( $PM_{10}$ ) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในเขตกรุงเทพมหานคร 4 สถานี บริเวณริมถนน 2 สถานี ได้แก่ สถานีการเคหะชุมชนดินแดง และสถานีการไฟฟ้าอโยธยาบุรี บริเวณชุมชน 2 สถานี ได้แก่ สถานีโรงเรียนบดินทรเดชา และสถานีการเคหะชุมชนคลองจั่น เก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{10}$  ในเดือนมีนาคม กรกฎาคม และพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2549-2552 นำตัวอย่างมาสกัดด้วย Soxhlet extraction apparatus โดยใช้ Dichloromethane เป็นตัวทำละลาย พบว่าความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{10}$  มีค่าระหว่าง 0.019-0.145 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และนำสารสกัดไปวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) โดยใช้โครมาโตกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบว่าปริมาณ PAHs ทั้งหมดในฝุ่นละอองมีค่าระหว่าง 111.5-2569.5 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่า PAHs ที่มีความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ที่มีปริมาณสูง ได้แก่ Dibenzo(a,h)anthracene และ Benzo(k)fluoranthene ซึ่งมีความสัมพันธ์กับดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ในระดับปานกลางจนถึงน้อย นำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบการก่อการกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames test โดยทดสอบกับเชื้อ *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98, TA100, DMST2069 และ ATCC13311 พบว่าสารสกัดตัวอย่างฝุ่นละอองของทุกสถานีไม่มีฤทธิ์ในการก่อการกลายพันธุ์ แต่ที่สถานีการเคหะชุมชนดินแดง มีความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{10}$  ความเข้มข้น PAHs และดัชนีการก่อการกลายพันธุ์สูงกว่าสถานีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  และการเปลี่ยนแปลงการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงปี พ.ศ.2549-2552 ไม่มีผลต่อปริมาณฝุ่น  $PM_{10}$  ปริมาณ PAHs และความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ของสาร PAHs ในแต่ละสถานี

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ นิสิต .....

ปีการศึกษา 2555 ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

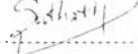
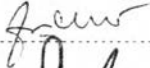
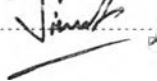
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

# # 5287290620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : MUTAGENICITY / POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS / PM10 / AMES TEST / BANGKOK

SUTHATIP SAIYARD: MUTAGENICITY POTENTIAL OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS FROM PARTICULATE MATTER IN BANGKOK DURING 2006-2009. ADVISOR: ASST. PROF. CHARNWIT KOSITANONT, Ph.D., CO- ADVISOR: ASSOC. PROF. SIWATT PONGPIACHAN, Ph.D., 131 pp.

The mutagenicity potential of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in particulate matter (PM<sub>10</sub>) from 4 air quality monitoring stations of the Pollution Control Department (2 roadside sites, including Dindang station and Thonburi Metropolitan Electricity Authority station and 2 community sites, including Bodindecha School station and Klongchan station) were studied. The PM<sub>10</sub> samples were collected in March, July and November during 2006-2009. The PAHs extraction from PM<sub>10</sub> samples were done by using Soxhlet apparatus with dichloromethane as the solvent. The PM<sub>10</sub> concentrations were in range of 0.019-0.145 mg/m<sup>3</sup>. All PM<sub>10</sub> samples were analyzed for PAHs using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The total PAHs concentrations were in range of 111.5-2569.5 ng/m<sup>3</sup>. Dibenzo(a,h)anthracene and Benzo(k)fluoranthene were dominants. But their mutagenicity index (MI) are moderate to low. Samples were tested for mutagenicity by Ames test using *Salmonella typhimurium* strains TA98, TA100, DMST2069 and ATCC13311. All samples showed no mutagenicity. At Dindang station PM<sub>10</sub> concentrations, total PAHs concentrations and mutagenicity index were significantly higher than other stations. Changing patterns of fuel consumption during 2006-2009 were not affecting to level of PM<sub>10</sub>, level of PAHs and mutagenicity of PAHs in each station.

Field of Study : Environmental Science .....	Student's Signature .....	
Academic Year : 2012 .....	Advisor's Signature .....	
	Co-advisor's Signature .....	

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดระยะเวลาระหว่างทำการวิจัย ตลอดจนช่วยปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมรองศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ฤทัยรัตน์ บุญสมบัติ และ ดร.ชลาทิพย์ รัตสุข คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ สำหรับความอนุเคราะห์ตัวอย่างแผ่นกรองอากาศ และข้อมูลเกี่ยวกับการเก็บตัวอย่างแผ่นกรองอากาศ

ขอกราบขอบพระคุณ หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และสถานที่ในการวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ห้องธุรการทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกจนผู้วิจัยดำเนินงานวิจัยสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ฝุ่นละออง.....	3
2.1.1 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง.....	3
2.1.2 ขนาดของฝุ่นละออง.....	4
2.1.3 สัณฐานของฝุ่นละออง.....	6
2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง.....	7
2.1.5 การแพร่กระจายของฝุ่นละออง.....	8
2.1.6 ผลกระทบของฝุ่นละออง.....	10
2.1.7 มาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	13
2.1.8 ฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร.....	15
2.2 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	16
2.2.1 แหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	17
2.2.2 คุณสมบัติของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	17
2.2.3 การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ.....	20

บทที่	หน้า
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในบรรยากาศ.....	22
2.2.5 ระดับความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ..	23
2.2.6 ความเป็นพิษของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	25
2.3 การทดสอบการก่อการกลายพันธุ์โดยวิธี Ames test.....	27
2.3.1 การกลายพันธุ์.....	27
2.3.2 ระดับการกลายพันธุ์.....	27
2.3.3 การเกิดการกลายพันธุ์.....	30
2.3.4 การทดสอบการก่อการกลายพันธุ์.....	35
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....	40
3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง.....	40
3.1.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง.....	42
3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง.....	42
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี.....	43
3.2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์.....	43
3.2.2 สารเคมี.....	44
3.2.3 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์.....	45
3.2.4 จุลินทรีย์.....	45
3.2.5 สารละลายมาตรฐาน.....	46
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	47
3.3.1 การสกัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากตัวอย่างฝุ่น PM <sub>10</sub> .....	47
3.3.2 การทดสอบความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ของสารโพลีไซคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากสารสกัดตัวอย่างฝุ่นละออง PM <sub>10</sub> โดยวิธี Ames test.....	49
3.3.3 การวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากสารสกัดตัวอย่าง ฝุ่นละออง PM <sub>10</sub> .....	51



บทที่	หน้า
3.3.4 การคำนวณความเข้มข้นสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	54
3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	55
4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM <sub>10</sub> ) บริเวณสถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศที่ทำการเก็บตัวอย่าง.....	55
4.2 การวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากสารสกัดตัวอย่าง ฝุ่นละออง.....	57
4.2.1 ความเข้มข้นรวมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	57
4.2.2 ความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่จัดเป็นสารก่อการ กลายพันธุ์.....	60
4.3 การทดสอบความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนจากสารสกัดตัวอย่างฝุ่นละอองโดยวิธี Ames test.....	66
4.3.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> เบื้องต้น.....	66
4.3.2 การตรวจสอบคุณสมบัติ Histidine requirement.....	68
4.3.3 การตรวจสอบคุณสมบัติ rfa mutation .....	71
4.3.4 การตรวจสอบคุณสมบัติ R-factor.....	73
4.3.5 การทดสอบการก่อการกลายพันธุ์ของสารสกัดฝุ่นละออง PM <sub>10</sub> โดยวิธี Ames test.....	75
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการก่อการกลายพันธุ์และความเข้มข้นของสารโพลี ไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	85
4.5 ผลของปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อศักยภาพในการก่อการกลายพันธุ์ของ สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	88
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
รายการอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	101
ภาคผนวก ก สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM <sub>10</sub> .....	102

ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลายสำหรับปฏิบัติการ.....	107
ภาคผนวก ค ลักษณะโคโลนีกลายพันธุ์ของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> และ จำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ของเชื้อจากการทดสอบ Ames test.....	111
ภาคผนวก ง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM <sub>10</sub> ) และสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs).....	118
ภาคผนวก จ ข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติ.....	124
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปี พ.ศ.2549-2552.....	129
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	131

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สัณฐานของอนุภาคฝุ่นละอองที่แขวนลอยในอากาศ.....	7
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....	8
2.3	มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย.....	14
2.4	สูตรโครงสร้างของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	18
2.5	ความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (ng/m <sup>3</sup> ) ใน บรรยากาศของประเทศต่างๆ.....	24
2.6	ความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (ng/m <sup>3</sup> ) ใน บรรยากาศของกรุงเทพมหานคร.....	25
2.7	กลุ่มของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนตามความสามารถในการ ก่อมะเร็ง.....	26
2.8	ลักษณะเฉพาะของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> ที่ใช้ทดสอบ Ames test.....	37
3.1	ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ.....	42
3.2	สภาวะการทำงานของเครื่อง HPLC ในการวิเคราะห์สาร PAHs.....	51
3.3	Retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด และ Internal Standard PAHs 2 ชนิด.....	53
4.1	ความเข้มข้นฝุ่น PM <sub>10</sub> จากสถานีต่างๆ.....	55
4.2	ความเข้มข้นของ PAHs จากสถานีต่างๆ.....	59
4.3	ระดับความรุนแรงของสาร PAHs ที่จัดเป็นสารก่อการกลายพันธุ์.....	60
4.4	ลักษณะโคโลนีของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ต่างๆ เมื่อทดสอบ บนอาหารเลี้ยงเชื้อ SS Agar.....	67
4.5	การเจริญเติบโตของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ต่างๆ เมื่อทดสอบ คุณสมบัติ histidine requirement.....	69
4.6	การเกิดบริเวณใสของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ต่างๆ เมื่อทดสอบ คุณสมบัติ rfa mutation.....	72

ตารางที่		หน้า
4.7	การเจริญเติบโตของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ต่างๆ เมื่อทดสอบคุณสมบัติ R-factor .....	74
4.8	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของดัชนีการก่อการกลายพันธุ์กับสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	85

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขนาดของอนุภาคฝุ่นละออง.....	6
2.2	การแพร่กระจายของฝุ่นละอองในอากาศ.....	9
2.3	ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดต่างๆต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์.....	13
2.4	ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (TSP) เฉลี่ย 1 ปี ในกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2549-2552.....	15
2.5	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) เฉลี่ย 1 ปี ในกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2549-2552.....	16
2.6	การเกิดทรานซิชัน (Transition) และทรานสเวอร์ชัน (Transversion).....	28
2.7	การเกิดการเคลื่อนของรหัสพันธุกรรม (Frameshift mutation).....	29
2.8	การเกิดปฏิกิริยาทวิโमेरिकชิฟท์ (tautomeric shift) ในโมเลกุลของเบสใน ดีเอ็นเอ.....	30
2.9	การจับคู่กันของเบสในดีเอ็นเอเปรียบเทียบแบบมาตรฐานและแบบผิดปกติ.....	31
2.10	การเกิดการกลายพันธุ์เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาทวิโमेरिकชิฟท์ในโมเลกุลของ กัวนีน.....	32
2.11	การจับคู่แบบผิดปกติของไทมีนและกัวนีนที่เกิดจากปฏิกิริยาการก่อให้เกิด ไอออน.....	33
3.1	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่าง 4 สถานีในเขตกรุงเทพมหานคร.....	40
3.2	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศริมเส้นทางจราจร.....	41
3.3	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตชุมชน.....	41
3.4	เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ PM <sub>10</sub> High Volume Air Sampler.....	43
3.5	ขั้นตอนการสกัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากตัวอย่าง แผ่นกรองอากาศ.....	48
3.6	เครื่องโครมาโตกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC).....	51
3.7	โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด และสาร Internal Standard 2 ชนิด.....	52

ภาพที่	หน้า
4.1	เข้มข้นฝุ่นละออง PM <sub>10</sub> เฉลี่ย 24 ชม. .... 56
4.2	ความเข้มข้นของ PAHs ทั้งหมดในฝุ่นละออง PM <sub>10</sub> ..... 58
4.3	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่จัดเป็น สารก่อการกลายพันธุ์ ที่สถานีการเคหะชุมชนดินแดง..... 62
4.4	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่จัดเป็น สารก่อการกลายพันธุ์ ที่สถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรี..... 63
4.5	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่จัดเป็น สารก่อการกลายพันธุ์ ที่สถานีโรงเรียนบดินทรเดชา..... 64
4.6	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่จัดเป็น สารก่อการกลายพันธุ์ ที่สถานีการเคหะชุมชนคลองจั่น..... 65
4.7	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ TA98..... 76
4.8	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ ATCC1331..... 77
4.9	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ TA100..... 78
4.10	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของเชื้อ <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ DMST2069..... 79
4.11	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของสถานีต่างๆ ที่ทดสอบด้วยเชื้อสายพันธุ์ TA98..... 82
4.12	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของสถานีต่างๆ ที่ทดสอบด้วยเชื้อสายพันธุ์ ATCC13311..... 82
4.13	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของสถานีต่างๆ ที่ทดสอบด้วยเชื้อสายพันธุ์ TA100..... 83
4.14	ค่าดัชนีการก่อการกลายพันธุ์ของสถานีต่างๆ ที่ทดสอบด้วยเชื้อสายพันธุ์ DMST2069..... 84
4.15	ปริมาณการใช้น้ำมันเบนซินและแก๊สโซฮอล์ ปี พ.ศ.2549-2552..... 89
4.16	ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล ปี พ.ศ.2549-2552..... 89

ภาพที่	หน้า
4.17 ปริมาณการใช้ก๊าซแอลพีจี ปี พ.ศ.2549-2552.....	90