

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
จากอนุภาคไอเสียรถยนต์ที่อยู่ในอากาศในกทม.

โดย

ผศ.ดร. จินตนา สายวรรณ

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

547.61
ฯ483ก

สนับสนุนโดย
งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2537
พฤศจิกายน 2541

รายงานฉบับสมบูรณ์



เรื่อง

การศึกษาโพธิ์ไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
จากอนุภาคไอเสียดยนต์ที่อยู่ในอากาศในกทม.

โดย

ผศ.ดร. จินตนา สายวรรณ

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2537

พฤศจิกายน 2541

กองส่งเสริม และ ประสานงานพิเศษ สุพำจ

มอบให้หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

17 / ก.พ. / 42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

547.61

๙ 483๓

บทคัดย่อ

การศึกษาสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนจากอนุภาคไอเสียรถยนต์ที่อยู่ในอากาศในกรุงเทพฯ โดยใช้เครื่องจีซี/เอ็มเอส ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคอากาศใช้กระดาษกรองไฟเบอร์กลาสนาน 24 ชั่วโมง โดยใช้ที่เก็บตัวอย่างปริมาตรสูงเก็บตัวอย่างย่านริมถนน 3 บริเวณ คือ ย่านประตูน้ำ เยาวราช บางยี่ขัน สำนักงานสถิติแห่งชาติ และย่านไกลถนนแห่งการจราจร คือภายในบริเวณสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ทำการสกัดตัวอย่างด้วยไซโคลเฮกเซน และทำการแยกสารโดยฉีดสารละลายตัวอย่างที่อุณหภูมิ 250 °ซ ปริมาณ 1 ไมโครลิตร เข้าสู่คอลัมน์พี-1 เอชที ยาว 30 เมตร ที่สภาวะการแยกใช้อัตราการพาของฮีเลียม 45 ซม. ต่อ วินาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 60 °ซ นาน 1 นาที เปลี่ยนเป็น 150 °ซ นาน 3 นาที ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20 °ซ ต่อ นาที เป็น 200 °ซ ด้วยอัตรา 8 °ซ ต่อ นาที นาน 3 นาที และที่ 310 °ซ ด้วยอัตรา 8 °ซ ต่อ นาที นาน 8 นาที อุณหภูมิของอินเจกเตอร์เฟสที่ 250 °ซ และแตกเป็นแฟร็กเมนต์ไอออนโดยใช้โหมคิเล็กตรอนนิมแพคด้วยพลังงาน +70 อิเล็กตรอนโวลต์ ผ่านเข้าตัววิเคราะห์มวลไอออนแบบคอจรูโพลครอบคุมช่วงมวล 50 - 400 เอเอ็ม ยู และบันทึกแมสสเปกตรัมของสาร พบสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน 13 สาร แต่สามารถหาปริมาณได้เพียง 3 ชนิด คือ พีแนนทรีน, ฟลูออแรนทีน และไพรีน ปริมาณรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนอยู่ในช่วง 1.14 ถึง 91.78 นาโนกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร และพบปริมาณเฉลี่ยของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน และความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศทั้งหมดบริเวณริมถนนมีค่าสูงกว่าบริเวณห่างไกลจากถนน นอกจากนี้ การกระจายตัวของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในอากาศมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปแบบของการปล่อยไอเสียของรถยนต์ ซึ่งอาจชี้ให้เห็นว่ามลพิษของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศของกรุงเทพฯ มีแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียของรถยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from particulate in the air in Bangkok were studied by using gas chromatograph and mass spectrometer (GC/MS). Total suspended air particulates were collected on glass fiber filters for 24 hours using a Hi-volume air sampler from three roadside areas (i.e. Bang Yeekhan, Pratunum, and Yaowaraj) and one off-road (Rajabhat Institute at Bansomdej campus). PAHs in the filters were extracted with cyclohexane and analyzed by GC/MS. One microliter of sample solution was injected into GC at 250°C injector temperature. The GC column (DB-1 HT, 30 m) was operated at 60°C for 1 min, ramped at 20°C min⁻¹ to 150°C for 3 min, 8°C min⁻¹ to 200°C for 3 min, and 8°C min⁻¹ to 310°C for 8 min. Helium carrier gas was operated at 45 cm min⁻¹. The effluent from GC was transferred to MS at 250°C and ionized by using electron impact mode (+70 eV). Mass spectra of PAHs were recorded cover a mass range of 50 - 400 amu. Thirteen PAHs were found, but three of them (i.e. phenanthrene, fluoranthene, and pyrene) were quantitatively determined in a range of 1.14 - 91.78 ng / m³ from the roadside areas and 5.95-16.15 ng/m³ from the off-road. Distribution of PAHs in the air particulate was similar to that of PAHs from vehicles exhaust and also amount of PAHs were correlated to the total suspended particulate concentrations. It indicated that heavy traffic influenced the amount of PAHs in the air particulate in Bangkok.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้มีอาจสำเร็จเสร็จสิ้นลงได้ถ้าปราศจากการทุ่มเทการทำงานทั้งการเก็บตัวอย่างนอกสถานที่และการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการของ นส. จิรฉัตร ตั้งสุวรรณ ผู้เขียนขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข สำหรับตัวอย่างอนุภาคอากาศเพื่อการทดลองเบื้องต้น กรมควบคุมมลพิษด้านการเก็บตัวอย่างอากาศ และกรมอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลอากาศ ผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญรูปภาพ.....	vi
สารบัญตาราง.....	viii
รายการตัวย่อ.....	ix
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของสารพี เอ เอช.....	4
2.2 สารพี เอ เอช ในบรรยากาศ.....	5
2.3 ความเป็นพิษของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน.....	10
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 เครื่องมือ.....	21
3.2 สารเคมี.....	24
3.3 การเก็บตัวอย่าง.....	25
3.4 การสกัดตัวอย่าง.....	26
3.5 การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเครื่อง จี ซี / เอ็ม เอส.....	27
3.6 การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	28
3.7 การคำนวณ.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล	
4.1 การวิเคราะห์สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน จาก อี พี เอ 610..	30
4.2 การวิเคราะห์สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่เกาะติดกับ อนุภาคในอากาศ.....	32
4.3 คุณลักษณะของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่พบใน อนุภาคในอากาศ.....	38

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.4	อิทธิพลของความหนาแน่นของการจราจรที่มีผลต่อปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ.....	39
4.5	อิทธิพลของปริมาณอนุภาคในอากาศทั้งหมด(TSP) ที่มีผลต่อปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ.....	46
4.6	อิทธิพลของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ.....	50
บทที่ 5	สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	52
	การแนะนำเพื่อการศึกษาต่อไปในอนาคต.....	53
	เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก ก	ตัวอย่างการคำนวณปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศ.....	59
ภาคผนวก ข	โครมาโตแกรม และแมส สเปคตรัมของสารมาตรฐานพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน.....	61
ภาคผนวก ค	โครมาโตแกรมของตัวอย่างอากาศในบริเวณต่างๆ.....	80
ภาคผนวก ง	โครมาโตแกรม และแมส สเปคตรัมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่เกาะติดอยู่บนอนุภาคในอากาศ.....	85
ภาคผนวก จ	ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค จี ซี / เอ็ม เอส.....	103
ภาคผนวก ฉ	ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา.....	109
ภาคผนวก ช	กราฟมาตรฐานของสารพีแนนทรีน ฟลูออแรนทีน และไพรีน.....	115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2-1 แสดงสารคาร์ซิโนเจน ที่เป็นอนุพันธ์ของสารแอนทราซีน.....	12
2-2 แสดงการแปรสภาพของสารคาร์ซิโนเจนไปเป็นรูปอื่น.....	12
3-1 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก.....	22
3-2 ชุดสกัดสารด้วยตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน(เป็นเวลา 12 ชั่วโมง).....	23
3-3 แผนที่แสดงสถานที่ตั้งของสถานีเก็บตัวอย่างอากาศ.....	26
4-1 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศในบริเวณริมถนน(ถนนเยาวราช).....	33
4-2 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศในบริเวณที่ห่างจากถนน(ภายในสถาบัน ราชภัฏ วิทยาลัยครูบ้านสมเด็จ).....	34
4-3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพี เอ เอช บางตัว ที่เก็บได้จากทุกสถานี ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2539).....	36
4-4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(บางยี่ขัน) กับบริเวณที่ห่างไกลถนน(บ้านสมเด็จ).....	40
4-5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(ประตูน้ำ) กับบริเวณที่ไกลถนน(บ้านสมเด็จ).....	41
4-6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(เยาวราช) กับบริเวณที่ห่างจากถนน(บ้านสมเด็จ).....	42
4-7 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(สำนักงาน สถิติแห่งชาติ) กับบริเวณที่ห่างจากถนน(บ้านสมเด็จ).....	43
4-8 อิทธิพลของน้ำหนักรรทุกที่มีต่อความเข้มข้นของสารพี เอ เอช ที่ปล่อยออกมาจาก เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	45
4-9 ความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ที่สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ ในช่วงเวลาที่ทำการ ศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539).....	47
4-10 ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในบรรยากาศที่สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539).....	48
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	61
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง.....	85

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ภาคผนวก ซ.....	115



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารเบนโซ[เอ]ไพรีน(นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.) ในเมืองต่างๆ.....	7
2-2 การวิเคราะห์สารพี เอ เอช ในตัวอย่างที่เก็บจาก Kenmore Square ในมลรัฐแมสซาชูเซต.....	8
4-1 แสดงค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(ในสารละลายมาตรฐาน อี พี เอ 610) ที่เครื่องจี ซี / เอ็ม เอส สามารถทำการวิเคราะห์ได้..	31
4-2 แสดงค่าระดับความน่าเชื่อถือจากการทำที่-เทสแบบอิสระ(t-test, independent) ของค่าความเข้มข้นรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	44
4-3 แสดงปริมาณยานยนต์ต่อวันที่แล่นผ่านสถานีเก็บตัวอย่างอากาศ และปริมาณรวมของสารพอลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในแต่ละบริเวณ.....	46
4-4 แสดงค่าสถิติความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และปริมาณอนุภาคในอากาศ.....	49
4-5 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช กับค่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา.....	51
ภาคผนวก จ	103
ภาคผนวก ฉ	109

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รายการตัวย่อ

°ซ	องศาเซลเซียส
%	เปอร์เซ็นต์
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
มก.	มิลลิกรัม
ซม.	เซนติเมตร
จี ซี	แกสโครมาโตกราฟ
แอล ซี	ลิควิดโครมาโตกราฟ
เอช พี แอล ซี	ไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิดโครมาโทกราฟ
ft	ฟุต
min	นาที
hr	ชั่วโมง
m	เมตร
g	กรัม
μ	ไมโคร
ng/m ³	นาโนกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เอ็ม เอส	แมส สเปคโตรมิเตอร์
พี เอ เอช	สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เมืองใหญ่ๆ ของประเทศต่างๆ มักจะเป็นแหล่งรวมของธุรกิจการค้า สำนักงานและองค์กรต่างๆ ที่หนาแน่นไปด้วยผู้คนและการจราจร มีการสัญจรฝักใฝ่ไปมาตลอดเวลา ปัญหาที่เมืองเหล่านั้นประสบคือ การจราจรติดขัด มีการเคลื่อนตัวของยานพาหนะไปได้ช้า กรุงเทพฯก็เช่นกัน ประสบกับปัญหารถติดอย่างรุนแรง และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีรถยนต์จดทะเบียนในกรุงเทพฯไม่ต่ำกว่าสองล้านคัน และยังมีรายงานการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ในกรุงเทพฯเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกเดือน นอกจากนี้ยังมีการก่อสร้างอาคารสูงเป็นปริมาณมาก และการสร้างถนนใหม่ ตลอดจนการขยายผิวการจราจรที่มีอยู่เดิม ปัญหาที่เกิดจากการจราจรติดขัดคือ ความร้อนจากรถยนต์ และสารพิษจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินและดีเซล ทำให้มลภาวะในเขตกรุงเทพฯแยลงอย่างมาก นอกจากนี้ ดึกสูงสองข้างถนนยังเป็นตัวกั้นการเคลื่อนที่ของอากาศพัดพาอนุภาคไอเสีย และฝุ่นจากการก่อสร้างไม่ให้กระจายออก จึงมีการสะสมของอนุภาคในอากาศ และสภาพแวดล้อม บ้านเรือนที่ตั้งอยู่ริมถนน ตลอดจนต้นไม้ที่ปลูกอยู่ข้างถนนจะมีฝุ่นละอองและควันดำปกคลุม ผู้คนที่สัญจรไปมาสูดเอามลสารที่ลอยอยู่ในอากาศซึ่งอาจเป็นพิษที่ปนออกมากับไอเสียจากรถยนต์อย่างไม่มีทางหลีกเลี่ยง มลสารจากไอเสียเหล่านี้มีผลกระทบต่อสุขภาพของคนกรุงเทพฯโดยตรง ปัจจุบันคนที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพฯประสบกับปัญหาโรคภูมิแพ้ และโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอย่างมาก

หน่วยงานหลายหน่วยงานเช่น คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ทำการศึกษามลภาวะทางอากาศในกรุงเทพฯ พบว่า บริเวณที่มีการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศมากที่สุด เป็นบริเวณที่มีการจราจรคับคั่งเช่น ถนนเพชรบุรี มีฝุ่นควันสูงถึง 14 เท่าของค่าปริมาณฝุ่นสูงสุดที่กำหนดไว้เป็นค่ามาตรฐานที่จะยอมรับได้ ในบริเวณถนนพระรามที่ 4 และถนนเยาวราช มีปริมาณมลสารรองลงมา จากรายงานพบว่า ฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก ล่องลอยอยู่ในอากาศและตกลงมาสู่พื้นเกาะตามท้องถนน ต้นไม้ใบหญ้าข้างทาง ประมาณ 30-40 % มาจากไอเสียรถยนต์ โดยมีอัตราการตกประมาณ 2-3 ตันต่อ ตารางกิโลเมตร เคยมีการวิเคราะห์ฝุ่นเหล่านี้ พบว่ามีแบคทีเรียถึง 15 ชนิด ซึ่งเมื่อเข้าสู่ปอด สามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อในปอด

เกิดไซนัส และโรคทางเดินหายใจอื่นๆได้ นอกจากนี้ เมื่อสีปี้ที่แล้วได้มีการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในเลือดของตำรวจจราจร ได้พบปริมาณตะกั่วในเลือดสูงถึง 4 เท่าของตำรวจที่ทำงานในสถานี หรือคนปกติ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า ถ้าสารตะกั่วสะสมอยู่ในร่างกายมาก จะทำให้เกิดโรคตะกั่วเป็นพิษ นอกจากนี้ฝุ่นละอองและสารตะกั่วที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์แล้ว ยังมีก๊าซพิษอื่นๆ อีก คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน สารประกอบกำมะถัน และสารไฮโดรคาร์บอน

สารไฮโดรคาร์บอนที่พบอยู่ในบรรยากาศมีทั้งพวกที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์ และพวกที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยสารบางตัวมีรายงานว่า เป็นอันตรายต่อสุขภาพเช่น สารเบนซีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันแกสโซลีน ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในกระดูกและในเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้ สารไฮโดรคาร์บอนสามารถเกิดปฏิกิริยากับออกไซด์ของไนโตรเจนในบรรยากาศโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดก๊าซโอโซนที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของไนโตรเจน และความชื้นในอากาศ เกิดเป็นกรดไนตริกที่ทำลายคลอโรฟิลในพืช ส่งผลทำให้พืชเจริญเติบโตช้า และมีผลต่อพืชทางการเกษตร สารโอโซนที่เกิดขึ้นยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีผลระคายเคืองต่อหลอดลม และจมูก ทำให้หายใจขัดและปวดศีรษะด้วย

ความสำคัญของการศึกษาสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในไอเสียรถยนต์ดีเซลในประเทศสหรัฐอเมริกา เกิดขึ้นจากรายงานของ ยู เอส อี พี เอ (US Environmental Protection Agency, US EPA) ในปี ค.ศ. 1978 พบว่า รถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมีการปล่อยมลสารออกมาในไอเสียประมาณ 30-50 เท่าของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซินที่ติดอุปกรณ์กำจัดสารมลพิษในรถยนต์ที่เรียกว่า คะตาไลติกคอนเวอร์เตอร์(catalytic converter) นอกจากนี้องค์ประกอบของมลสารที่ออกมาก็แตกต่างกันมาก มลสารที่ปล่อยออกมาจากรถยนต์เบนซินส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และอาจมีกรดซัลฟูริกปนบ้าง ส่วนรถยนต์ดีเซลจะปล่อยไอเสียที่มีเขม่าคาร์บอน ซึ่งมีสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงดูดซับอยู่ที่ผิวหน้าของเขม่าคาร์บอนนั้น ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของน้ำมันที่ใช้ ชนิดของเครื่องยนต์ และจำนวนรอบของรถยนต์ที่ทำให้เกิดไอเสีย นั้น ยู เอส อี พี เอ ยังรายงานว่า มลสารที่ดูดซับที่ผิวหน้าของเขม่าคาร์บอนเป็นสารพวกพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน จึงทำให้มีการวิจัยเพื่อประเมินหาแนวโน้มความเสี่ยงที่มลสารจากไอเสียรถยนต์ดีเซลเหล่านี้จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพก่อนที่จะมีการเพิ่มปริมาณการใช้รถยนต์ดีเซลบนท้องถนน และ ยู เอส อี พี เอ ได้นำสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสกัดเขม่าไอเสียรถยนต์ดีเซลไปทดสอบตามวิธีของเอมส์ (Ames Test) เพื่อหาความเป็นไปได้ที่สารเหล่านี้จะก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ ผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าสารพอลิไซคลิกอะโร

แมดิกไฮโดรคาร์บอนบางตัว สามารถก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ แสดงว่าสารอินทรีย์ที่เกาะติดมากับเขม่าไอเสียรถยนต์ดีเซลอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้

1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนทั้งชนิด และปริมาณของสารที่อยู่ในอนุภาคอากาศที่เก็บในกรุงเทพฯ บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น และเปรียบเทียบผลกับบริเวณที่มีการจราจรเบาบาง และห่างจากถนน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน หรือเรียกอย่างย่อว่าสารพี เอ เอช (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) ประกอบด้วยคาร์บอน และไฮโดรเจนที่ประกอบกันเป็นอะโรแมติกเบนซีนหลายวงเชื่อมต่อกัน อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปได้เช่น พอลินิวเคลียร์อะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน หรือเรียกอย่างย่อว่าสารพี เอ็น เอ (Polynuclear aromatic hydrocarbon, PNA) โครงสร้างของสารพี เอ เอช บางตัวแสดงในรูปที่ 2-1 และ 2-2 โดยไฮโดรเจนในสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน อาจมีกลุ่มสารประกอบอื่นมาแทนที่ เช่น กลุ่มอัลคิล, อะมิโน, ไนโตร, ไฮยาโน, ไฮดร็อกซี, ออกโซ, หรือ ไทโอ เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจมี ไนโตรเจน, ออกซิเจน, และซัลเฟอร์ อยู่ในโครงสร้างของอะโรแมติก ในที่นี้จะเรียกสารประกอบเหล่านี้ว่า สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน หรือบางครั้งอาจเรียก สารพอลิไซคลิก ไฮโดรคาร์บอน หรือสารพี เอ เอช เป็นชื่อที่เรียกรวมๆ

2.1 คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของสารพี เอ เอช

สารพี เอ เอช ส่วนมากเป็นของแข็ง มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูง ไม่ละลายในน้ำ มีค่าความดันไอของสารอยู่ในช่วง 10^{-3} ทอร์ (สำหรับโครงสร้างที่มีอะโรแมติก 3 วง) ถึง 10^{-2} ทอร์ (สำหรับโครงสร้างที่มีอะโรแมติก 7 วง) ที่ 25°C และสามารถดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 200-400 นาโนเมตรได้

ในบรรยากาศ สารพี เอ เอช สามารถพบอยู่ในสถานะที่เป็นไอ หรืออาจพบเกาะติดอยู่กับอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยพวกที่พบอยู่ในสภาพที่เป็นไอเป็นพวกที่มีอะโรแมติก 2 หรือ 3 วง ส่วนพวกที่มีอะโรแมติก 4 และ 5 วง พบว่ามีการกระจายตัวอยู่ระหว่างเฟสที่เป็นอนุภาค และเฟสที่เป็นไอ ในกรณีของสารพี เอ เอช ที่มีอะโรแมติกตั้งแต่ 6 วงขึ้นไป มักพบเป็นอนุภาค โดยมีความเป็นไปได้ที่สารพวกนี้อาจควบแน่นเป็นของแข็ง และดูดซับอยู่ที่ผิวหน้าของอนุภาคอื่น ดังมีรายงานเช่น การศึกษาอากาศที่กรุง Antwerp ประเทศเบลเยียม ได้รายงานอัตราส่วนของสารพี เอ เอช ที่เป็นอนุภาคต่อที่เป็นก๊าซ มีค่า 0.03 สำหรับแอนทราซีน (anthracene), มีค่า 0.49 สำหรับ ไพรีน (pyrene), มีค่า 3.15 สำหรับ เบนโซ[เอ]แอนทราซีน (benzo[a]anthracene) และ ไครซีน (chrysene), มีค่า 11.5

สำหรับสารเบนโซ[เอ]ฟลูออแรนทีน(benzo[a]fluoranthene) และเบนโซ[บี]ฟลูออแรนทีน (benzo[b]fluoranthene) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าในช่วงอากาศร้อนของฤดูร้อน พบ สารพี เอ เอช ประมาณ 6-23% เกาะติดอยู่กับอนุภาคในอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และมีประมาณ 56 - 70 % เกาะติดกับอนุภาคในอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นถึง 3 ไมครอน โดยทั่วไปอนุภาคในอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็น เวลานาน 4-40 วันโดยไม่ตกลงสู่พื้น หรืออาจแขวนลอยอยู่นานน้อยกว่า 1 วัน ถ้าอนุภาคนั้นมี ขนาด 1-10 ไมครอน จากการที่อนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กจึงทำให้สามารถลอยเคลื่อนที่ไปได้ เป็นระยะทางไกลๆ รายงานทั้งหมดนี้ Beak และคณะ ได้สรุป และอ้างถึงผลการศึกษาของผู้อื่น ที่เกี่ยวข้องไว้ในรายงานของเขาด้วย

สารพี เอ เอช ขณะที่ล่องลอยและอยู่ในบรรยากาศอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เมื่อถูกแสง และ/หรือเกิดปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ ทำให้มีผลต่อช่วงเวลาการแขวนลอยใน อากาศที่อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยอนุภาคขนาดเล็กสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ เร็วกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ นอกจากนี้ สารพี เอ เอช อาจแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจนเนท-พี เอ เอช (oxygenated PAHs), คีโตน-พี เอ เอช (ketone PAHs), ไนโตร- พี เอ เอช (NO₂ PAHs), และ เอซาอารีน-พี เอ เอช (aza-arenes PAHs)

2.2 สารพี เอ เอช ในบรรยากาศ

อนุภาคของสารที่อยู่ในอากาศเป็นของผสมระหว่างของแข็ง และของเหลวที่มีความ สลัปซึบซัน โดยมีส่วนพี เอ เอช ปะปนอยู่ด้วย ซึ่งแหล่งกำเนิดของสารนี้มีหลายแหล่งเช่น จากการเผาไหม้ของฟอสซิล น้ำมันเชื้อเพลิง ไอเสียรถยนต์ และของเสียที่ปล่อยออกมาจาก อุตสาหกรรม สารพี เอ เอช สามารถกระจายไปทั่วทุกแห่งในบรรยากาศ และยังมีแนวโน้มที่จะ เป็นตัวก่อให้เกิดโรคมะเร็งด้วย ในอดีตการวัดหาความเป็นสารก่อมะเร็งยังทำได้ยาก จึงได้ใช้ สารเบนโซ[เอ]ไพรีน(benzo[a]pyrene;BaP) เป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณรวมของสารพี เอ เอช ใน สภาวะแวดล้อม โดยปริมาณความเข้มข้นของ สารเบนโซ[เอ]ไพรีน ที่พบในสภาวะแวดล้อมก็มี ความแปรเปลี่ยนมาก (1- 100 ไมโครกรัม ต่อ 1000 ลบ.ม.) เช่น มีค่าสูงในฤดูหนาว แต่มีค่าต่ำ ลงในฤดูร้อน

ได้มีการศึกษาสกัดสารพี เอ เอช จากอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ สามารถแยกสาร แต่ละชนิดออกจากกันโดยใช้เครื่องจี ซี พบสารมากกว่า 130 ตัว และวิเคราะห์ชนิดของสารได้

56 ตัวโดยใช้เครื่อง เอ็ม เอส นอกจากนั้น มีบางรายงานแจ้งว่าความเข้มข้นของสารพี เอ เอช ในอากาศที่พบในเมืองมีค่ามากกว่าที่พบในแถบชนบทเช่น Pucknat ได้สรุปข้อมูลไว้ในปี 1981 รายงานความเข้มข้นของสารเบนโซ[เอ]ไพรีน จาก 120 เมืองในสหรัฐว่ามีค่า 0.2 - 19.3 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และในชนบทมีค่า 0.1 - 1.2 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. ตารางที่ 2-1 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนโซ[เอ]ไพรีน ที่พบในเมืองต่างๆ เปรียบเทียบใน 2 ฤดูกาล ต่อมา Greenberge และคณะ ได้รายงานการศึกษาสารพี เอ เอช ในรัฐนิวเจอร์ซีย์ ในช่วงเวลา 2 ฤดู คือฤดูร้อน และฤดูหนาว พบว่าบริเวณเมืองมีปริมาณของสารพี เอ เอช เป็น 3-5 เท่า ของปริมาณที่พบในชนบท โดยค่าเฉลี่ยของสารพี เอ เอช 8 ชนิด (เบนโซ[เอ]ไพรีน, เบนโซ[เอ]ฟลูออแรนทีน, เบนโซ[เอ]ฟลูออแรนทีน, เบนโซ[เอ]แอนทราซีน, อินดีโน[1,2,3-ซีดี]ไพรีน, ไครซีน, เบนโซ[จี,เอช,ไอ]เพอร์ลิซีน, และไพรีน) ของบรรยากาศในเมืองอยู่ในช่วง 0.15 - 0.62 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และในชนบท 0.02 - 0.12 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. Beak และคณะ ได้รายงานความเข้มข้นของสารพี เอ เอช ที่พบในบรรยากาศของเมืองลอสแอนเจลิส ในช่วงฤดูร้อนว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.1 - 1.5 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และในฤดูหนาว 0.4 - 4.5 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และรายงานความเข้มข้นของสารแต่ละตัวดังนี้คือ สารเบนโซ[เอ]แอนทราซีน 0.18 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และ สารเบนโซ[จี,เอช,ไอ]เพอร์ลิซีน 3.27 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. โดยส่วนมากความเข้มข้นเฉลี่ยของสารทุกตัวจะต่ำกว่า 0.6 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และได้ให้ข้อสังเกตว่าการที่ปริมาณของสารเบนโซ[จี,เอช,ไอ]เพอร์ลิซีน มีค่าสูง อาจสัมพันธ์กับการปล่อยไอเสียของรถยนต์ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันว่าในไอเสียมีปริมาณสารเบนโซ[จี,เอช,ไอ]เพอร์ลิซีน สูง สำหรับสารพี เอ เอชตัวอื่นที่มีรายงานการพบเป็นปริมาณมากเช่น ที่รัฐเดเนเวอร์มีปริมาณของสารเบนโซ[เอ]ฟลูออแรนทีน 0.83 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม., สารพีแนนทรีน 39 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และอุโมงค์ที่อ่าวบัลติมอร์ มีรายงานความเข้มข้นของสารเบนโซ[เอ]ไพรีน 66 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. และ สารไพรีน 120 นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม. เป็นต้น นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาของหลายกลุ่มวิจัยเป็นหลักฐาน แสดงว่าระดับความเข้มข้นของสารพี เอ เอช ในฤดูหนาวสูงกว่าในฤดูร้อน เช่น Yang และ Bauman รายงานว่าปริมาณของสารพี เอ เอช จากฝุ่นถนนในฤดูหนาวของประเทศเยอรมันสูง เป็น 2 - 12 เท่าของปริมาณที่พบในฤดูร้อน โดยพบว่าสารฟลูออแรนทีน, ไพรีน, พีแนนทรีน เป็นสารที่มีความเข้มข้นสูงสุด และให้ความเห็นว่า สารเหล่านี้อาจใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงมลภาวะของฝุ่นจากถนนได้

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารเบนโซ[เอ]ไพรีน (นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.) ในเมืองต่างๆ (Pucknat, 1981)

เมือง	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
ปารีส, ฝรั่งเศส	2.8 - 1.5	0.25 - 1.8
ปราก, เช็กโกสโลวาเกีย	24.0	1 - 7
ลอสแอนเจลิส, สหรัฐ	11.0	0.08
เบอร์มิงแฮม, สหรัฐ	25.0	6.4
ซิดนีย์, ออสเตรเลีย	7.7	0.8
ลอนดอน, อังกฤษ	2200	
อนตาริโอ, แคนาดา	40 - 50	
คาร์ลรู, เยอรมัน	1.7	

ปัจจัยที่มีผลทำให้ปริมาณของสารพี เอ เอช แปรเปลี่ยนไปตามวัน เวลา และ ฤดูกาล อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปแบบของการปล่อยสาร, การเปลี่ยนสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา (เวลาที่แสงอาทิตย์ส่อง และอุณหภูมิของฤดูกาล) และการเปลี่ยนที่ใช้ความร้อนและการปล่อย, การระเหยของสาร, และการเปลี่ยนแปลงการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากแสง กระบวนการในบรรยากาศที่ทำให้สารพี เอ เอช มีการเปลี่ยนแปลง เกี่ยวข้องกับ 1) การที่สารถูกแยกออกจากบรรยากาศโดยการเกาะติดอยู่กับที่ 2) การเคลื่อนที่ และการกระจายตัวไปตามการเลื่อนของมวลอากาศ ความแปรปรวน และการนำพา 3) การแตกสลาย หรือการผันแปรโดยปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากแสง และ 4) การแลกเปลี่ยนระหว่างเฟสของก๊าซ และอนุภาค โดยมีการเสียดูดของเฟสเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น Pucknat ได้อ้างถึงรายงานของ Tebbens และคณะ ที่สาริตได้เห็นว่า การสูญหายของสารเบนโซ[เอ]ไพรีน 15 - 50 % ที่อยู่บนกระดาดทรงและในกลุ่มควัน เมื่อให้ถูกแสงนาน 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ Pucknat ยังรายงานการเกิดออกซิเดชันของสารแอนทราซีน และไพรีน เมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเล็ต ภายในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ด้วย เป็นต้น

รายงานของผู้ที่ทำการศึกษาสารพี เอ เอช ในบรรยากาศ

Allen และคณะ(1996) ได้ทำการศึกษาฝุ่นละอองจากบรรยากาศด้วยเครื่องจีซี/เอ็ม เอส โดยทำการเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 21 - 29 °C ในช่วงฤดูร้อน และทำการวิเคราะห์หาปริมาณ

ของสารพี เอ เอช จำนวน 15 ตัว พบว่าสารพีแนนทริน, ฟลูออแรนทีน และไพรีน มีปริมาณมากกว่าสารพี เอ เอช ตัวอื่นๆ โดยสารที่ตรวจพบดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การวิเคราะห์สารพี เอ เอช ในตัวอย่างที่เก็บจาก Kenmore Square ในมลรัฐแมสซาชูเซต

สาร พี เอ เอช	น้ำหนักโมเลกุล	ความเข้มข้น(ng/m^3)
แนพทาลีน	128	identified
อะซีแนพทิลีน	152	identified
อะซีแนพทีน	154	identified
ฟลูออรีน	166	identified
พีแนนทริน	178	13.28

Venkataraman และคณะ(1994) ได้ทำการวิเคราะห์หาสารพี เอ เอช และการกระจายของขนาดอนุภาคในอุโมงค์ Caldecotte ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ที่ถูกปล่อยออกมาจากยานยนต์ พบว่าการกระจายของขนาดอนุภาคเป็นแบบ unimodal โดยร้อยละ 85 ของมวลอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบแอร์โรไดนามิกซ์ เล็กกว่า 0.12 ไมครอน และมีการกระจายของขนาดอยู่ในช่วง 0.5 - 1.0 ไมครอน

Gardner และคณะ(1995) รายงานว่าไอเสียที่ปล่อยออกมาจากยานยนต์เป็นแหล่งกำเนิดของสารพี เอ เอช ในประเทศอังกฤษในช่วงที่ไม่ใช่ฤดูหนาว โดยในฤดูร้อนมีปริมาณของสารพี เอ เอช สูง และจะพบพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่ในสภาวะที่เป็นก๊าซ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงในช่วงฤดูร้อน

Aceves และ Grimalt(1993) พบว่าการแปรเปลี่ยนของปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนตามฤดูกาลสะท้อนให้เห็นถึงอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ตลอดจนการแปรเปลี่ยนของสารเนื่องจากเกิดการแตกสลาย เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากแสง

Takada และคณะ(1990) ได้ทำการศึกษาฝุ่นในถนนที่มีการจราจรคับคั่งมากในกรุงโตเกียว และได้รายงานหาสารพี เอ เอช มีแหล่งมาจากไอเสียของรถยนต์อย่างแน่นอน ส่วนในย่านที่พักอาศัย สารพี เอ เอช จะมีแหล่งมาจากการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารพี เอ เอช มีปริมาณน้อยมากในฝุ่นที่มาจากแอสฟัลต์

Harkov และคณะ(1984) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร พี เอ เอช ในฤดูร้อน จาก 4 แหล่งในรัฐนิวเจอร์ซีย์ และได้รายงานว่าการแปรเปลี่ยนปริมาณสารพี เอ เอช แบบวันต่อวันของทั้ง 4 แห่งขึ้นอยู่กับสภาวะอุณหภูมิมิทยาในย่านนั้น และแหล่งกำเนิดของสาร ยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อระดับของสารที่ตรวจพบ

Smith และคณะ(1995) รายงานปริมาณของสารพี เอ เอช ในประเทศอังกฤษ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างอนุภาคในอากาศ และในดิน โดยการเกาะจับของสารพี เอ เอช บนอนุภาคในบรรยากาศเป็นสาเหตุหลักในการตรวจพบสารพี เอ เอช ในดิน และสรุปว่าการปล่อยไอเสียจากรถยนต์มีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาณของสารพี เอ เอช ในย่านเมือง และยังรายงานต่อว่าปริมาณของสารพี เอ เอช ที่พบในดินที่เมืองลาฮอร์(ประเทศปากีสถาน) มีค่าต่ำกว่าปริมาณของสารพี เอ เอช ในบรรยากาศที่พบที่เมืองเบอร์มิงแฮม(ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการที่ภูมิอากาศของประเทศปากีสถานมีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโต-ออกซิเดชัน และการระเหยของสารพี เอ เอช นอกจากนั้นความสัมพันธ์ของปริมาณของสาร พี เอ เอช ทั้งในดิน และในอากาศมีค่าสูง

Westerholm และคณะ(1988) ซึ่งทำการศึกษาที่เมืองสต็อกโฮล์ม ประเทศสวีเดน แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของเมืองมีสารพี เอ เอช ที่มีอะโรแมติก 2 - 4 วง มาจากไอเสียของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง โดยสารพี เอ เอช ที่พบจะอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊ส ส่วนกรณีของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคที่ออกมาจากท่อไอเสีย

Blumer และคณะ(1977) รายงานการพบสารพี เอ เอช ปริมาณต่ำในเมืองที่อยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรม แต่ในบริเวณนอกเมือง กลับพบสารพี เอ เอช ปริมาณสูงเนื่องมาจากรถยนต์ที่วิ่งอยู่บนถนนไฮเวย์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้มีสารพี เอ เอช ในดินสูง

นอกจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ Beak และคณะ(1991) ยังได้ทำการเปรียบเทียบไอเสียที่ปล่อยออกมาจากรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีน และใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ที่มีลักษณะเฉพาะคือ ไอเสียจากรถยนต์ดีเซลจะพบสารพีแนทรีน, ฟลูออแรนทีน, และ ไพรีน ในปริมาณที่มากกว่า

2.3 ความเป็นพิษของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน

การที่สารพี เอ เอช ที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศเป็นที่สนใจในการศึกษา เนื่องจากสารเหล่านี้หลายตัวเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และ/หรือมีผลกระทบต่อร่างกายของมนุษย์ ในขณะที่สารเหล่านี้ในบรรยากาศอาจเกิดการเปลี่ยนรูป เกิดเป็นสารชนิดใหม่ที่มีความเป็นพิษยิ่งกว่าสารชนิดเดิมก็เป็นได้ จากรายงานของ Beak และคณะ ที่อ้างถึง Pierce และ Katz รายงานว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน สามารถเคลื่อนที่ไปกับลมหายใจ และเกิดการสะสมอยู่ในทางเดินหายใจ และในปอดได้

สารคาร์ซิโนเจน (carcinogen) เป็นสารที่ก่อให้เกิดเนื้องอก และเหนี่ยวนำให้เกิดมะเร็งได้ โดยสารคาร์ซิโนเจนต่างชนิดกันก็มีคุณสมบัติแตกต่างกัน และปฏิกิริยาที่แสดงออกต่อเซลล์หรือเนื้อเยื่อก็แตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงมีการแบ่งชนิดของสารคาร์ซิโนเจนออกเป็น 2 จำพวก คือ สารคาร์ซิโนเจนที่เป็นพิษต่อดีเอ็นเอของยีนส์โดยตรง (genotoxic) และสารคาร์ซิโนเจนที่เป็นพิษต่อส่วนอื่นนอกเหนือจากยีนส์ (epigenetic)

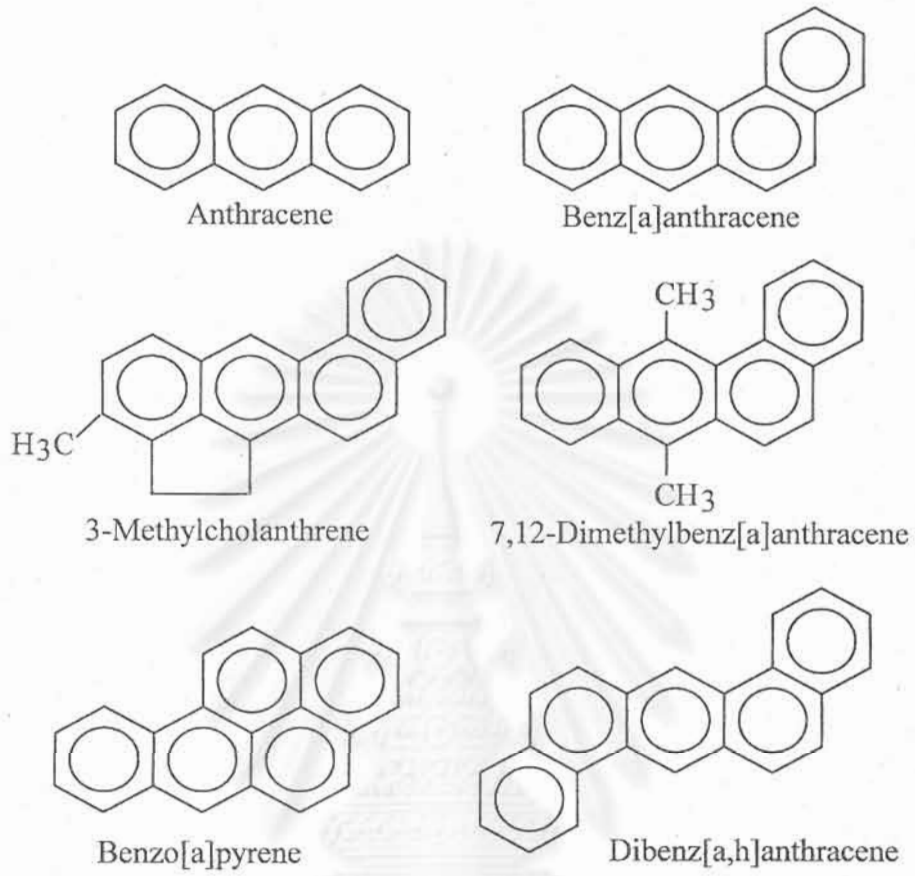
ความเป็นพิษของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสาร เช่น สารคาร์ซิโนเจน ส่วนใหญ่จะมีวงเบนซินตั้งแต่ 3 วงขึ้นไป โดยสารประเภทนี้บางตัวไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย แต่จะมีอันตรายต่อร่างกาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของสารชนิดนี้บางอย่าง ตัวอย่างเช่น สารแอนทราซีน ซึ่งเป็นสารที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง แต่เมื่อทำการเติมวงเบนซิน 1 วงเข้าไปในโครงสร้างของสารแอนทราซีน เกิดเป็นสารเบนซ[เอ]แอนทราซีน ซึ่งเป็นสารพื้นฐานที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เมื่อทำการเพิ่มวงเบนซินที่โครงสร้างของสารเบนซ[เอ]แอนทราซีน จะได้สารใหม่เป็นสารไดเบนซ[เอ,เอช]แอนทราซีน และเบนโซ[เอ]ไพรีน (ดังรูปที่ 2-1) ที่เป็นพิษก่อให้เกิดโรคมะเร็งอย่างร้ายแรง ในทำนองเดียวกัน เมื่อเพิ่มกลุ่มอัลคิล (CH_3) เข้าไปในโครงสร้างของสารเบนซ[เอ]แอนทราซีน จะเพิ่มแนวโน้มในการก่อให้เกิดโรคมะเร็งมากขึ้นเช่น 7,8-ไดเมทิลเบนซ[เอ]แอนทราซีน นอกจากนั้น สารเหล่านี้อาจถูกออกซิไดซ์โดยพวกเอ็นไซม์ในกระบวนการทางชีวภาพ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างไปเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งตัวอื่นๆ เช่น สารเบนโซ[เอ]ไพรีน เปลี่ยนไปเป็นสารอีปอกไซด์ และไดออล ดังแสดงในรูปที่ 2-2 นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีก เช่น เบนโซฟลูออแรนทริน, 5-เมทิลโครซีน, 7,12-ไดเมทิลเบนโซ[เอ]แอนทราซีน และ 9,10-ไดเมทิลแอนทราซีน เป็นต้น

มีรายงานความเป็นพิษของสาร 1,2-เบนซอานทราซีน (1,2-benzanthracene) หรือ 1,2,5,6-ไดเบนซอานทราซีน (1,2,5,6-dibenzanthracene) ว่าเป็นพิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน และ

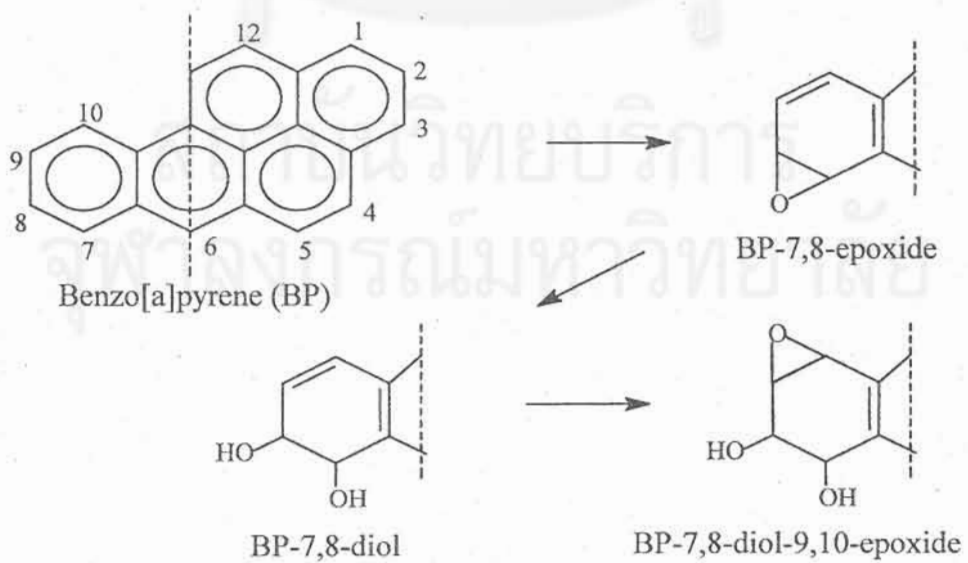
ลดการทำงานของแอนติบอดี(antibody) ในเม็ดเลือดขาวของแกะ นอกจากนี้ สาร 3-เมทิลโคลแลนทริน(3-methylcholanthrene) ยังลดภูมิคุ้มกัน และลดเซลล์ที่ผลิตแอนติบอดีลง การทดสอบความเป็นพิษของสาร 7,12-ไดเมทิลเบนซ[เอ]แอนทราซีน(7,12-dimethylbenz[a]anthracene) และเบนโซ[เอ]ไพรีน(benzo[a]pyrene) กับหนูก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าความเป็นพิษของสารพี เอ เอช มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของสารอย่างมาก

การทดสอบความเป็นพิษ โดยใช้วิธีการทดสอบทางเคมีเพื่อหาแนวโน้มหรือระบุว่าสารที่ต้องการศึกษามีความเป็นพิษก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้หรือไม่ เรียกว่า การทดสอบคาร์ซิโนเจน(Carcinogen test) โดยสามารถทดสอบได้หลายวิธี และมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องหลายขั้นตอนหนึ่งในขั้นตอนของการทดสอบ เป็นการประเมินหาความเป็นสารคาร์ซิโนเจนจากความสัมพันธ์ของโครงสร้างทางเคมีกับการแปรสภาพทางชีวภาพของสารในกลุ่มเดียวกัน ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบที่ช่วยในการตัดสินใจ และให้ความเข้าใจพอที่จะสรุปได้ว่าสารที่ทดสอบเป็นอันตรายต่อมนุษย์หรือไม่ สามารถบอกได้เพียงใช่ หรือไม่ใช่สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และการวิเคราะห์ทางปริมาณ สามารถบอกได้เพียงว่าสารที่ทดสอบก่อให้เกิดมะเร็งในระดับสูง กลาง หรือต่ำ เท่านั้น

ในการทดสอบการกลายพันธุ์กับสิ่งมีชีวิต วิธีการทดสอบระยะสั้นภายนอกร่างกายของสิ่งมีชีวิต(Short term test *in vitro*) ที่นิยมกันมากคือ การทดสอบไมโครโซมโดยใช้เชื้อซาลโมเนลลา(Salmonella/microsome test) หรือการทดสอบเอมส์(Ames test) โดยใช้เชื้อกลายพันธุ์ชนิด(mutant strain) TA97, TA98, TA100, และ TA102 ซึ่งเป็นเชื้อชนิดซาลโมเนลลาไทพิมูเรียม(Salmonella typhimurium) เนื่องจากเชื้อชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในมีเดียที่มีฮิสทีดิน(histidine) และเมื่อเกิดการกลายพันธุ์ขึ้น เชื้อจะสามารถเจริญเติบโตได้ในมีเดียที่ไม่มีฮิสทีดินได้ สารบางตัวไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์จนกว่าจะเกิดการแปรสภาพทางชีวภาพจากไมโครโซมซึ่งการทดลองมักจะเติมไมโครโซมของสัตว์ทดลองลงในการทดสอบที่มีเชื้อกลายพันธุ์และสารที่ทดสอบ แล้วมีการวิเคราะห์การกลายพันธุ์ตามจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญเติบโตในมีเดียที่ไม่มีฮิสทีดินนี้ การทดสอบแบบเอมส์นี้ช่วยให้นักวิจัยสามารถทดสอบสารอินทรีย์ในแต่ละส่วนที่แยกได้ ว่าเป็นสารที่มีความไวทางชีวภาพหรือไม่ การทดสอบแบบนี้ยังบอกถึงผลที่จะเกิดต่อสุขภาพได้ด้วย ก่อนที่จะสรุปผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ นักวิจัยจะเน้นการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ทั้งตัว และที่ผิวหนังก่อน และในที่สุดจะสรุปโดยโยงเข้ามาเกี่ยวพันกับความเป็นไปได้ที่จะมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์



รูปที่ 2-1 แสดงสารคาร์ซิโนเจน ที่เป็นอนุพันธ์ของสารแอนทราซีน (Vo-Dinh, 1989)



รูปที่ 2-2 แสดงการแปรสภาพของสารคาร์ซิโนเจนไปเป็นรูปอื่น (Vo-Dinh, 1989)

ในปี ค.ศ. 1980 Tokiwa และคณะ ศึกษาผลกระทบต่อการกลายพันธุ์ ของสารพี เอ เอช จากฝุ่นละอองในอากาศ โดยใช้วิธีการทดสอบโครโมโซมโดยใช้เชื้อซาลโมเนลลา โดยการนำตัวอย่างมาสกัดด้วยเมทานอล และแยกเป็นส่วนๆ ตามความเป็นขั้วของตัวทำละลาย พบสารพี เอ เอช 9 ตัว คือสารเบนโซ[เอ]ไพรีน(B[a]P), ไครซีน, ฟลูออแรนทริน, เบนโซ[จี]เอช ไอ]เพอร์ลิ น(B[ghi]P), เบนโซ[เอ]แอนทราซีน(B[a]A), เบนโซ[เอ]ไพรีน(B[a]P), ไพรีน, โครโรเนน (coronene), และ เพอร์ลิเนน(perylene) โดยประมาณ 28% ของสารที่สกัดได้ทั้งหมดมีผลกระทบ ต่อการกลายพันธุ์ ต่อมาในปี ค.ศ. 1984 Salmeen และคณะ ทำการสกัดตัวอย่างไอเสียจากรถยนต์ดีเซลโดยใช้สารเมทิลีนคลอไรด์(CH₂CL₂) และเครื่องเอช พี แอล ซี แยกสารที่สกัดออกได้ เป็น 65 ส่วน และทำการทดสอบการกลายพันธุ์ของสารในแต่ละส่วนโดยใช้การทดสอบเอมส์ พบว่าส่วนที่แสดงผลกระทบต่อการกลายพันธุ์ คือส่วนที่แยกออกมาจากเครื่องเอช พี แอล ซี โดยมีเวลาการหน่วงเหนี่ยว(retention time) ที่เดียวกับสาร 1,3-, 1,6-, 1,8-ไดไนโตรไพรีน(1,3-, 1,6-, 1,8-dinitropyrenes), 1-ไนโตรไพรีน(1-nitropyrene), และ 3-, 8-ไนโตรฟลูออแรนทีน (3-, 8- nitrofluoranthene) ในปี ค.ศ. 1986 Gilson ได้ศึกษาการกระจายตัวของสารไนโตรพี เอ เอช จากตัวอย่างอากาศโดยรอบของโรงงานอุตสาหกรรมในย่านชานเมือง ย่านชนบท และที่ ห่างไกลออกไป เมื่อทำการทดสอบผลกระทบต่อการกลายพันธุ์ของสารเบนโซ(เอ)ไพรีน โดยใช้ การทดสอบซาลโมเนลลา พบว่าตัวอย่างอากาศในที่ห่างไกลจากแหล่งอุตสาหกรรม สารที่แสดงผล กระทบต่อการกลายพันธุ์มากกว่า 90% เป็นสารที่อยู่ในสารละลายที่มีขั้ว และเมื่อศึกษา ตัวอย่างอากาศจากย่านอุตสาหกรรม พบว่าสารไนโตรพี เอ เอช มีอิทธิพลต่อการกลายพันธุ์สูง มาก และในปี ค.ศ. 1989 De Flora และคณะ ได้ศึกษาการกลายพันธุ์โดยวิธีการทดสอบของ เอมส์ กับตัวอย่างสารพี เอ เอช จากฝุ่นละอองในอากาศ โดยใช้ชั้นแลย์โครมาโตกราฟี(thin layer chromatograph) ในการแยกสารพี เอ เอช ผลปรากฏว่าการกลายพันธุ์มีความสัมพันธ์ กับความเข้มข้นของสาร

สารโพลีไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีวงอะโรแมติก หลายวงเกาะติดกัน ซึ่งพบมากในไอเสียรถยนต์ดีเซล สารเหล่านี้บางตัวเป็นสารที่ก่อให้เกิดการ กลายพันธุ์ และมะเร็ง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาสารที่ถูกปล่อยออกมากับไอเสียของรถยนต์ใน หลายๆ ประเทศตามสภาพภูมิประเทศ ประสิทธิภาพของรถยนต์ และชนิดของน้ำมันดีเซลที่ใช้ ด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันไป ซึ่งการศึกษาสารพี เอ เอช จำเป็นจะต้องใช้วิธีที่ละเอียด มีความ ถูกต้อง และมีความไวในการตรวจวัดสูง เนื่องจากมีสารพี เอ เอช ในปริมาณที่ต่ำมากในเขม่า และไอเสียของรถยนต์ วิธีการเก็บตัวอย่างอาจใช้เครื่องมือเก็บอากาศ(Air sampler) เก็บ ตัวอย่างอากาศ หรือเก็บโดยตรงจากท่อไอเสีย โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์ หรือท่ออุโมงค์ที่เจือจาง ตัวอย่าง(dilution tunnel หรือ adapting expansion chamber) และใช้กระดาษกรองไฟเบอร์

แก้ว (glass fiber filter) หรือกระดาษกรองไฟเบอร์แก้วผสมเทฟลอน(Teflon impregnated glass fiber filter) เป็นตัวดักฝุ่นละอองเหล่านั้น โดยควบคุมให้มีอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศผ่านกระดาษกรองอย่างคงที่ Yamasaki และคณะ(1982) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บตัวอย่างอากาศมีผลต่อสภาวะของสารพี เอ เอช ที่มีวงอะโรแมติก 3 - 6 วง โดยส่วนใหญ่สารพี เอ เอช ที่มีวงอะโรแมติก 3- 5 วง จะอยู่ในสภาวะแก๊ส หรืออนุภาคขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำการเก็บ ส่วนสารที่มีวงอะโรแมติก 6 วงขึ้นไป จะอยู่ในรูปของอนุภาคไม่ว่าจะอยู่ที่อุณหภูมิใด Smith และคณะ(1983) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของชนิดกระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างไอเสียรถยนต์ดีเซล โดยชนิดของกระดาษกรองที่ใช้ในการศึกษาได้แก่กระดาษกรองเทฟลอนที่เคลือบบนไฟเบอร์แก้ว หรือพอลล์ฟลิก(Teflon coated glass fiber filter or Pallflex), ชนิด เอ/อี ไฟเบอร์แก้วของเกลแมน(Gelman Type A/E Glass fiber filter) และชนิดที่เป็นเมมเบรนเซฟลูอออร์ทูฟลอน(Zefluor Teflon membrane filter) โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดเป็น ไดคลอโรมีเทน, อะซิโตนไนไตรล์, และไซโคลเฮกเซน ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอชพี แอล ซี และเครื่องตรวจวัดการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร สรุปได้ว่า ชนิดของกระดาษกรองมีผลกระทบบ้างต่อการวิเคราะห์หาสารเบนซ(เอ)แอนทราซีน, เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทีน และเบนโซ(เอ)ไพรีน แต่ไม่มีผลกระทบต่อสารอื่น และการเลือกใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนให้ผลการสกัดที่ดีที่สุด และ Robertson และคณะ(1979) ได้ทดลองศึกษาอิทธิพลของสิ่งรบกวนในกระดาษกรองชนิดต่างๆ ได้แก่ เทฟลอน, ไฟเบอร์แก้ว, เซลลูโลส และอินทรีย์โพลีเมอร์ โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในการสกัดสารพี เอ เอช เช่น เบนซีน, คลอโรฟอร์ม, ไดคลอโรมีเทน, เฮกเซน และไซโคลเฮกเซน เป็นชนิดเกรดที่มีใบรับรองคุณภาพ(certified grade) และเกรดรีเอเจนท์ (Reagent grade) ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอชพี แอล ซี และตรวจวัดสารโดยวัดการดูดกลืนแสงยูวี และการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ ผลที่ได้พบว่าเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ที่ดีที่สุดในการสกัด และกระดาษกรองเทฟลอนสามารถทนความร้อนได้ดีกว่ากระดาษกรองชนิดอื่นๆ

ตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ หรือเขม่าไอเสียรถยนต์มีความสลับซับซ้อน ดังนั้นจึงต้องทำการสกัดสารพี เอ เอช ก่อนการวิเคราะห์ โดยทั่วไปใช้เทคนิคการสกัดแบบชอกเล็ทเป็นเวลา 6- 24 ชั่วโมง หรือใช้การสกัดแบบซูเปอร์คริติคอลฟลูอิดที่สามารถย่นเวลาการสกัดลงได้อย่างมาก ซึ่งตัวทำละลายส่วนใหญ่ที่ใช้ในการสกัดคือไดคลอโรมีเทน Breuer(1984) ทำการศึกษาเปรียบเทียบตัวทำละลาย 6 ชนิด (โทลูอีน, ไดคลอโรมีเทน, เมทานอล, ไอโซโพรพานอล, อะซิโตนไนไตรล์, และอะซิโตน) และวิธีการสกัด 4 วิธีคือ การเขย่าธรรมดา, การเขย่าโดยใช้อุลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที, การรีฟลักเป็นเวลา 2 ชั่วโมง, และการสกัดแบบชอกเล็ทเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในการสกัดสารพี เอ เอช 5 ตัว จากตัวอย่างไอเสียรถยนต์ดีเซลที่เก็บด้วยกระดาษกรองแบบที่มีสารเทฟลอนเคลือบอยู่บนไฟเบอร์แก้ว และทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอชพี แอล ซี

และตรวจสอบการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร พบว่าโทลูอิน และไดคลอโรมีเทน ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่าเมทานอล, ไอโซโพรพานอล, อะซิโตไนไทรล์, และอะซิโตน และการสกัดโดยใช้ชอกเล็ทที่มีโทลูอิน หรืออะซิโตไนไทรล์ เป็นตัวทำละลายให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่าวิธีอื่น สารที่สกัดได้จะทำให้อยู่ในรูปของสารละลาย เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ต่อไป

สารพี เอ เอช ในสารละลายยังมีความสลับซับซ้อนมาก โดยทั่วไปจะลดความซับซ้อนของตัวอย่างลงโดยการแยกสารพี เอ เอช ออกเป็นส่วนๆ โดยใช้หลักการของลิควิดโครมาโตกราฟี ตามความสามารถในการละลายของสารในตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่มีความเป็นขั้วสูง มีความเป็นขั้วปานกลาง และไม่มีความเป็นขั้ว แต่ละส่วนที่แยกได้ จะถูกนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และปริมาณต่อไป เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยทั่วไปคือแก๊สโครมาโตกราฟี(จี ซี) และไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิดโครมาโตกราฟี (เอช พี แอล ซี) โดยจะเลือกใช้เครื่องจี ซี กับสารที่สามารถระเหยเป็นไอได้เมื่อถูกความร้อนไม่เกินอุณหภูมิที่เครื่องจี ซี สามารถทำได้ และจะใช้เครื่องเอช พี แอล ซี กับสารพี เอ เอช โมเลกุลใหญ่ที่ระเหยเป็นไอได้ยาก หรือที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคจี ซี

การตรวจสอบสารพี เอ เอช แต่ละตัวที่ได้จากการแยกด้วยเทคนิคจี ซี จะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยมีวิธีการตรวจสอบสารหลายแบบ ในปี คศ. 1982 Ramdahl และคณะ ใช้เครื่องตรวจวัดแบบการแตกตัวเป็นไอออนในเปลวไฟ หรือเอฟ ไอ ดี(flame ionization detector, FID) และเครื่องตรวจวัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือเอ็น พี ดี(nitrogen phosphorus detector, NPD) เพื่อตรวจวัดสารไนโตรพี เอ เอช ในตัวอย่างผงคาร์บอนดำ ผลที่ได้ปรากฏว่าพบสารไนโตรพี เอ เอช หลายตัวในสารตัวอย่าง Oehme และคณะ (1982) ใช้เครื่องตรวจวัดแบบการจับอิเล็กตรอน หรืออี ซี ดี(electron capture detector, ECD) และ เครื่องตรวจวัดเอฟ ไอ ดี ตรวจสอบ และหาปริมาณสารไนโตรพี เอ เอช จากตัวอย่างอากาศในบริเวณโรงถลุงอลูมิเนียม ผลที่ได้ปรากฏว่าพบสารไนโตรพี เอ เอช ประมาณ 100 ตัว และพบว่าเครื่องตรวจวัดแบบอี ซี ดี มีความไวในการตรวจวัดดีมาก แต่สามารถวัดได้ดีเฉพาะสารบางตัว และสารไนโตรพี เอ เอช ที่มีวงเบนซีน 2 - 4 วง มีระดับที่วัดได้อยู่ในช่วง 10 - 200 พิโคกรัม ต่อ ลบ.ม. ต่อตัวอย่างที่เก็บ 100 ลบ.ม. ในปี คศ. 1984 White และคณะ ใช้เครื่องตรวจวัดแบบแตกตัวเป็นไอออนโดยใช้ความร้อน(thermionic ionization) วิเคราะห์สารไนโตรพี เอ เอช ได้พบสารไนโตรพี เอ เอช จำนวน 45 ชนิด ปริมาณของสารต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้มีค่าประมาณ 3 พิโคกรัมสำหรับสาร 2,2'-ไดไนโตรไบฟีนิล(2,2'-dinitrobiphenyl) และ 9-ไนโตรแอนทราซีน(9-nitroanthracene) Hartung และคณะ(1984) ใช้เครื่องตรวจวัดเอฟ ไอ ดี และเครื่องตรวจวัดแบบไนโตรเจน -

ฟอสฟอรัส การแตกตัวด้วยความร้อน หรือที่ ไอ ดี (thermionic nitrogen-phosphorus detector, TID) ตรวจวัดสารไนโตรพี เอ เอช ในตัวอย่างไอเสียรถยนต์ดีเซล

เนื่องจากเครื่องจี ซี ไม่สามารถแยก และตรวจวัดสารพี เอ เอช ที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งการระเหยให้กลายเป็นไอทำได้ยาก เทคนิคเอช พี แอล ซี จึงเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ศึกษาสารพี เอ เอช ในปี ค.ศ.1984 Jino และคณะ ได้ตรวจสอบสารที่แยกออกมาจากเครื่องลิวทิด โครมาโตกราฟี หรือแอล ซี โดยใช้เวลาการหน่วงเหนี่ยว หรือเวลารีเทนชัน เป็นตัววัด ซึ่งเป็นที่รู้โดยทั่วไปว่าเวลารีเทนชันไม่สามารถยืนยันผลการวิเคราะห์ได้แน่นอน แต่ Jino และคณะ ได้แสดงการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ และพบว่ามีแนวโน้มที่เป็นไปได้กับการศึกษาสารพี เอ เอช ต่อมา Jino และคณะ ใช้เครื่องเอช พี แอล ซี ในการแยกสารพี เอ เอช นำหนักโมเลกุลสูงๆ ที่มีวงอะโรแมติกเกินกว่า 6 วง ทำให้การแยกสารออกจากตัวอย่างไอเสียรถยนต์ค่อนข้างลำบาก และได้พบสารแนพโท[8,1,2,เอบีซี]โคโรนีน (naphtho[8,1,2,abc] coronene) เป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1982 Rappaport และคณะ ได้ใช้เครื่องตรวจวัดแบบรีดักทีฟ อิเล็กโตรเคมีคัล(reductive electrochemical detector) เป็นเครื่องมือตรวจวัดอนุกรมของสารพี เอ เอช ที่ถูกแยกออกมาด้วยรีเวิร์สเฟสของเอช พี แอล ซี จากตัวอย่างอนุภาคไอเสียรถยนต์ดีเซล สามารถหาสารไนโตรพี เอ เอช ในตัวอย่างอากาศได้ในระดับต่ำ(ระดับพิโคกรัมถึงนาโนกรัม) ตัวอย่างการศึกษาวิจัยที่เลือกตัวตรวจวัดเป็นฟลูออเรสเซนต์เช่น จากการศึกษาในปี ค.ศ. 1990 ของ Bazylak และ Maslowska ที่ทำการศึกษาสารพี เอ เอช ในน้ำมันมิเนอรัล(mineral oil) การศึกษา ในปี ค.ศ. 1985 ของKline และคณะ ตรวจหาสารพี เอ เอช ที่แยกออกด้วยรีเวิร์สเฟสของแอล ซี จากตัวอย่างน้ำมันปิโตรเลียมดิบ ใช้สแตนดาร์ดภายใน(internal standard) เป็นเปอร์ดีิวเทอเรท พี เอ เอช (perdeuterated PAHs) และการศึกษาในปี ค.ศ. 1986 ของ Silvestre และคณะ ศึกษาสารไนโตรพี เอ เอช ในตัวอย่างไอเสียของรถยนต์ โดยใช้รีเวิร์สเฟส เอช พี แอล ซี ในการแยกสาร และทำการรีดิวซ์กลุ่มไนโตรให้เป็นอะมีน ก่อนทำการตรวจวัดด้วยวิธีฟลูออเรสเซนต์ ในปี ค.ศ. 1986 Fetzer และ Biggs เลือกใช้เครื่องตรวจวัดเป็นโฟโตไดโอด อาร์เรย์ วัดการดูดกลืนคลื่นแสงยูวี/วิสิเบิล ที่ต่อกับรีเวิร์สเฟส เอช พี แอล ซี พบสาร พี เอ เอช ที่มีวงอะโรแมติกตั้งแต่ 6 วงขึ้นไป มีโครงสร้างเป็นแบบอะโรแมติกหลอมติดกัน และในปี ค.ศ. 1988 Dong และ A. Greenberg ได้สาธิตการใช้ไดโอด อาร์เรย์ เป็นตัววัดสารพี เอ เอช มาตรฐานจำนวน 16 ตัว แสดงให้เห็นถึงความไวในการวัดของไดโอด อาร์เรย์ ที่ทัดเทียมกับการตรวจวัดการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของสาร เมื่อทำการเปรียบเทียบยูวีสเปกตรัมของสารจากทั้ง 2 เทคนิค ในปี ค.ศ. 1991 Gotze และคณะ ได้ใช้โฟโตไดโอด อาร์เรย์วัดแสงยูวี เพื่อเป็นตัวตรวจสอบสารพี เอ เอช จากไอเสียของรถยนต์ดีเซลที่ผ่านการแยกด้วยรีเวิร์สเฟส เอช พี แอล ซี โดยทำการ

ศึกษาสารพี เอ เอช ที่ออกมาจากเครื่องยนต์หลายเครื่อง ซึ่งมีการแปรค่าสารเติมแต่งในน้ำมัน และอัตราส่วนต่างๆ ของอิมัลชันของน้ำมันดีเซลกับน้ำ ผลการศึกษาพบว่า มีสารพี เอ เอช ที่มีผลต่อการกลายพันธุ์ และสารคาร์ซิโนเจนในปริมาณน้อยที่ถูกปล่อยออกมาจากไอเสียของรถยนต์ ในปี ค.ศ. 1992 Kayakawa และคณะ ใช้เคมีลูมิเนสเซนซ์(chemiluminescence) เป็นตัววัดสารไนโตร และไดไนโตร พี เอ เอช จากตัวอย่างไอเสียของรถยนต์ดีเซล และรถยนต์ก๊าซโซลีน โดยสารไนโตรพี เอ เอช จะต้องถูกรีดิวซ์ก่อนทำการวัดด้วยวิธีเคมีลูมิเนสเซนซ์

การตรวจสอบสารพี เอ เอช ที่แยกออกจากเครื่องจี ซี หรือเครื่องเอช พี แอล ซี ด้วยวิธีการที่กล่าวมาแล้ว ยังไม่เป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากไม่สามารถยืนยันผลการวิเคราะห์ได้แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เวลาริเทนชันเป็นตัววัด วิธีการตรวจวัดสารพี เอ เอช ที่เป็นที่ยอมรับมาก คือการใช้แมส สเปกโตรมิเตอร์เป็นตัววัดสารที่ได้ผ่านการแยกด้วยเครื่องจี ซี หรือเครื่องเอช พี แอล ซี ซึ่งสารจะผ่านเข้าสู่ขบวนการแตกตัวเป็นไอออนโดยการชนกับอิเล็กตรอนแล้วแตกเป็นแฟรกเมนต์ โดยจำนวนของแฟรกเมนต์จะขึ้นอยู่กับพลังงานของอิเล็กตรอน นอกจากนั้นมวลสารของแฟรกเมนต์ที่ได้จะมีประจุหนึ่งบวก และจะวิ่งไปตามทางโค้งตามทฤษฎีแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลของสาร และสัดส่วนกลับของเส้นรัศมี มวลที่มีประจุจะสามารถวิ่งผ่านไปถึงตัววัดของเครื่องได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแรงของสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำ และบังคับการวิ่งของมวลที่มีประจุให้วิ่งผ่านไปโดยไม่ชนผนังของท่อทางเดิน(flight tube) ขนาดของสนามแม่เหล็กที่ให้ขึ้นอยู่กับขนาดของมวลที่มีประจุนั้น การสแกนสนามแม่เหล็กจะเป็นการสแกนมวลต่อประจุของแฟรกเมนต์ ค่าความเข้มของแต่ละแฟรกเมนต์ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการแตกตัวให้แฟรกเมนต์นั้น กราฟที่แสดงค่าความเข้มของแฟรกเมนต์ต่อมวลของประจุเรียกว่า แมสสเปกตรัม โดยการแตกตัวให้แฟรกเมนต์ของสารชนิดหนึ่งๆ เป็นลักษณะเฉพาะของสาร ดังนั้น การตรวจสอบโดยวิธีแมส สเปกโตรมิเตอร์ เป็นการยืนยันการวิเคราะห์ที่ดีมาก และให้ความไวของการตรวจวัดสูง ในปี ค.ศ. 1981 Choudhury และ Bush ได้ทำการศึกษาสารประกอบจากไอเสียของรถยนต์ดีเซล โดยทำการแยกตัวอย่างด้วยเครื่องจี ซี และตรวจสอบสารโดยใช้เครื่องเอ็ม เอส ได้ตรวจพบสารพี เอ เอช ที่มีวงเบนซีน 3 - 7 วง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกอัลคิล - พี เอ เอช แต่ไม่สามารถแยกสารไอโซเมอร์ของสาร เบนโซฟลูออแรนทีนได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1984 Liberti และคณะ ได้ทำการศึกษาสารพี เอ เอช จากไอเสียของรถยนต์ดีเซล โดยทำการแยกตัวอย่างด้วยเครื่องจี ซี และตรวจหาสารพี เอ เอช โดยใช้เครื่องเอ็ม เอส ที่ทำให้สารเกิดเป็นประจุโดยใช้การชนกับอิเล็กตรอน และใช้เนกาทีฟ เคมีคัลไอออนไนเซชัน(negative chemical ionization) กับก๊าซมีเทน ตรวจหาสารไนโตรพี เอ เอช ต่อมา W.A. Korfmacher และ D.W. Miller ได้ให้ความสนใจวิเคราะห์หาสารในกลุ่มไนโตรไพรีน(nitropyrenes) โดยใช้เครื่องจี ซี ในการแยก และใช้เครื่องแมส สเปกโตรมิเตอร์ที่มีการแตกตัวเป็นไอออนแบบเนกาทีฟไอออนที่ความดันบรรยากาศ(negative ion atmospheric pressure ion

mass spectrometer) เป็นตัวตรวจสอบ สามารถวิเคราะห์สารได้ดีถึงระดับพิโคกรัม Avery และคณะ(1984) ที่แล็บเอมส์ในรัฐไอโอวา ซึ่งเป็นที่ๆ ทำศึกษาการกลายพันธุ์โดยใช้การทดสอบเอมส์ ได้ศึกษาสารพี เอ เอช ในฝุ่นละออง โดยทำการแยกสารด้วยเครื่องจี ซี และทำการตรวจสอบโดยใช้เครื่องเอ็ม เอส ที่มีเรโซลูชันสูง และอาศัยการแตกตัวแบบเคมีคัลไอออนไนเซชัน (high resolution MS แบบ chemical ionization) ทำการบันทึกค่าไอออนแบบหลายโหมด(multi recording mode, MRM) และวิเคราะห์หาปริมาณของสารโดยเลือกใช้พีค ของโมเลกุลาร์ไอออน(molecular ion peak) ของสารพี เอ เอช ที่มีสปีซีส์ของดีวเทอ เรียม(deuterated species) เป็นสารมาตรฐานภายใน ต่อมา Schulze และคณะ (1984) สนใจศึกษาสารออกซิเจนเนท - พี เอ เอช หรือสารออกซี พี เอ เอช(oxy-PAHs) จากไอเสียของรถยนต์ดีเซล โดยใช้ระบบท่อเก็บตัวอย่างแบบเจือจางตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ได้มาแยกด้วยเครื่องจี ซี และตรวจสอบด้วยเครื่องเอ็ม เอส ได้ตรวจพบสารพี เอ เอช, ไนโตร พี เอ เอช, และออกซี พี เอ เอช 4 ชนิดคือ คีโตน, ควิโนน, แอนไฮไดรด์ และอัลดีไฮด์ ในปี ค.ศ. 1989 Zielinska และคณะ ศึกษาไอโซเมอร์ของสารไนโตรอาร์ีน(nitroarenes) จากตัวอย่างอนุภาคในอากาศ โดยทำการแยกแฟรกชันของตัวอย่างด้วยเครื่องเอช พี แอล ซี หลังจากนั้นจึงใช้เครื่องจี ซี แยกสาร และใช้เครื่องเอ็ม เอส ในการตรวจสอบชนิดของสาร พบสารไนโตร พี เอ เอช ต่างๆ มีปริมาณแตกต่างกัน ในปี ค.ศ. 1984 Nielsen และคณะ ทำการศึกษาสารไนโตรพี เอ เอช ในบรรยากาศของเขตท้องที่ชนบท เพราะมีแนวคิดว่าสารพี เอ เอช ที่อยู่ในบรรยากาศสามารถทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนไดออกไซด์ หรือกรดไนตริกในบรรยากาศ เกิดเป็นสารไนโตร พี เอ เอช ได้ และนำสารโมโนไนโตร พี เอ เอช มาทำการแยกโดยใช้เครื่องจี ซี และตรวจสอบโดยใช้เครื่องเอ็ม เอส ที่มีการแตกตัวแบบเนกาทีฟเคมีคัล ไอออนไนเซชันของมีเทน ต่อมา Schilhabel และ Levsen (1989) ได้ทำการศึกษาสารไนโตรพี เอ เอช ในตัวอย่างไอเสียของรถยนต์ดีเซล โดยใช้เครื่องจี ซี ในการแยกสารไนโตรพี เอ เอช และสารออกซี พี เอ เอช และตรวจสอบสารไนโตร พี เอ เอช โดยใช้เครื่องเอ็ม เอส ที่ใช้เนกาทีฟเคมีคัล ไอออนไนเซชันของมีเทน ที่เรโซลูชัน 5000 โดยไอออนที่ผ่านช่องทางเดินไอออนของท่อแรก จะถูกเลือกให้เข้าสู่ช่องทางเดินของไอออนท่อที่สอง(selected ion monitoring tandem MS) เพื่อแยกการตรวจวัดสารออกซี พี เอ เอช ที่ออกมาพร้อมกับสารไนโตรพี เอ เอช ผลการวิเคราะห์พบสารไนโตร พี เอ เอช จำนวน 38 ตัว

Lee และ Schuetzle ได้ทำการศึกษาสารไนโตรพี เอ เอช จากอนุภาคในไอเสียรถยนต์ โดยใช้เทคนิคหลายชนิดร่วมกันคือเอช พี แอล ซี, จี ซี/เอ็ม เอส, เอ็ม เอส แบบเรโซลูชันสูง, และเอ็ม เอส/เอ็ม เอส โดยใช้เครื่องเอ็ม เอส แบบเรโซลูชันสูง(11,000 -15,000) ด้วยโหมดอิเล็กตรอนนิมแพค และแบบโพรบแห่ย์สารตัวอย่างเข้าเครื่องโดยตรง(direct insertion probe)

การศึกษาโดยใช้เครื่องแอล ซี/เอ็ม เอส เป็นเทคนิคที่ทำการแยกสารด้วยเครื่องแอล ซี และนำสารที่แยกได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็ม เอส ที่ใช้วิธีต่างๆ ในการตรวจสอบเช่น การแยกโพรบที่บรรจุสารตัวอย่างเข้าไปในเครื่องเอ็ม เอส โดยตรง ตัวอย่างของการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคนี้เช่น การศึกษาของ Peaden และคณะ การศึกษาของ Schuetzle และคณะ (1982) และการศึกษาของ Hirose และคณะ (1984)

นอกจากวิธีการตรวจวัดดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น Nabi และคณะ(1983) ได้ทำการศึกษาดูตรวจสอบสารไดไนโตรอะโรแมติก(dinitroaromatic) และสารอนุพันธ์ ด้วยวิธีการทดสอบเป็นจุด(spot test) โดยใช้ปฏิกิริยา Janosky ที่นำสารที่ต้องการศึกษามาทำปฏิกิริยากับสารไดเมทิลซัลฟอกไซด์(dimethylsulphoxide) พบว่าเทคนิคนี้สามารถตรวจวัดปริมาณของสารต่ำสุดได้ถึง 4-50 นาโนกรัม

Mellone และคณะ(1990) ศึกษาฟิงเกอร์พริ้นท์(fingerprint) และวิธีการคัดเลือกสารพี เอ เอช โดยใช้เลเซอร์เป็นตัวกระตุ้นให้สารพี เอ เอช เกิดการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ และใช้โฟโตไดโอดอาร์เรย์ของแสงยูวี(UV photodiode array) เป็นตัววัดสเปกตรัมของแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารในช่วง 190- 355 นาโนเมตร สเปกตรัมที่ได้เป็นฟิงเกอร์พริ้นท์ของสารพี เอ เอช โดยตัวอย่างที่ได้ทำการศึกษาเป็นพวกน้ำมันดิบ(crude oil), ผลผลิตทางปิโตรเลียม(petroleum products) และ พวกอนุภาคของสาร Kerkhoff และคณะ(1985) ได้ศึกษาสารพี เอ เอช จากตัวอย่างที่เก็บได้จาก 4 แหล่งคือ แก๊สที่เก็บจากไอเสียรถยนต์ดีเซล ไอเสียรถยนต์แก๊สโซลีน ตัวอย่างอากาศที่เก็บใกล้อินเตอร์สเตต ไฮเวย์ ไอ-95(Interstate I-95) และตัวอย่างอากาศที่เก็บจากบริเวณที่ห่างไกลจากถนน โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Constant Energy Synchronous Luminescence Spectroscopy(CESLS) โดยไม่ทำการแยก หรือสกัดตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ด้วยฟิงเกอร์พริ้นท์ หลักการที่ใช้คือ สารชนิดหนึ่งจะให้ทรานซิชันของการดูดกลืนแสง - การเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในตำแหน่งที่แน่นอนเท่านั้น ผลการศึกษาพบสารพี เอ เอช 5 ตัวคือ พีแชนทริน, แอนทราซีน, ฟลูออแรนทีน, ฟลูออรีนและ ไพรีน ในตัวอย่างไอเสียดีเซล และแก๊สโซลีน

สารพี เอ เอช มีมากกว่า 100 ชนิด แต่ละชนิดมีผลต่อสุขภาพแตกต่างกันไป สารพี เอ เอช 17 ตัว(ดังแสดงในรายการ อี พี เอ 610 ในบทที่ 3) ที่จะทำการศึกษาในที่นี้ เป็นพวกที่มีข้อมูลจากการทดลองมาก และเป็นที่น่าทึ่งกันว่ามีย้อนกรายกว่าสารพี เอ เอช ตัวอื่นๆ รายงานของสาร พี เอ เอช เหล่านี้ที่พบในเมืองมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.02 - 1.2 นาโนกรัมต่อ ลบ.ม. และพบในบริเวณชนบท 0.15 - 19.3 นาโนกรัมต่อ ลบ.ม. อี พี เอ ได้ระบุระดับปริมาณของ

สารพี เอ เอช บางตัวที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งถ้าพบสารพี เอ เอช เกินกว่าปริมาณนี้จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพเช่น สารแอนทราซีน 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว, สารอะซิแนพทีน 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว, สารฟลูออแรนทีน 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว, สารฟลูออรีน 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว, ไพรีน 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 เครื่องมือ

3.1.1 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี/แมส สเปกโตรมิเตอร์ หรือเครื่อง จีซี/เอ็มเอส (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC/MS) รุ่น จี ซี 8000 ซีรีส์ มีชุดใส่สารตัวอย่างแบบอัตโนมัติรุ่น เอ เอส 800 (AS 800 Autosampler) และเครื่องแมส สเปกโตรมิเตอร์ รุ่น เอ็ม ดี 800 ของบริษัทเครื่องมือไฟซัน (Fisons Instrument)

สภาวะการทำงานของเครื่อง จีซี/เอ็มเอส

เครื่อง จีซี (Gas Chromatograph)

ชนิดของคอลัมน์ แคปิลลารี รุ่น ดีบี-1 เอช ที ยาว 30 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร
ความหนาของฟิล์มของเหลว 0.1 ไมครอน
ขีดจำกัดของอุณหภูมิในการทำงาน 400 °ซ
ผลิตโดยบริษัท เจ แอนด์ ดับเบิลยู ไซแอนติฟิค
(J & W Scientific)

เฟสเคลื่อนที่ ก๊าซเคลื่อนที่ที่ใช้เป็นฮีเลียม ที่มีความบริสุทธิ์ 99.999%
อัตราการไหลของก๊าซ 45 ซม. ต่อ วินาที

เตาให้ความร้อนของ จีซี การให้อุณหภูมิเตา มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ให้ความร้อนกับเตา โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็น
เวลานาน 1 นาที

ขั้นที่ 2 เพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 °ซ ด้วยอัตราการเพิ่ม 20 °ซ
ต่อ นาที คงไว้ที่อุณหภูมินี้ เป็นเวลานาน 3 นาที

ขั้นที่ 3 เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 °ซ ด้วยอัตราการเพิ่ม 8 °ซ
ต่อ นาที คงไว้ที่อุณหภูมินี้ เป็นเวลานาน 3 นาที

ขั้นที่ 4 เพิ่มอุณหภูมิเป็น 310 °ซ ด้วยอัตราการเพิ่ม 8 °ซ
ต่อ นาที คงไว้ที่อุณหภูมินี้ เป็นเวลานาน 8 นาที

อุณหภูมิที่ อินเจคเตอร์ 250 °ซ

โหมดการฉีดตัวอย่าง ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง ไม่มีการแยกทิ้ง(splitless)

อินเตอร์เฟซ (Interface)

อุณหภูมิของตัวเชื่อมต่อกันระหว่าง จี ซี กับ เอ็ม เอส 250 °ซ

เครื่องแมส สเปกโตรมิเตอร์ (หรือ เอ็ม เอส)

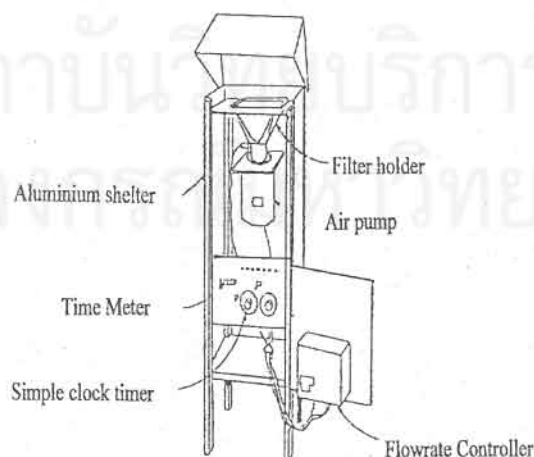
ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร คอคูโพล (quadupole)
 โหมดของการแตกตัวเป็นไอออน อิเล็กตรอนอิมแพค (EI⁺)
 อุณหภูมิของการแตกตัวเป็นไอออน 250 °ซ
 พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว 70 อิเล็กตรอนโวลท์
 การสแกนมวลสารแบบเต็มช่วง 50 - 400 เอ เอ็ม ยู ที่ความเร็ว 400 เอ เอ็ม ยู ต่อ วินาที

การบันทึกข้อมูลตลอดจนกระทั่งตัวทำละลายเคลื่อนที่ผ่านไป(Solvent delay) 3.75 นาที

โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน เอส ไอ อาร์ (SIR)

3.1.2 บั๊มสุญญากาศกำลังสูง (High vacuum pump) จัดจำหน่ายโดย บริษัทเอดวาร์ด (Edwards) รุ่น อี 2 เอ็ม 2 20035

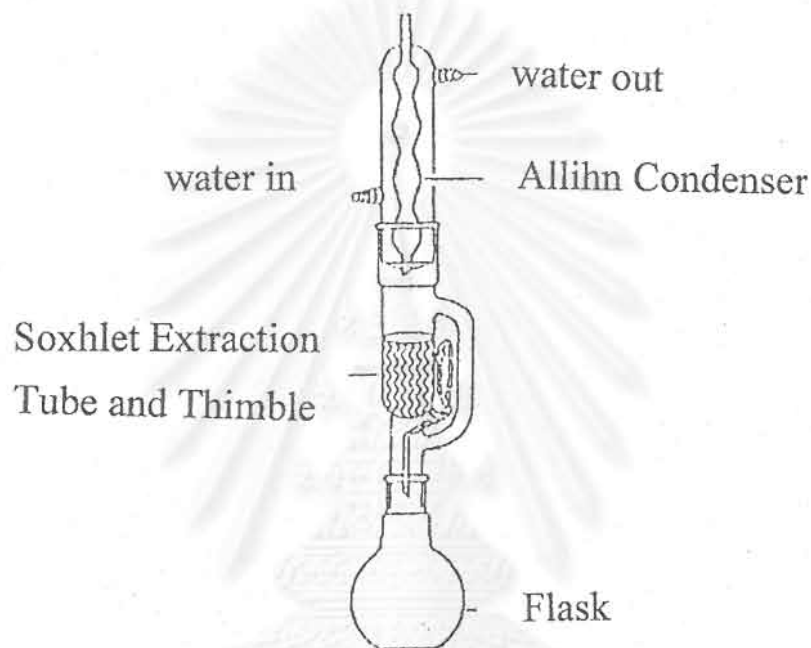
3.1.3 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรสูง(High Volume Air Sampler) มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก

3.1.4 อุปกรณ์การเตรียมตัวอย่าง

3.1.4.1 ชุดสกัดตัวอย่าง ซอกเล็ท (Soxhlet) ขนาด 200 มิลลิลิตร มีลักษณะดังแสดง
ในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ชุดสกัดสารด้วยตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน(เป็นเวลา 12 ชั่วโมง)

3.1.4.2 เตาให้ความร้อนแบบหูลุม (Heating mantle)

3.1.4.3 เครื่องระเหยตัวทำละลายโดยใช้สุญญากาศ (Eyela Rotary Vacuum Evaporator) ผลิตโดยบริษัทเกียวโต ริคากิไคอิ

3.1.4.4 ป้อนน้ำแบบสุญญากาศ (Eyela Aspirator) รุ่น เอ 3 เอส ผลิตโดย บริษัทเกียวโต ริคากิไคอิ

3.1.4.5 อ่างน้ำผลิตโดยบริษัทเทอร์โมลินไลบรอน (Thermolyn, Lybron Co)

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารละลายมาตรฐาน(อี พี เอ 610) สารผสมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติก ไฮโดรคาร์บอนจำนวน 16 ตัว ละลายอยู่ในสารละลายผสมเมทานอลต่อเมทิลีนคลอไรด์ อัตราส่วน 1:1 สั่งซื้อจากบริษัท ชิกมา อัลดริช ซึ่งประกอบด้วย

แนฟทาลีน (Naphthalene)
 อะซีแนฟไธลีน (acenaphthylene)
 อะซีแนฟทีน (Acenaphthene)
 ฟลูออรีน (Fluorene)
 ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene)
 แอนทราซีน (Anthracene)
 ฟลูออแรนทีน (Fluoranthene)
 ไพรีน (Pyrene)
 เบนโซ (เอ) แอนทราซีน (Benzo[a]anthracene)
 ไครซีน (Chrysene)
 เบนโซ (บี) ฟลูออแรนทีน (Benzo[b] fluoranthene)
 เบนโซ (เค) ฟลูออแรนทีน (Benzo[k] fluoranthene)
 เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo[a] pyrene)
 อินดีโน (1,2,3- ซี ดี) ไพรีน (Indeno[1,2,3-cd] pyrene)
 ไดเบนโซ (เอ, เอช) แอนทราซีน (Dibenzo[a,h] anthracene)
 เบนโซ (จี เอช ไอ) เพอร์ลีลีน (Benzo [ghi] perylene)

3.2.2 ตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน เกรดสำหรับการวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท คาร์โล เออร์บา (Carlo Erba)

3.2.3 กระดาษกรองเก็บตัวอย่างชนิด กลาสไฟเบอร์ สำหรับงานเก็บตัวอย่างอากาศ รุ่น พี/เอ็น-จี 810 ขนาด 8 นิ้ว x 10 นิ้ว จาก เกรสบี(Greasby)

3.2.4 สารละลายคลีนนิ่ง(สารละลายโพแตสเซียมไดโครเมทในกรดซัลฟูริก) ผลิตโดยบริษัทเมอร์ค

3.2.5 ซิลิโคน กรีส (Silicone Grease) สำหรับระบบสุญญากาศ ผลิตโดยบริษัท ฟลูก้า

3.3 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างอากาศจากบริเวณริมถนน และบริเวณที่ห่างไกลจากริมถนน โดยตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่สถานีเก็บตัวอย่าง และการเก็บตัวอย่างกระทำโดยกรมควบคุมมลพิษแห่งประเทศไทย โดยทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะการตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง จะให้ทางเข้าของอากาศอยู่เหนือพื้นดิน 3 เมตร โดยตัวอย่างที่ทำการเก็บจากริมถนน มีสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ที่บริเวณบางยี่ขัน ประตูน้ำ เขาวราช และสำนักงานสถิติแห่งชาติ(ถนนหลานหลวง) ส่วนการเก็บตัวอย่างที่บริเวณห่างไกลจากริมถนน มีสถานีเก็บตัวอย่างในสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

สถานีเก็บตัวอย่างบางยี่ขัน ตั้งอยู่ที่สถานีการไฟฟ้าย่อยบางยี่ขัน บนถนนจรัลสนิทวงศ์ ซึ่งเป็นเส้นทางการเดินรถขนาด 6 ช่องทางการจราจรที่มีเกาะกลางถนนแบ่งช่องทางการจราจรตลอดสองฟากของถนนมีตีกสูงระดับ 4 ชั้น และบริเวณโดยรอบเป็นย่านทำธุรกิจการค้า โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงวันที่ 2 - 20 กุมภาพันธ์ 2539

สถานีเก็บตัวอย่างประตูน้ำ ตั้งอยู่บนถนนราชปรารภ เขตพญาไท ระหว่างสี่แยกราชประสงค์ตัดกับถนนศรีอยุธยา ซึ่งเป็นถนนขนาด 6 ช่องทางการจราจรที่มีอาคารสูงอยู่สองฝั่งถนน โดยย่านนี้มีการจราจรที่หนาแน่น และมีปัญหาการจราจรติดขัดมาก เนื่องจากบริเวณโดยรอบเป็นย่านที่อยู่อาศัย และย่านการค้า ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ถึง 9 มีนาคม 2539

สถานีเก็บตัวอย่างเขาวราช ตั้งอยู่บนถนนเขาวราช ซึ่งเป็นย่านที่อยู่อาศัยของชาวจีน และย่านทำการค้าคล้ายกับบริเวณประตูน้ำ มีตีกสูงตลอดสองฟากฝั่งของถนนที่มีขนาด 5 ช่องทางการจราจร ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างคือวันที่ 12 มีนาคม ถึง 8 เมษายน 2539

สถานีเก็บตัวอย่างสำนักงานสถิติแห่งชาติ ตั้งอยู่บนถนนหลานหลวง เขตราชดำเนิน เป็นถนนขนาด 5 ช่องทางการจราจร และเป็นถนนรถวิ่งทางเดียว สองฟากถนนมีตีกสูง เนื่อง

จากบริเวณนี้เป็นย่านการค้า และสำนักงาน แต่มีปริมาณการจราจรคับคั่งน้อยกว่าบริเวณประตูน้ำ หรือบางยี่ขัน ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างคือวันที่ 11 - 28 เมษายน 2539

สถานีเก็บตัวอย่างบ้านสมเด็จ ตั้งอยู่ที่สถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จ เป็นสถานีเก็บตัวอย่างที่ตั้งอยู่อย่างถาวร ห่างจากถนนอิสระภาพเป็นระยะทางที่เกินกว่า 100 เมตร มีปริมาณการจราจรน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 2 กุมภาพันธ์ ถึง 28 เมษายน 2539

แผนที่แสดงที่ตั้งของสถานีเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3-3 แผนที่แสดงสถานที่ตั้งของสถานีเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4 การสกัดตัวอย่าง

ทำการตัดกระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคอากาศเป็น 2 ส่วนที่เท่ากัน ใช้เพียงครึ่งแผ่นนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในชุดสกัดซอกเล็ก (ดังแสดงในรูปที่ 3-2) เติมตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน ปริมาณ 350 มิลลิลิตร ลงไปในชุดสกัด แล้วทำการสกัดเป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง

หลังการสกัดจะได้สารละลายใสอยู่ด้านล่างของชุดสกัด และส่วนที่เหลือเป็นเศษของกระดาษกรองอยู่ด้านบน ทำการล้างส่วนที่เหลือด้วยไซโคลเฮกเซนปริมาณ 20-30 มิลลิลิตร และถ่ายสารละลายนี้ไปรวมกับสารละลายที่ได้ครั้งแรก หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ถ่ายใส่ภาชนะก้นกลม(evaporating flask) เพื่อทำการระเหยเอาตัวทำละลายออก โดยใช้ความร้อนจากอ่างน้ำร้อนช่วยในการระเหยที่อุณหภูมิ 40-50 °ซ ให้เหลือปริมาตรของสารละลายต่ำกว่า 5 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายที่เหลือใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 5 มิลลิลิตร จากนั้นถ่ายสารละลายที่ได้ใส่ลงในขวดชั้นเกลียว พันปิดขวดด้วยเทปเทฟลอน และห่อด้วยกระดาษฟลอยด์อลูมิเนียมอีกชั้น ก่อนนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -4 °ซ เพื่อรอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง จี ซี/เอ็ม เอส ต่อไป

3.5 การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเครื่อง จี ซี / เอ็ม เอส

ทำการฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 ไมโครลิตร เข้าสู่เครื่องจี ซี ที่อินเจ็คเตอร์ซึ่งมีอุณหภูมิ 250 °ซ เพื่อให้สารสามารถระเหยเป็นไอ โดยมีเฟสเคลื่อนที่ซีเลียมเป็นตัวพาไอของสารทั้งหมดจากอินเจ็คเตอร์ เข้าสู่คอลัมน์ด้วยอัตราการเคลื่อนที่ของก๊าซ 45 ซม. ต่อ วินาที โดยอุณหภูมิของเตา จี ซี จะถูกควบคุม และปรับให้สูงขึ้นตามลำดับ จาก 60 °ซ นาน 1 นาที เปลี่ยนเป็น 150 °ซ ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 20 °ซ ต่อ นาที คงไว้ที่อุณหภูมิ 150 °ซ เป็นเวลานาน 3 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 °ซ ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 8 °ซ ต่อ นาที คงอุณหภูมิไว้ที่ 200 °ซ เป็นเวลานาน 3 นาที และขั้นสุดท้าย ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 310 °ซ ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 8 °ซ ต่อ นาที คงไว้ที่อุณหภูมิสุดท้ายนี้เป็นเวลานาน 8 นาที สารต่างชนิดกันจะมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างเฟสของเหลวที่เป็นฟิล์มเคลือบอยู่ภายในคอลัมน์ และเฟสที่เป็นก๊าซที่เป็นตัวพาด้วยอัตราที่ต่างกัน โดยมีอุณหภูมิของเตาจี ซี เป็นปัจจัยช่วยหน่วง หรือเร่งการกระจายตัวของสาร ทำให้เกิดการแยกของสารขึ้นได้ สารที่ถูกหน่วงน้อยที่สุดจะออกมาจากคอลัมน์ก่อน และสารตัวอื่นที่ถูกหน่วงมากกว่าก็จะออกตามมาตามลำดับ เมื่อสารเคลื่อนที่ผ่านพื้นเครื่อง จี ซี เข้าสู่อินเตอร์เฟสระหว่างเครื่อง จี ซี กับเครื่อง เอ็ม เอส ที่มีอุณหภูมิสูง 250 °ซ เพื่อกันไม่ให้ไอของสารเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ไอของสารเคลื่อนที่ต่อไปจนผ่านพื้นคอลัมน์เข้าสู่ส่วนของแมส สเปคโตรมิเตอร์ โดยปลายของคอลัมน์ จ่อลงตรงบริเวณอิเล็กทรอนิกส์ทรอดที่มีการปล่อยอิเล็กตรอนพลังงานสูง ($EI^+ 70$ อิเล็กตรอนโวลต์) สารจะเกิดการแตกตัวเป็นแฟร็กเมนต์ไอออนที่มีประจุบวกหนึ่งเมื่อชนกับอิเล็กตรอนพลังงานสูงเหล่านี้ แต่ละแฟร็กเมนต์ไอออนจะเคลื่อนที่ไปตามทางที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าของระบบคอดูโพล การสแกนสนามไฟฟ้า 1 ครั้งด้วยอัตราความเร็ว 400 อะตอมมิกแมส

ยูนิต(เอ เอ็ม ยู) ต่อวินาที จะครอบคลุมมวลสารในช่วง 50 - 400 เอ เอ็ม ยู ทำให้ได้แฟร็กเมนต์ไอออนทั้งหมดจากการสแกน 1 ครั้งตกลงสู่เครื่องตรวจวัดของส่วน เอ็ม เอส และจากการควบคุมการทำงานโดยระบบคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมของเครื่องทำให้สามารถบันทึกผล และรายงานเป็นกราฟที่แสดงปริมาณ และมวลของแฟร็กเมนต์ไอออน ตลอดช่วง 50 - 400 เอ เอ็ม ยู หรือแมสสเปกตรัมของแต่ละสาร

โหมดการบันทึกไอออนเดี่ยว หรือเอส ไอ อาร์ ของเครื่องเอ็ม เอส ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของสารพี เอ เอช เป็นการตรวจวัด และสแกนเฉพาะพีคของแฟร็กเมนต์ไอออนที่สนใจ แทนที่จะทำการสแกนตลอดช่วง 50-400 เอ เอ็ม ยู โดยวิธีการนี้จะเลือกตรวจวัดเฉพาะพีคของไอออนของสารในกลุ่มพี เอ เอช ที่ปรากฏในแมสโคมาโดแกรม เมื่อทำการสแกน เครื่องเอ็ม เอส จะตรวจวัดเฉพาะไอออนพีคที่เลือกไว้ และสามารถตรวจวัดอยู่ที่ตำแหน่งไอออนพีคนั้นได้นานหลายมิลลิวินาที ก่อนที่จะข้ามไปตรวจวัดไอออนพีคที่เลือกไว้ในตำแหน่งถัดไปจนครบจำนวนไอออนพีคที่กำหนดให้เครื่องเอ็ม เอส ทำการตรวจวัด ทำให้ผลการตรวจวัดแต่ละพีคดียิ่งขึ้น

3.6 การสร้างกราฟมาตรฐาน

การทำกราฟมาตรฐานโดยใช้แสดนดาร์ตภายนอก

3.6.1 เตรียมสารละลายแสดนดาร์ตอย่างน้อย 3 ความเข้มข้น โดยปิเปตสารละลายแสดนดาร์ต อี พี เอ 610 มาทำการเจือจางด้วยตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน ให้มีช่วงของความเข้มข้นครอบคลุมความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง โดยเตรียมความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดให้มีค่าใกล้เคียงกับขีดจำกัดของการวัด

3.6.2 ทำการวัดพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละแมสพีค(ที่หักลบค่าสัญญาณภูมิหลังออกแล้ว) เพื่อใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารแต่ละตัว

หมายเหตุ สารละลายแสดนดาร์ตที่ทำขึ้น สามารถเก็บไว้ใช้ในวันถัดไปได้ และยังใช้ทดสอบการทำงานของเครื่อง จี ซี / เอ็ม เอส ในแต่ละวันได้ด้วย ถ้าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากสารละลายมาตรฐานมีค่าแตกต่างไปจากผลที่ได้ในวันก่อนๆ เกินกว่า $\pm 10\%$ จะทำการทดสอบเครื่องซ้ำโดยใช้สารละลายแสดนดาร์ตที่เตรียมใหม่

3.7 การคำนวณ

การสร้างกราฟมาตรฐานจากค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารแต่ละตัว เทียบกับปริมาณความเข้มข้นของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาปริมาณของสารแต่ละตัวในตัวอย่างจริงได้ โดยทำการเทียบพื้นที่ใต้พีคที่ได้จากตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานนี้

การคำนวณหาปริมาณที่แท้จริงของสารต่อปริมาตรอากาศ (หน่วยลูกบาศก์เมตร) ในเวลา 24 ชั่วโมง สามารถทำได้ดังนี้

สารละลายตัวอย่าง ที่สกัดได้มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร

จากการที่ใช้กระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างเพียงครั้งแผ่นในการวิเคราะห์

สมมุติว่า ความเข้มข้นของสารพีแนทรีนที่อ่านเทียบกับกราฟมาตรฐานมีค่า

$$= X \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

ความเข้มข้นของสารพีแนทรีนต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ในหน่วยไมโครกรัมต่อปริมาตรอากาศ = $\{(X \text{ มก/ลิตร}) \times (5 \text{ มล}) \times 2\} / \text{ปริมาตรอากาศ}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

4.1 การวิเคราะห์สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน จาก อี พี เอ 610

การศึกษาได้เริ่มต้นด้วยการทดสอบหาความสามารถของเครื่อง จี ซี / เอ็ม เอส ในการตรวจวัดหาสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน โดยใช้สารละลายมาตรฐาน อี พี เอ 610 ที่ประกอบด้วยสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนจำนวน 16 ตัว เป็นตัวแทนของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารแต่ละตัวเพื่อใช้เป็นสภาวะในการทดลองวิเคราะห์สารตัวอย่างจริงต่อไป โดยทำการสแกนตลอดทั้งช่วงของมวลไอออน 50-400 เอ เอ็ม ยู นอกจากนี้ยังทำการวัดหาปริมาณของสารต่ำสุด หรือความไวที่เครื่องมือนี้สามารถตรวจวัดได้จากการวัดหาความเข้มข้นต่ำสุด โดยใช้โหมดการวัดเป็นแบบบันทึกมวลไอออนเดี่ยวๆ ทีละมวลไอออน หรือเรียกโหมดการบันทึกนี้ว่า เอส ไอ อาร์ (single ion recording, SIR) แทนการสแกนทั้งช่วงของมวลไอออน 50-400 เอ เอ็ม ยู ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารมาตรฐาน และตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน ดังแสดงในภาคผนวก ข รูป ข1 แมสพีคของแต่ละสารจะถูกวิเคราะห์ยืนยันโดยเทียบแมสสเปคตรัมกับสเปคตรัมที่มีอยู่ในคอมพิวเตอรฺ์(NIST Library) ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข รูป ข2 - ข17 ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์แมสโครมาโตแกรม ได้ทำการรายงานเป็นเวลารีเทนชัน และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง จี ซี/ เอ็ม เอส สามารถวัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-1 ความเข้มข้นต่ำสุดที่รายงานนี้ ประเมินมาจากการใช้อัตราส่วนสัญญาณของแมสพีคต่อสัญญาณของสิ่งรบกวนเท่ากับ 5:1 โดยแต่ละสัญญาณจะถูกหักลบสัญญาณภูมิหลังอื่นๆ ออกก่อนที่จะนำไปคำนวณอัตราส่วน ผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารส่วนใหญ่ที่เครื่องสามารถวัดได้อยู่ในระดับต่ำมากถึง 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตาม มีสารพี เอ เอช 2 ตัวที่ไม่สามารถตรวจพบคือ สารเบนโซ [บี] ฟลูออแรนทีน และเบนโซ [เค] ฟลูออแรนทีน ในชุดสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ ที่เตรียมได้ แต่เวลารีเทนชันของสารนี้มีค่าประมาณ 25 นาที การทดสอบเบื้องต้นนี้คล้ายกับการทดลองที่ D.R. Choudhury และ B. Bush ได้ทำการศึกษาสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบสารอัลคิลพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดร

คาร์บอน โดยทำการแยกสารด้วยเครื่องจี ซี และสามารถตรวจวัดสารด้วยเครื่องเอ็ม เอส ได้ แต่ไม่สามารถแยกสารไอโซเมอร์ของสารพวกเบนโซฟลูออแรนทริน ได้

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน(ในสารละลายมาตรฐาน อี พี เอ 610) ที่เครื่องจี ซี / เอ็ม เอส สามารถทำการวิเคราะห์ได้

สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน	น้ำหนักโมเลกุล	เวลาริเทนชัน (นาที)	ความเข้มข้นต่ำสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แนฟทาลีน	128	4.611	0.25
อะซีแนฟโทลีน	152	6.689	0.25
อะซีแนฟทีน	154	7.026	0.25
ฟลูออรีน	166	8.158	0.25
ฟิแนนทริน	178	10.994	0.25
แอนทราซีน	178	11.155	0.25
ฟลูออแรนซีน	202	14.898	0.25
ไพรีน	202	15.546	0.25
เบนโซ (เอ) แอนทราซีน	228	21.117	0.50
ไครซีน	228	21.210	1.00
เบนโซ (บี) ฟลูออแรนซีน	252	25.063	nd
เบนโซ (เค) ฟลูออแรนซีน	252	25.143	nd
เบนโซ (เอ) ไพรีน	252	26.091	1.00
อินดีโน (1,2,3- ซี ดี) ไพรีน	276	29.189	2.00
ไดเบนโซ (เอ, เอช) แอนทราซีน	278	29.309	2.00
เบนโซ (จี เอช ไอ) เพอร์รีน	276	29.569	1.00

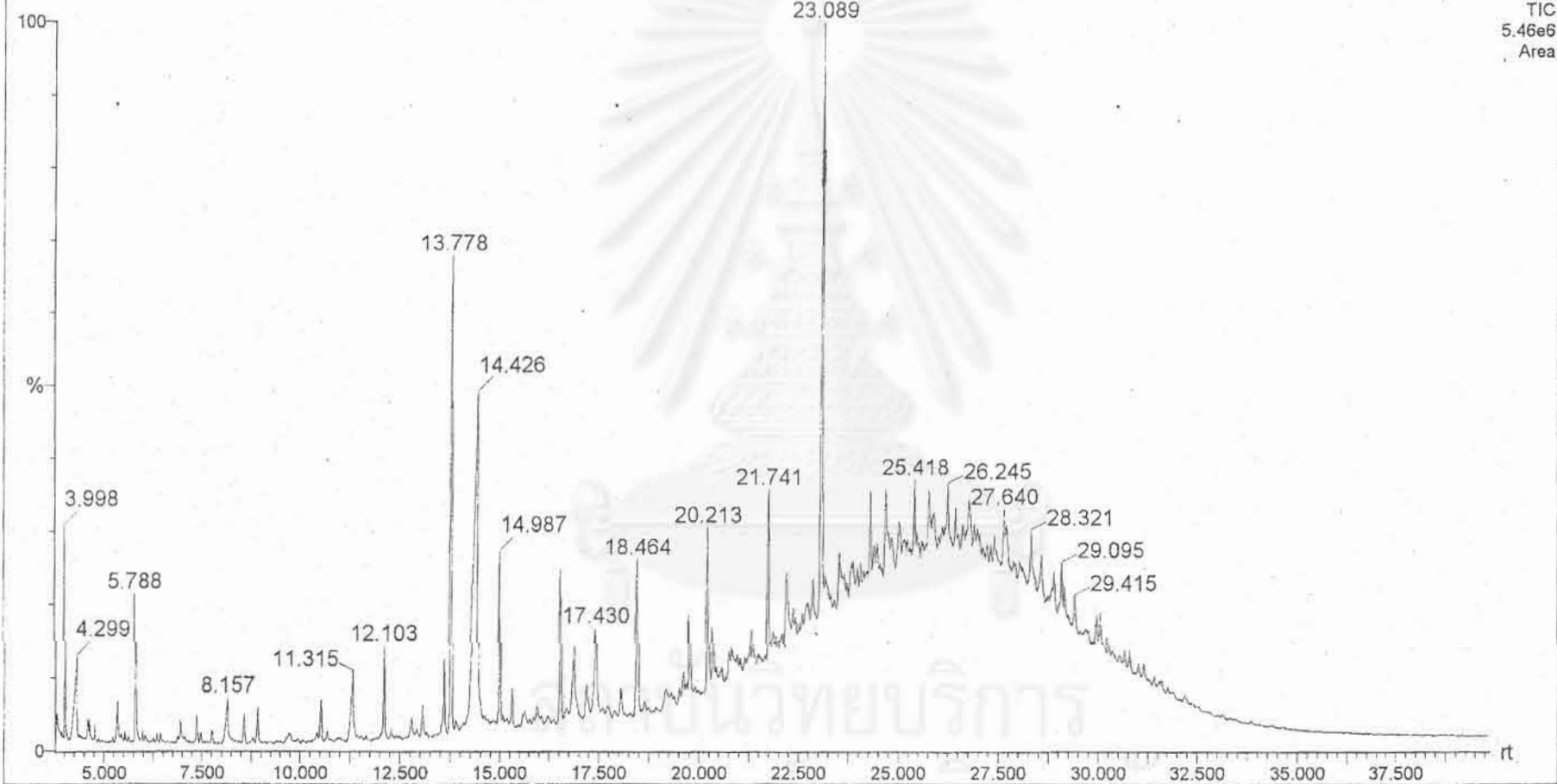
หมายเหตุ:- nd หมายถึง สารที่วิเคราะห์ได้ปริมาณต่ำกว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถจะวัดได้ หรืออาจจะไม่มีสารชนิดนั้นในอากาศ

4.2 การวิเคราะห์สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่เกาะติดกับอนุภาคในอากาศ

สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการแยกสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในสารละลายมาตรฐาน อี พี เอ 610 ถูกนำมาใช้เป็นสภาวะในการแยกสารตัวอย่าง โดยผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่สุ่มเก็บในย่านต่างๆ ด้วยสภาวะเดียวกันนี้ แสดงเป็นโครมาโตแกรมที่มีความซับซ้อน ทำให้โครมาโตแกรมของทุกตัวอย่างมีลักษณะคล้ายกันหมดดังแสดงในภาคผนวก ค โครมาโตแกรมที่แสดงในรูปที่ 4-1 เป็นตัวอย่างอนุภาคอากาศที่เก็บจากสถานีเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณถนนเยาวราช ซึ่งเป็นย่านธุรกิจการค้าที่มีการจราจรหนาแน่น มีบ้านเรือน และตึกสูงอยู่สองข้างทางจำนวนมาก รูปที่ 4-2 เป็นโครมาโตแกรมของตัวอย่างอนุภาคอากาศในบริเวณที่อยู่ห่างจากริมถนนเป็นระยะทางเกิน 100 เมตร ซึ่งอยู่ภายในรั้วของสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา แม้จะมีรถยนต์วิ่งเข้าออกสถาบันบ้าง แต่จัดว่าเป็นปริมาณที่เบาบางมาก เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆ จึงสามารถใช้เป็นตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติก ไฮโดรคาร์บอนกับบริเวณอื่นได้ เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณมีอาจกระทำได้ถ้าขาดสารมาตรฐานของสารที่ต้องการศึกษานั้น ดังนั้นการศึกษาในที่นี้จึงจำกัด และเน้นเฉพาะสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน 16 ตัวในสารละลายมาตรฐาน อี พี เอ 610 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารที่เกาะติดอยู่กับอนุภาคในอากาศที่สามารถละลายได้ด้วยตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอนดังแสดงในรูป ง1(ภาคผนวก ง) การวิเคราะห์ทางคุณภาพ และทางปริมาณของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติก ไฮโดรคาร์บอน จะอาศัยการบันทึกโครมาโตแกรมด้วยโหมดเอส ไอ อาร์ และวัดพื้นที่ใต้พีคที่ทำการหักสัญญาณภูมิหลังของแมสสเปคออกแล้ว(ข้อมูลแสดงใน ภาคผนวก จ) นำค่าที่ได้จากโครมาโตแกรมไปคำนวณหาปริมาณของสาร โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารแต่ละชนิดที่สร้างขึ้น(ดังแสดงใน ภาคผนวก ฉ) ได้เป็นความเข้มข้นของสารต่อปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ ซึ่งต้องทำการคำนวณต่อไปเพื่อหาเป็นความเข้มข้นของสารต่อปริมาตรของอากาศที่เก็บ(ตัวอย่างการคำนวณ ดังแสดงใน ภาคผนวก ก) ชนิดและปริมาณของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติก ไฮโดรคาร์บอนที่ตรวจพบในตัวอย่างจากทุกสถานี ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน 2539 ได้สรุป และรายงานไว้ในตารางที่ 4-1 การรายงานปริมาณสารบางตัวเป็น "identified" แสดงว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจี ซี / เอ็ม เอส พบสารเหล่านั้นจริง แต่มีปริมาณน้อยมาก จนไม่สามารถทำการวัดปริมาณให้ละเอียดถูกต้องได้ และที่ระบุว่าเป็น "nd" หมายถึง สารที่วิเคราะห์ได้มี

Sample ID:
Acquired 22-Jul-1996 at 01:00:04
01C12345

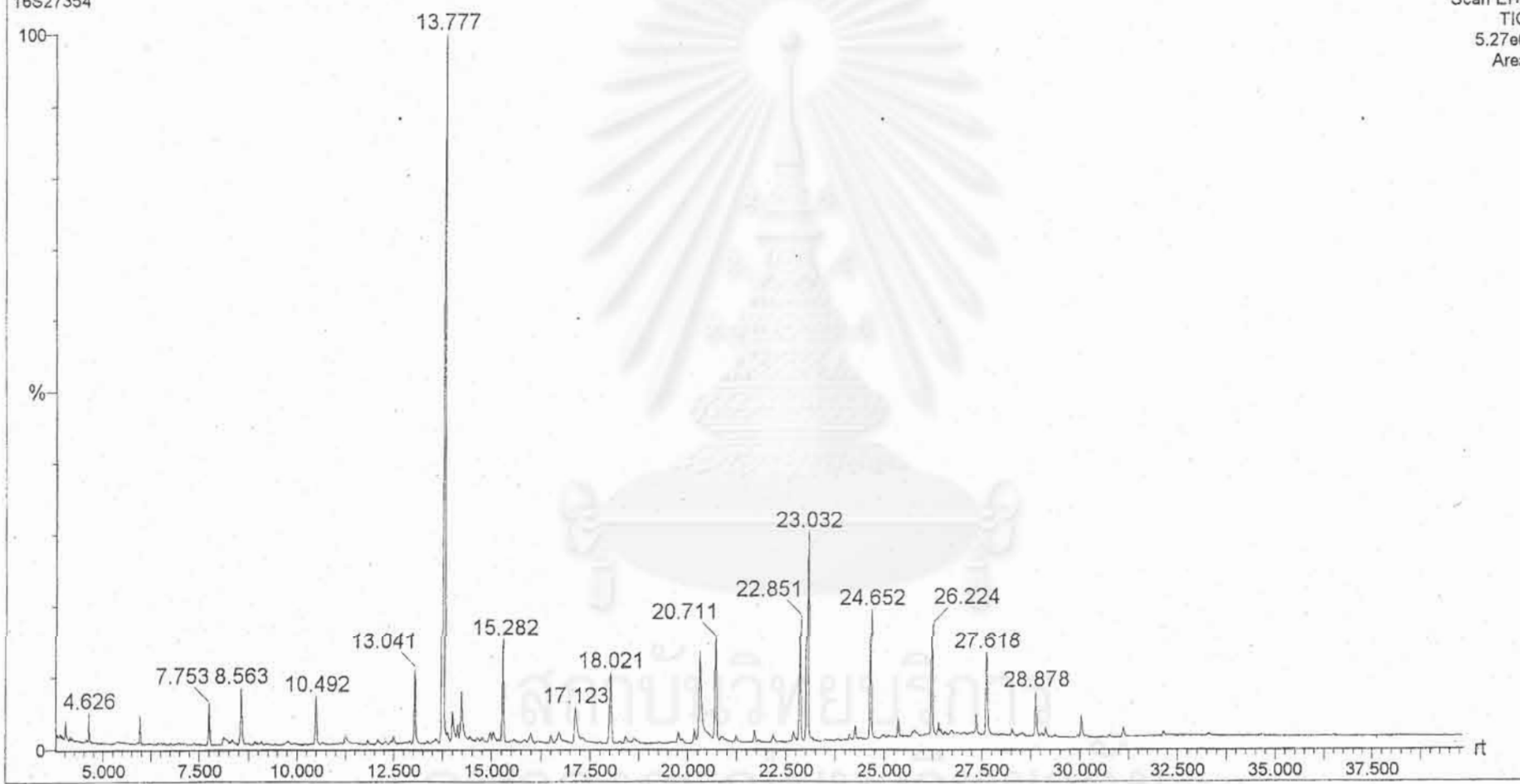
Scan EI+
TIC
5.46e6
Area



รูปที่ 4-1 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศในบริเวณริมถนน(ถนนเยาวราช)

Sample ID:
Acquired 29-Jul-1996 at 06:19:17
16S27354

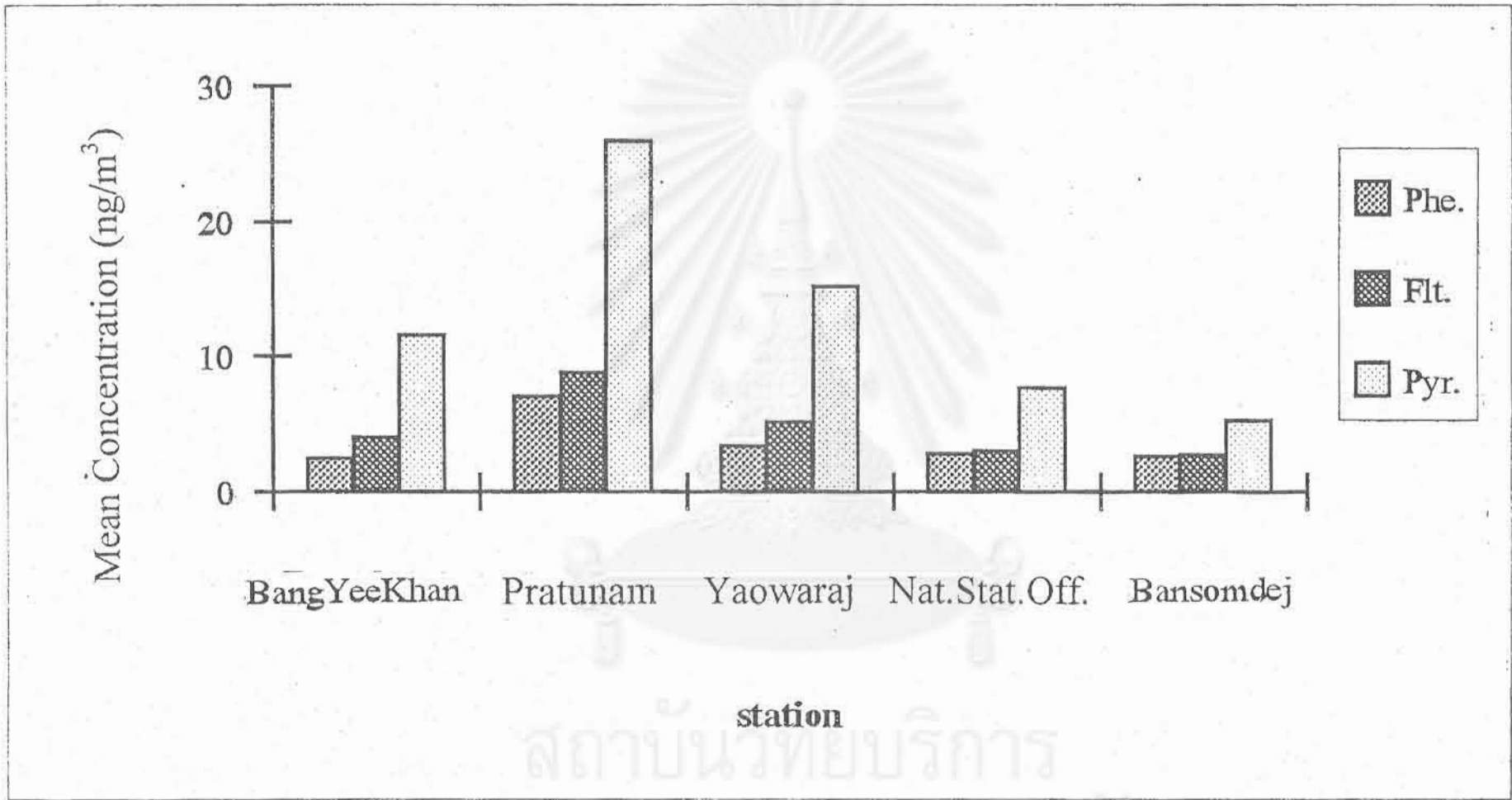
Scan EI+
TIC
5.27e6
Area



รูปที่ 4-2 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศในบริเวณที่ห่างจากถนน(ภายในสถาบันราชภัฏ วิทยาลัยครูบ้านสมเด็จจ)

ปริมาณต่ำกว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถจะวัดได้ หรืออาจจะไม่มีสารชนิดนั้นในอากาศจึงไม่สามารถตรวจพบสารได้ การวิเคราะห์ตัวอย่างจากทุกสถานีได้ผลเหมือนกันหมด คือ พบสารพีแนนทริน ฟลูออแรนทริน และไพรีน แต่มีปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกัน และเป็นที่น่าสังเกตว่า ในบริเวณที่ห่างจากริมถนน หรือภายในสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา สารที่พบส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่าตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณริมถนน นอกจากนี้ ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณที่มีการจราจรติดขัดมาก ๆ เช่น ย่านประตูน้ำจะพบปริมาณของสารทุกตัวสูงกว่าบริเวณอื่นมาก โดยบริเวณที่พบปริมาณของสารทุกตัวรองลงมาคือบริเวณถนนเยาวราช บางยี่ขัน และสำนักงานสถิติแห่งชาติ การเปรียบเทียบปริมาณสารบริเวณริมถนนกับบริเวณที่ห่างจากถนน แสดงให้เห็นว่าอนุภาคที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์มีสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเกาะติดออกมาด้วย และปริมาณที่พบก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของรถยนต์ในบริเวณนั้น สถานีเก็บตัวอย่างที่สำนักงานสถิติแห่งชาติตั้งอยู่ห่างจากถนนแต่เป็นระยะทางที่น้อยกว่ากรณีของสถานีเก็บตัวอย่างที่สถาบันราชภัฏ แต่อย่างไรก็ตาม กรณีของสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จ ก็พบสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน ในปริมาณที่ต่ำกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากภายในสถาบัน และบริเวณที่ตั้งสถานีเก็บตัวอย่างจะมีรถยนต์ของนักศึกษาภาคนอกเวลาเข้า/ออก และเข้ามาจอดในบริเวณนี้บ้าง โดยเฉพาะนอกเวลาราชการ แต่พบว่าปริมาณรถยนต์ยังคงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณท้องถนน แสดงว่าตัวอย่างที่เก็บได้จากสถานีนี้ยังไม่สามารถใช้เป็นตัวอย่างของบริเวณที่ปราศจากรถยนต์ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้เป็นตัวแทนเปรียบเทียบถึงอิทธิพลของรถยนต์ และการปล่อยอนุภาคในอากาศที่มีสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเกาะติดมาได้อย่างแท้จริง

รูปที่ 4-3 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารแต่ละตัวที่พบในตัวอย่างที่เก็บได้จากสถานีแต่ละแห่ง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2539 พบว่าปริมาณของสารทั้งหมดมีความเข้มข้นอยู่ในระดับนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ และการหาผลรวมของค่าเฉลี่ยของปริมาณสารทุกตัว สรุปได้ว่า บริเวณประตูน้ำมีค่าผลรวมของปริมาณเฉลี่ยมากที่สุด คือ 41.87 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ที่บริเวณบางยี่ขัน และถนนเยาวราชมีค่าผลรวมของปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 18.00 และ 23.71 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ตามลำดับ โดยผลรวมของปริมาณเฉลี่ยที่หน้าสำนักงานสถิติแห่งชาติ และที่สถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยามีค่าค่อนข้างต่ำคือ 13.50 และ 10.59 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ตามลำดับ ปริมาณเฉลี่ยของสารทั้งหมดในบริเวณประตูน้ำคิดเป็น 3.95 เท่าของปริมาณผลรวมของปริมาณเฉลี่ยของสารในบริเวณสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้า



รูปที่ 4-3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพี เอ เอช บางตัว ที่เก็บได้จากทุกสถานีในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2539)

พระยา จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนแปรผันตามปริมาณความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากในบริเวณประตูน้ำเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย ศูนย์กลางการค้า และธุรกิจ จึงมีการจราจรที่ติดขัดเกือบตลอดทั้งวัน ส่วนบริเวณหน้าสำนักงานสถิติแห่งชาติเป็นถนนที่มีรถวิ่งทางเดียวจึงมีช่วงการจราจรติดขัดเฉพาะบางวัน และบางช่วงเวลา ส่วนภายในบริเวณสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีเฉพาะรถเข้าออก และรถที่เข้าจอดของนักศึกษาเท่านั้น จากเหตุผลนี้จึงสรุปได้ว่า ไอเสียจากรถยนต์เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ในบรรยากาศของเขตกรุงเทพฯ

มีรายงานการวิจัยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 202 (ฟลูออรีน) ที่เกาะติดอยู่กับตัวอย่างอนุภาคในอากาศว่า พบสารเหล่านี้อยู่ในสภาวะก๊าซภายใต้สภาวะอากาศที่ความดันปกติ แต่ไม่พบสารอะซีแนฟโทลีน และอะซีแนฟทีน ในตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าชนิดของกระดาศกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคในอากาศ มีผลต่อการวิเคราะห์สารไดเบนโซ [เอ เอช] แอนทราซีน ด้วย โดยทำการวิเคราะห์ไม่พบถ้าใช้กระดาศกรองแบบไฟเบอร์ แต่อาจวิเคราะห์พบเมื่อใช้กระดาศกรองชนิดอื่นๆ จากการค้นพบของ Westerholm และคณะ ในปี ค.ศ.1988 ที่รายงานว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่างสารแนพทาลีน และไตรเมทิลแนพทาลีน(รวมทั้งพวกอนุพันธ์ที่มีหมู่ไบฟีนิลไบฟีนิลลีน และอัลคิล) จะอยู่ในสภาวะก๊าซเช่น มีรายงานการพบเป็นปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 ที่พบเกาะติดอยู่กับอนุภาคในอากาศที่อุณหภูมิ 30°ซ แม้ว่าจุดเดือดของสารทั้งหลายเหล่านี้จะสูงกว่า 200°ซ ก็ตาม และพบว่าประมาณร้อยละ 50 ของไพรีน ซึ่งมีจุดเดือด 398°ซ จะอยู่ในรูปของก๊าซที่อุณหภูมิ 30°ซ และเบนโซ (เอ) แอนทราซีน ซึ่งมีจุดเดือด 438°C ก็พบอยู่ในรูปของก๊าซประมาณร้อยละ 30 เช่นกัน

สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 13 ตัว ที่วิเคราะห์พบในทุกตัวอย่างจากทุกสถานีเก็บตัวอย่าง มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยอะโรมาติกเบนซีน ตั้งแต่ 2 วงคือ แนพทาลีน จนถึง 6 วงเบนซีนคือ เบนโซ [จี,เอช,ไอ] เพอร์ลีน(benzo[ghi]perylene) แต่มีเพียง 3 ชนิดที่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณได้คือพีแนพทีน, ฟลูออแรนทีน และไพรีน ส่วนสารที่เหลือมีความเข้มข้นต่ำจึงยากต่อการวิเคราะห์ทางปริมาณ ความเข้มข้นของสารเหล่านี้ ที่มีอยู่ในอากาศจริงๆอาจมีค่าสูงมากกว่าที่พบในการทดลอง เนื่องจากในขบวนการเก็บตัวอย่างอากาศที่เก็บโดยปล่อยให้อากาศไหลผ่านกระดาศกรองเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง อาจมีการระเหยของ

สารเหล่านี้ และอาจมีการหลุดออกไปตามการไหลของอากาศได้ นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ตลอดจนจนสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ตั้งของเครื่องเก็บอากาศด้วย

4.3 คุณลักษณะของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่พบในอนุภาคในอากาศ

ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บจากบริเวณที่มีการจราจรคับคั่ง พบสารพีแนนทรีน, ฟลูออแรนทีน และไพรีน เป็นปริมาณที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yang และ Bauman ในปี ค.ศ. 1995 ที่กล่าวไว้ว่า ปริมาณของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนทั้ง 3 ตัวนี้อาจใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงสภาพมลพิษในอากาศที่เกิดจากสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนได้ Gardner และคณะ รายงานไว้ในปี ค.ศ.1995 ว่าพบสารทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นปริมาณสูงที่สุดในตัวอย่างที่เก็บในช่วงฤดูร้อน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Allen และคณะ ในปี ค.ศ.1996 (ในส่วนที่กล่าวอ้างอิงถึงรายงานของ Yamasaki และคณะ ในปี ค.ศ.1982 และรายงานของ McVesity และ Hites ในปี ค.ศ.1988) ที่กล่าวว่า ปริมาณของสารพีแนนทรีน, ฟลูออแรนทีน และไพรีน ในสภาวะก๊าซจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศสูงขึ้น นอกจากนี้ Venkatanaman และคณะ ได้รายงานไว้ในปี ค.ศ.1994 (ในส่วนที่กล่าวอ้างอิงถึงรายงานของ Westerholm และคณะ ในปี ค.ศ.1988 และรายงานของ Masclet และคณะ ในปี ค.ศ.1986) ว่าในการศึกษาส่วนใหญ่มักจะพบสารพอลิไซคลิก อะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน โมเลกุลเล็ก เช่น สารพีแนนทรีน, ฟลูออแรนทีน, ไครรีน(chryrene) และไพรีน เป็นปริมาณสูงในไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้ยังมีรายงานจากการวิเคราะห์ไอเสียของเครื่องยนต์เบนซินว่าพบสารเบนโซ[จี เอช ไอ]เพอร์ลิโน(จากรายงานของ Venkatanaman และคณะ ในปี ค.ศ.1994 ในส่วนที่กล่าวอ้างอิงถึงรายงานของ Daisey และคณะในปี ค.ศ.1986) และสารโคโรนีน(จากรายงานของ Harrison และคณะ ในปี ค.ศ.1996 ในส่วนที่กล่าวอ้างอิงถึงรายงานของ Greenberge และคณะ ในปี ค.ศ.1984) ในระดับความเข้มข้นที่สูง

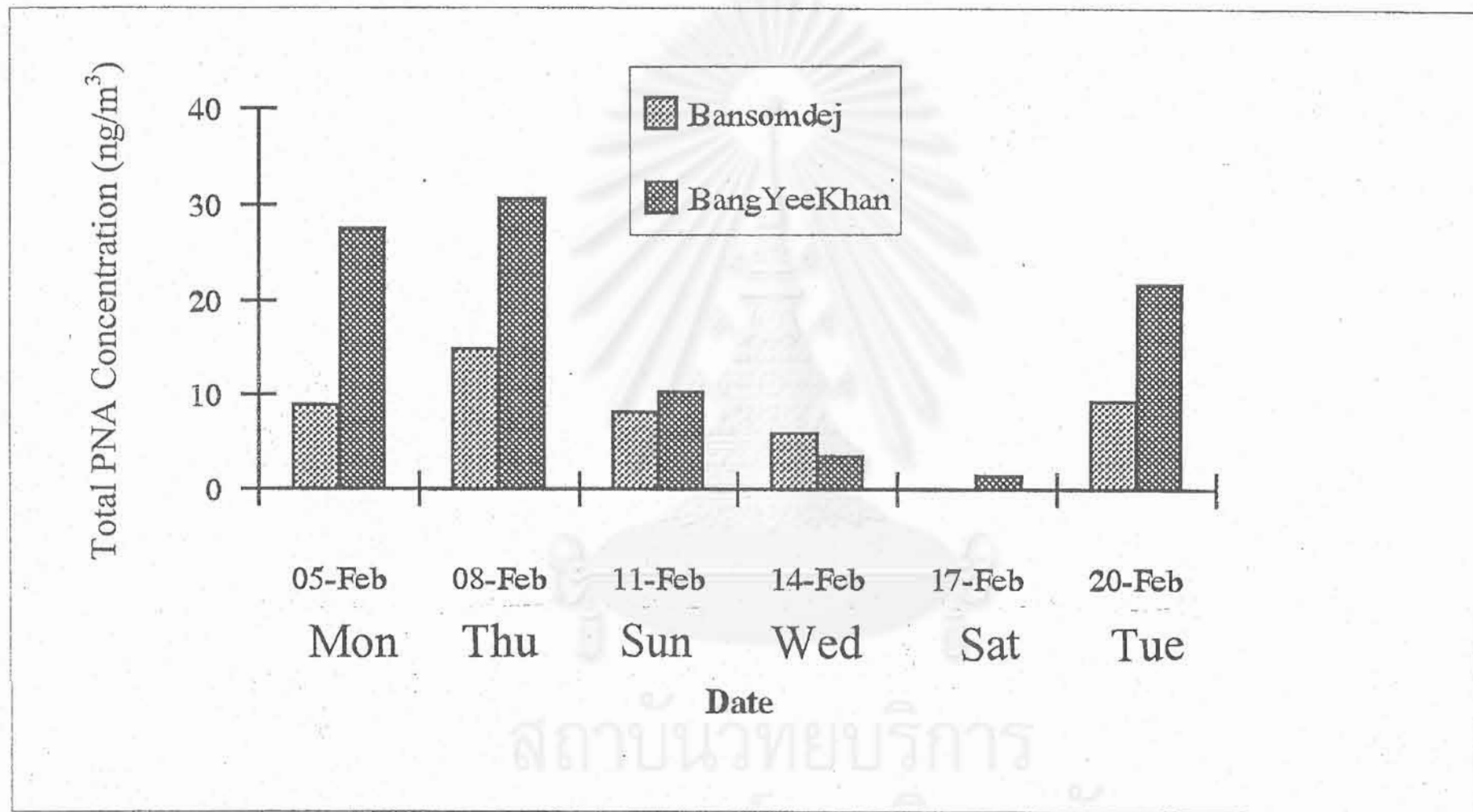
เมื่อทำการสร้างแผนภูมิที่แสดงการกระจายตัวของค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของไพรีน, ฟลูออแรนทีน และพีแนนทรีน จากข้อมูลที่มีอยู่ พบว่า แผนภูมิที่ได้จากแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 4-3 การที่ไม่แสดงค่าความเข้มข้นของสารอื่นๆ เนื่องจากไพรีน, ฟลูออแรนทีน และพีแนนทรีน มีปริมาณที่สูงมากกว่าสารพอลิไซคลิกอะโรแมติก

ไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ ปริมาณของไพรินโดยเฉลี่ยจากทุกสถานีคิดเป็นร้อยละ 61.1 ของปริมาณสารพอลิไซคลิก อะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่พบในบริเวณริมถนน และคิดเป็นร้อยละ 49.8 สำหรับบริเวณที่ห่างจากถนน และพบฟลูออแรนทีน มีค่าเฉลี่ยจากทุกสถานี คิดเป็นปริมาณประมาณร้อยละ 22.6 ในทั้งสองบริเวณ และปริมาณของพีแนนทริน มีค่าเฉลี่ยจากทุกสถานี คิดเป็นปริมาณประมาณร้อยละ 16.5 และ 24.4 ของปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่พบในบริเวณริมถนน และในบริเวณที่ห่างจากถนน ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้สามารถวิเคราะห์พบไพริน เป็นปริมาณสูงในทุกๆ ตัวอย่าง เนื่องจากสารชนิดนี้สามารถเกาะติดกับอนุภาคในอากาศได้ดีกว่าฟลูออแรนทีน และพีแนนทริน ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการระเหยมากกว่า เพราะเป็นสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนชนิดกึ่งระเหย(semi-volatile substance) จึงมีสถานะเป็นทั้งก๊าซ และอนุภาคในบรรยากาศ

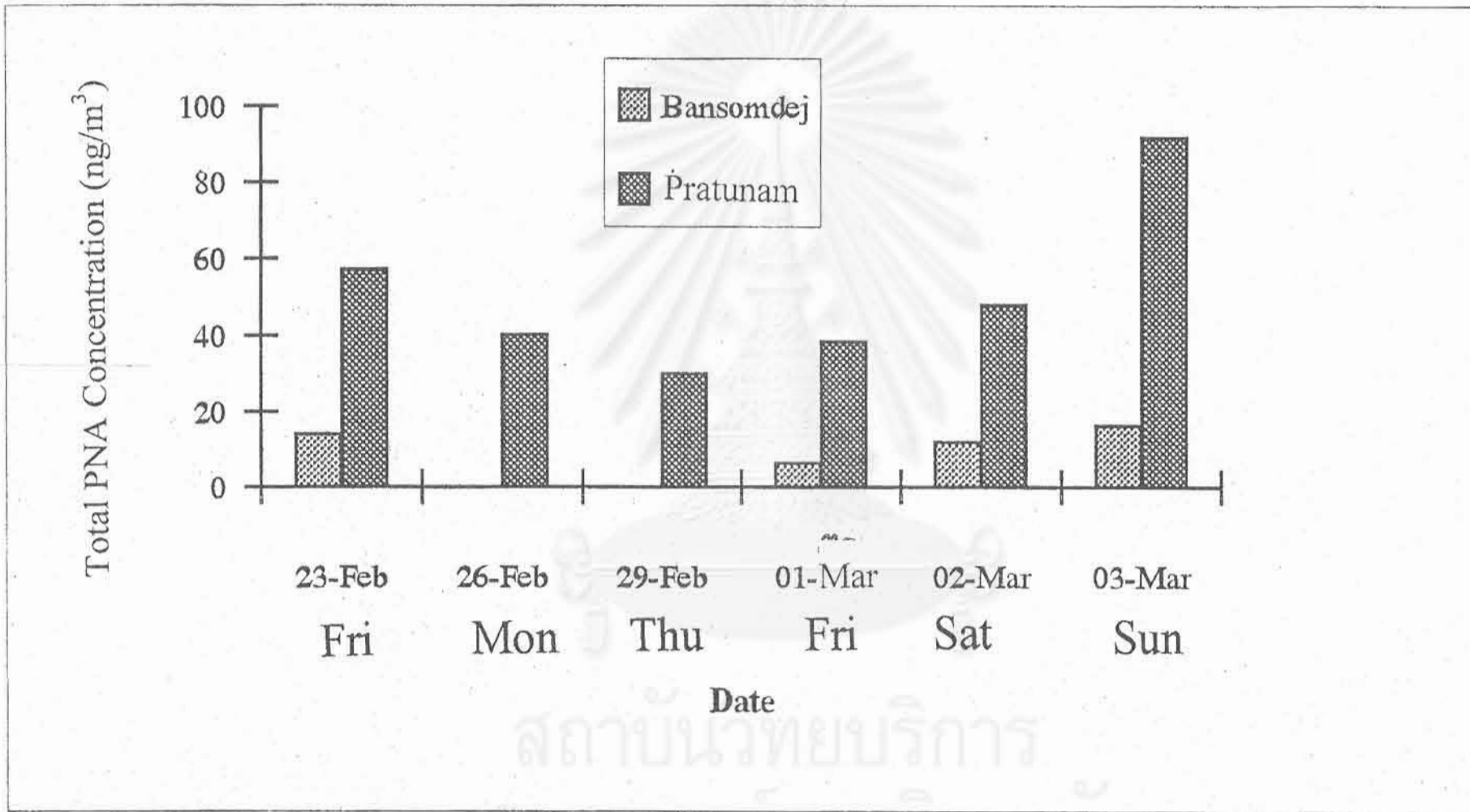
4.4 อิทธิพลของความหนาแน่นของการจราจรที่มีผลต่อปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

รูป 4-4 ถึง 4-7 แสดงปริมาณรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากบริเวณริมถนน ย่านบางยี่ขัน ประตูน้ำ เขาวราช และสำนักงานสถิติแห่งชาติ เปรียบเทียบกับบริเวณที่ห่างไกลจากถนนภายในสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา โดยทำการเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่า *null hypothesis* ยอมรับที่ระดับความเชื่อถือ (p) เท่ากับ 0.05 โดยบริเวณสถานีเก็บตัวอย่างอากาศบางยี่ขัน ประตูน้ำ และเขาวราช มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนมากกว่าในบริเวณสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยาอย่างมีนัยสำคัญ(ดังแสดงในตาราง 4-2) แม้ว่าผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารแต่ละตัวในบริเวณสำนักงานสถิติแห่งชาติมีค่าใกล้เคียงกับในบริเวณสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติก็แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

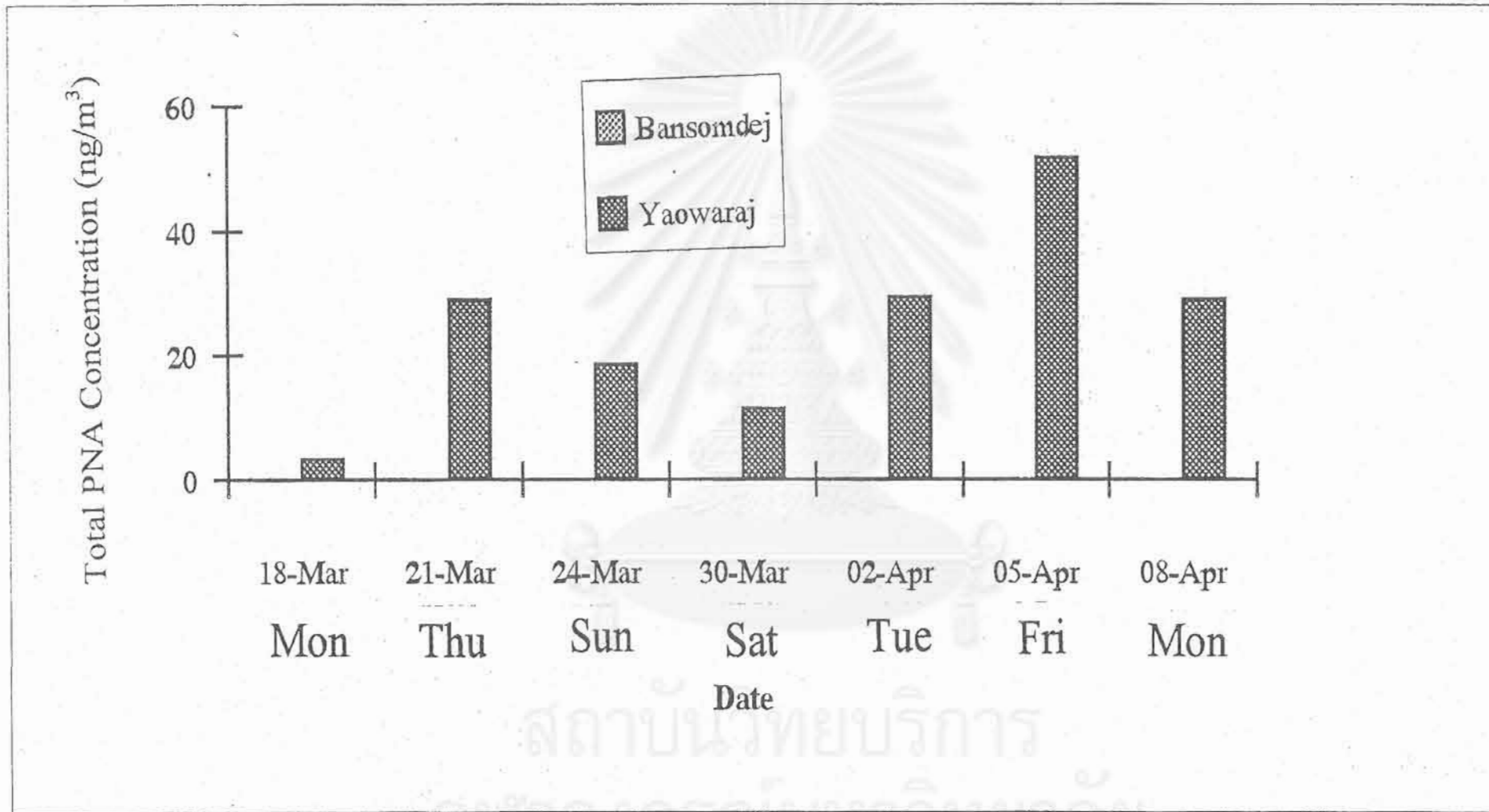
ได้มีรายงานการศึกษาปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน ที่ถูกปล่อยออกมาจากไอเสียของรถยนต์ดีเซลที่มีน้ำหนักบรรทุกแตกต่างกัน พบว่ารถยนต์ที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก(no load) จะมีการปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน ออกมากับไอเสีย



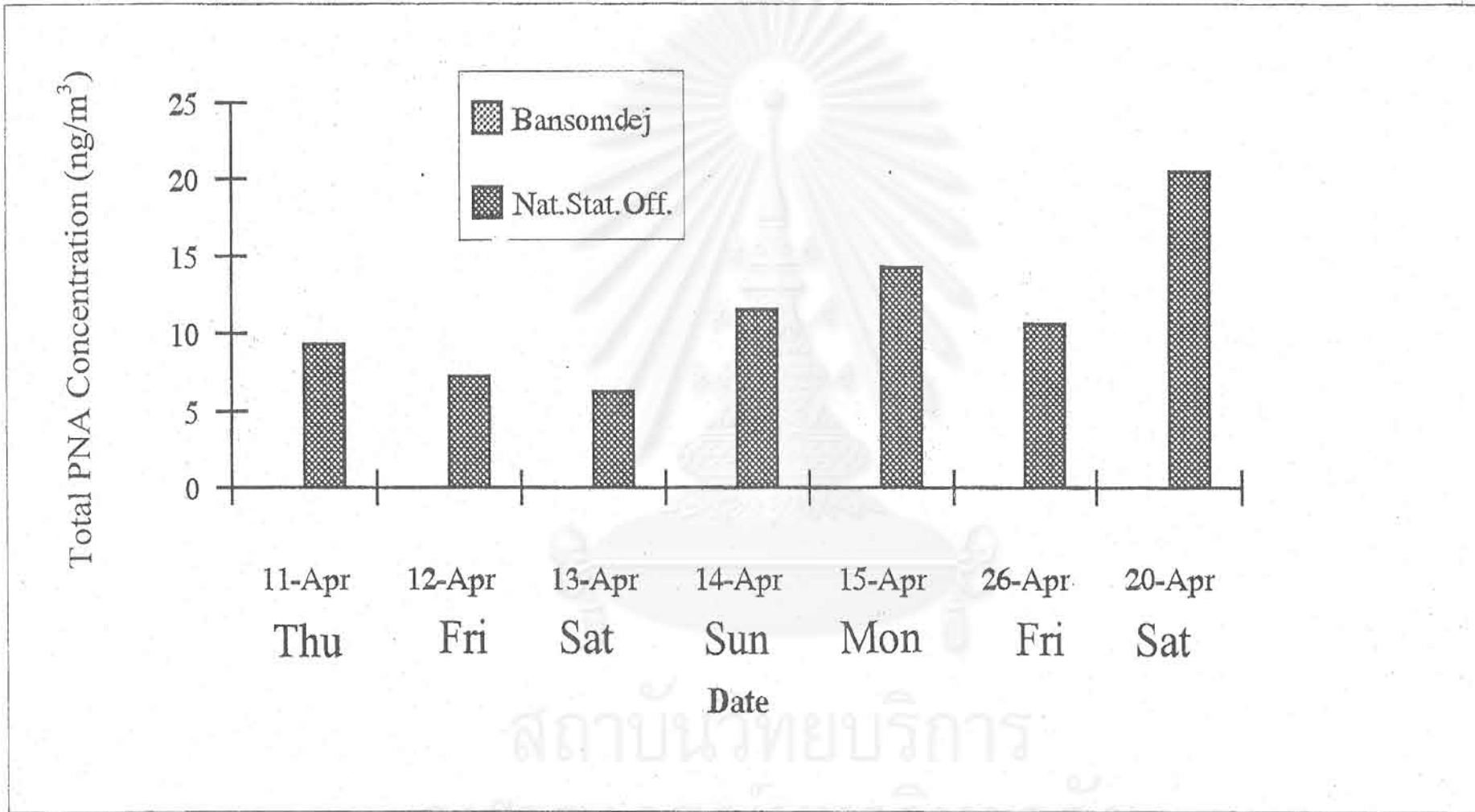
รูปที่ 4-4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(บางยี่ขัน) กับบริเวณที่ห่างไกลถนน(บ้านสมเด็จ)



รูปที่ 4-5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(ประตูน้ำ) กับบริเวณที่ไกลถนน(บ้านสมเด็จ)



รูปที่ 4-6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(เยาวราช) กับบริเวณที่ห่างจากถนน(บ้านสมเด็จ)



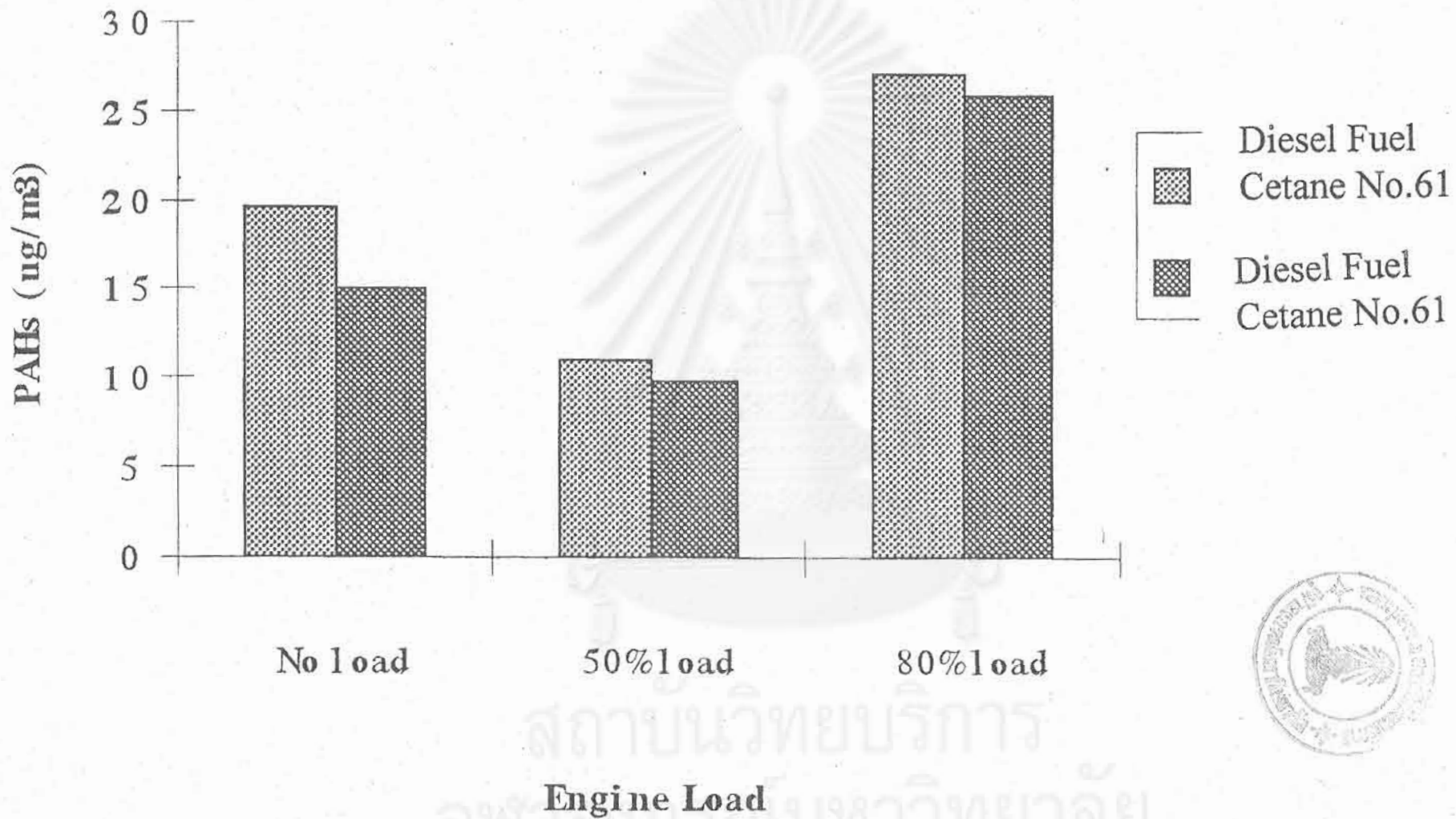
รูปที่ 4-7 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ในบริเวณที่ใกล้ถนน(สำนักงานสถิติแห่งชาติ) กับบริเวณที่ห่างจากถนน(บ้านสมเด็จ)

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าระดับความน่าเชื่อถือจากการทำที-เทสแบบอิสระ (t-test, independent) ของค่าความเข้มข้นรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน

สถานีเก็บตัวอย่าง	บ้านสมเด็จ	บางยี่ขัน	ประตูน้ำ	เยาวราช
บางยี่ขัน	0.000			
ประตูน้ำ	0.029	0.780		
เยาวราช	0.008	0.620	0.524	
สำนักงานสถิติแห่งชาติ	0.584	0.000	0.014	0.004

เป็นปริมาณที่มากกว่ารถยนต์ที่มีน้ำหนักบรรทุก 50% (ดังแสดงในรูป 4-8) ดังนั้นในสภาพการจราจรที่ติดขัดและมีการจราจรที่หนาแน่น รถยนต์จะมีความเร็ว และน้ำหนักบรรทุกต่ำ จึงมีการปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนออกมาสู่สิ่งแวดล้อมเป็นปริมาณสูง จึงมีการแนะนำให้มีการขับขี้อยนต์ในระดับความเร็วปานกลาง และมีน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสม

ตารางที่ 4-3 แสดงถึงปริมาณยานยนต์ต่อวันที่แล่นผ่านสถานีเก็บตัวอย่างอากาศ จากข้อมูลในตารางจะเห็นว่าบริเวณประตูน้ำ และเยาวราช มีปริมาณการจราจรที่ต่ำกว่าบริเวณบางยี่ขัน แต่กลับพบสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่สูงกว่า ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากทั้งสองฟากฝั่งของถนนในบริเวณประตูน้ำ และเยาวราช มีตึกสูงตั้งขนานอยู่ ส่งผลทำให้การกระจายตัวของอากาศ หรือการไหลเวียนของอากาศน้อย จึงมีสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนตกค้างอยู่เป็นปริมาณสูง ในรูป 4-5 แสดงปริมาณความเข้มข้นรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในรอบสัปดาห์ พบว่ามีปริมาณของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนสูงในบริเวณประตูน้ำในช่วงวันศุกร์ เสาร์ และอาทิตย์ เนื่องมาจากความหนาแน่นของการจราจรในช่วงวันดังกล่าวมีสูงกว่าวันอื่นๆ



รูปที่ 4-8 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อความเข้มข้นของสารพี เอ เอชที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

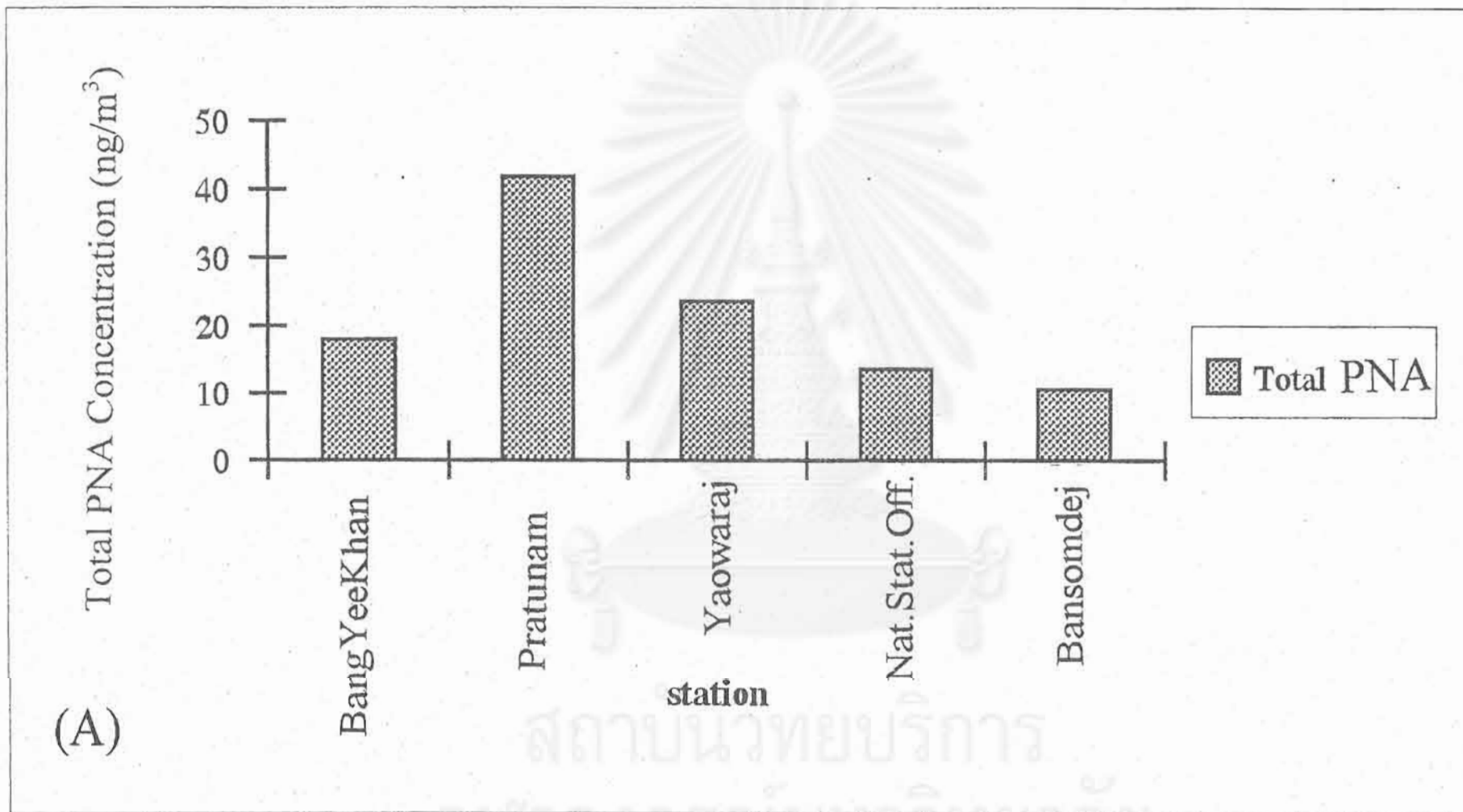


ตารางที่ 4-3 แสดงปริมาณยานยนต์ต่อวันที่แล่นผ่านสถานีเก็บตัวอย่างอากาศ และปริมาณรวมของสารพอลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในแต่ละบริเวณ

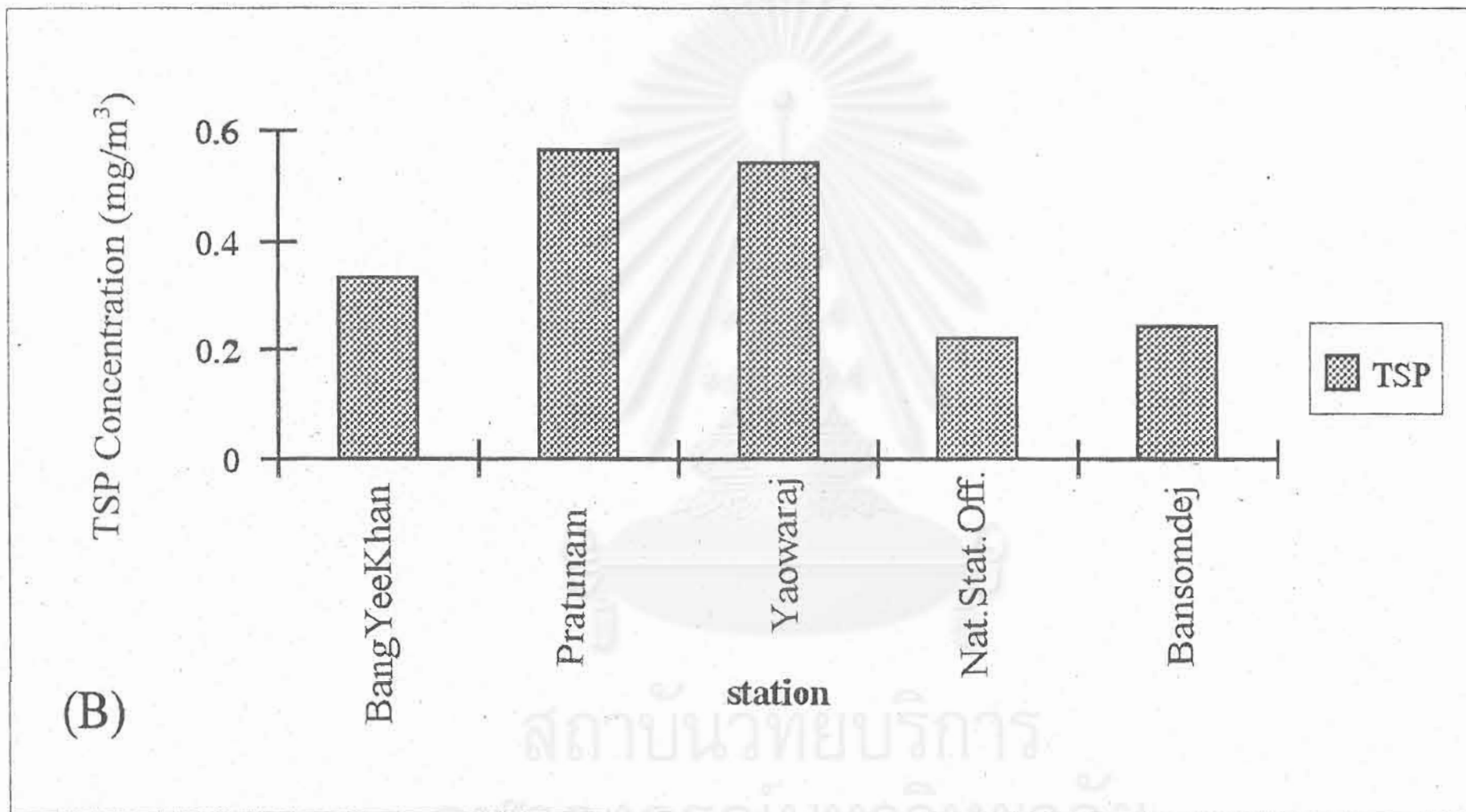
สถานีเก็บตัวอย่าง	ปริมาณยานยนต์ (คัน ต่อ วัน)	สารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.)
บางยี่ขัน	97,390	17.22
ประตูน้ำ	92,693	41.87
เยาวราช	48,037	22.58
สำนักงานสถิติแห่งชาติ	62,340	12.20
สถาบันราชภัฏบ้านสมเด็จ (บริเวณที่ห่างจากถนน)		10.60

4.5 อิทธิพลของปริมาณอนุภาคในอากาศทั้งหมด(TSP) ที่มีผลต่อปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคในอากาศทั้งหมด หรือที่ เอส พี (Total Suspension Particulate, TSP) และปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน แสดงในรูป 4-9 และ 4-10 จากรูปจะเห็นว่าบริเวณสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีทั้งปริมาณอนุภาคในอากาศ และปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนต่ำที่สุด และพบว่าลักษณะของอนุภาค และปริมาณของอนุภาคจากตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณริมถนน มีความแตกต่างจากตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณที่ห่างจากถนน โดยปริมาณอนุภาคในอากาศบริเวณริมถนน แถบประตูน้ำ และเยาวราช มีค่าสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากถนนภายในสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และสำนักงานสถิติแห่งชาติ ตารางที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่าค่าความสัมพันธ์ของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติก ไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณริมถนน มีความสัมพันธ์ขนาดปานกลางกับความเข้มข้นรวมของอนุภาคในอากาศ (ค่า $\gamma > 0.65$, $P < 0.05$ ตามลำดับ) ผลที่ได้แสดงว่าความหนาแน่นของการจราจรมีอิทธิพลต่อปริมาณอนุภาคในอากาศ



รูปที่ 4-9 ความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช ที่สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539)



รูปที่ 4-10 ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในบรรยากาศที่สถานีเก็บตัวอย่างอากาศ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539)

4.6 อิทธิพลของตัวแปรทางอุณหภูมิต่อปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

ตัวแปรทางอุณหภูมิต่อปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้มีความแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงแคบๆ เพราะการศึกษาในที่นี้กระทำในช่วงเวลาสั้นๆ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตาราง 4-5 ซึ่งแสดงว่าในการศึกษาครั้งนี้ช่วงห่างของปัจจัยต่างๆ มีน้อยมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช กับค่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ปัจจัยทาง อุตุนิยมวิทยา	บางยี่ขัน		ประตูน้ำ		เขาวราช		สำนักงานสถิติแห่งชาติ		บ้านสมเด็จ		ทุกสถานี	
	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์
ปริมาณน้ำฝน	0.7540	-0.0883	0.7410	0.8650	-	-	0.8330	-0.6500	0.7810	0.1087	0.5510	0.7150
ความชื้นสัมพัทธ์	0.1290	-0.4101	0.3120	-0.2607	0.7660	-0.7560	0.0710	0.5164	0.2280	-0.4470	0.7300	-0.0414
แสงอาทิตย์	0.8780	-0.4350	0.5880	-0.1416	0.3090	-0.2541	0.6600	-0.1350	0.5400	0.2364	0.7990	0.0305
อุณหภูมิ	0.1090	-0.4304	0.9420	0.0190	0.9420	0.0183	0.5050	-0.2037	0.9560	0.0216	0.4520	-0.0901
ความดันไอ	0.0620	-0.4939	0.3260	-0.2535	0.3990	0.2119	0.2700	0.3307	0.2550	-0.4239	0.3590	-0.1097

หมายเหตุ:- ค่า p-value คือค่าที่บอกถึงระดับความเชื่อมั่น ถ้าค่า p-value มีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยนั้นมีผลกระทบต่อค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสารพี เอ เอช

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

การศึกษาสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเบื้องต้นกับสารมาตรฐานของ พี เอ 610 ประกอบด้วยสารพี เอ เอช 16 ตัว เพื่อหาสภาวะที่ใช้แยกสาร พี เอ เอช ที่เหมาะสม โดยฉีดสาร 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่องจี ซี ที่อุณหภูมิของอินเจ็คเตอร์ 250 °ซ ใช้ฮีเลียมเป็นตัวพา ไอสารด้วยอัตราการพา 45 ซม. ต่อ วินาที เข้าคอลัมน์ (ดีบี-1 เอช ที) ยาว 30 เมตร สู่ออกแยก โดยอุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 60 °ซ นาน 1 นาที เปลี่ยนเป็น 150 °ซ ด้วยอัตราการเพิ่ม อุณหภูมิ 20 °ซ ต่อ นาที คงไว้ที่ 150 °ซ นาน 3 นาที ปรับเปลี่ยนไปเป็น 200 °ซ ด้วยอัตรา 8 °ซ ต่อ นาที คงไว้ที่ 200 °ซ นาน 3 นาที และอัตรา 8 °ซ ต่อ นาที ไปที่ 310 °ซ และคง ไว้ นาน 8 นาที สิ้นสุดการแยกของคอลัมน์ ไอสารเคลื่อนผ่านอินเตอร์เฟสที่อุณหภูมิ 250 °ซ และเข้าสู่บริเวณกลางอิเล็กโตรดที่มีอิเล็กตรอนพลังงานสูง +70 อิเล็กตรอนโวลต์ เกิดการชน กับอิเล็กตรอน และแตกตัวเป็นแฟร็กเมนต์ไอออน ซึ่งเคลื่อนที่ต่อไปภายใต้สนามไฟฟ้าของคอดู โพลไปสู่เครื่องตรวจวัดมวลไอออนของแฟร็กเมนต์ ด้วยอัตราการสแกนของคอดูโพลครอบคลุม ช่วงมวลไอออน 50 - 400 เอ เอ็ม ยู ต่อ วินาที และบันทึกแมสสเปกตรัมของสาร แต่การ วิเคราะห์ปริมาณสาร ได้ทำโดยบันทึกความเข้มของไอออนแฟร็กเมนต์เฉพาะแฟร็กเมนต์ที่ สนใจ แทนการสแกน ความสามารถที่เครื่องจี ซี/ เอ็ม เอส ที่ใช้ทำการตรวจวัดปริมาณสาร พี เอ เอช ต่ำสุด 0.25 มก. ต่อ ลิตร โดยคิดจาก 5 เท่าของสัญญาณสารต่อสัญญาณสิ่งรบกวน

ตัวอย่างที่ทำการศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเมษายน 2539 ได้จากการเก็บตัวอย่างอนุภาคที่ยานประตุน้ำ เยาวราช บางยี่ขัน สำนักงานสถิติแห่งชาติ และสถาบันราชภัฏ วิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา โดยแหล่งสุดท้ายเป็นตัวแทนบริเวณ ที่ห่างไกลจากถนนและการจราจร สารพี เอ เอช 12 ตัว ที่พบ แต่สามารถหาปริมาณได้เพียง 3 ชนิด คือ พีแนทรีน, ฟลูออแรนทีน และไพรีน ปริมาณรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนอยู่ในช่วง 1.14 ถึง 91.78 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเฉลี่ยในบริเวณริมถนนเท่ากับ 24.27 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร และในบริเวณห่างไกลจากถนนมีค่าเท่ากับ 10.59 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณ ความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศทั้งหมดที่พบในแต่ละที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.221 - 0.564 มก. ต่อ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงเกินมาตรฐาน ยกเว้นที่สำนักงานสถิติแห่งชาติและสถาบันราชภัฏ

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีที-เทส แบบอิสระ (t-test independent) พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ตรวจพบในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีความสัมพันธ์ปานกลางกับปริมาณอนุภาคในอากาศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไอเสียจากรถยนต์เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารเหล่านี้ นอกจากนี้ รูปแบบการกระจายตัวของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปแบบของการปล่อยไอเสียของรถยนต์

บริเวณประตูน้ำ และเขาวราช มีทั้งปริมาณรวมของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และปริมาณอนุภาคในอากาศสูงเหมือนกัน และบริเวณภายในสถาบันราชภัฏวิทยาเขตบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีปริมาณต่ำกว่ามาก ซึ่งอาจชี้ให้เห็นว่ามลพิษของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศเป็นมลพิษแบบเฉพาะพื้นที่ และเกิดมาจากไอเสียของรถยนต์ ดังเช่น บริเวณที่ไกลจากถนนมีปริมาณสารลดลง

การแนะนำเพื่อการศึกษาต่อไปในอนาคต

ปริมาณสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้ในการทดลองนี้ มีปริมาณน้อยกว่าที่มีจริงในบรรยากาศ เนื่องจากในอากาศมีสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในรูปแบบของกึ่งสารระเหยด้วย แต่ในการศึกษาได้ทำการเก็บแต่สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ติดอยู่กับอนุภาคในอากาศเท่านั้น ถ้าต้องการทราบจำนวนที่ใกล้เคียงความจริงในบรรยากาศ ควรใช้อุปกรณ์ชนิดอื่นที่มีความเหมาะสมในการเก็บสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่สามารถระเหยได้ด้วย

ประเทศไทยควรมีการควบคุมปริมาณอนุภาคในบรรยากาศจากแหล่งกำเนิดต่างๆ เช่น ไอเสียจากรถยนต์ ผุ่นถนน การก่อสร้าง ซึ่งผุ่นเหล่านี้สามารถเป็นตัวกลางทำให้สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนปนเปื้อนในบรรยากาศ เนื่องจากสามารถอยู่ในบรรยากาศได้นาน และฟุ้งกระจายไปได้ไกลเมื่อรถวิ่งผ่านตลอดเวลา

เอกสารอ้างอิง

- Aceves, M., Grimalt, J.O., 1993, "Seasonally Dependent Size Distributions of Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Aerosols from Densely Populated Areas" **Environ. Sci. Technol.**, **27**, 2896-2908
- Allen J.O., Dookeran N.M., Smith K.A., and Sarofim A.F., 1996, "Measurement of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Size-Segregated Atmospheric Aerosols in Massachusetts", **Environ. Sci. Technol.**, **30**, 1023-1031.
- Avery, M., Richard, J. and Junk, G., 1984, **Talanta**, **31(1)**, 49-53
- Baker, J.E., Eisenreich, S.J., 1990, "Concentrations and Fluxes of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyl across the Air-Water Interface of Lake Superior", **Environ. Sci. Technol.**, **24**, 342-352
- Baeker, S.O., Field R.A., Goldstone M.E., Kirk P.W., Lester J.N. and Perry R., 1991, "A Review of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Sources, Fate and Behavior", **Water, Air, and Soil Pollute**, **60**, 279-300
- Bazylak, G. and Maslowska, J., 1990, **Fresenius. J. Anal. Chem.**, **336(3)**, 205
- Blumer, M., Blumer, W., and Reich, T., 1977, "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil of a Mountain Valley, Correlation with Highway Traffic and Cancer Incidence" **Environ. Sci. Technol.**, **11**, 1082-1086
- Breuer, G., 1984, "Solvents and techniques for the extraction of polynuclear aromatic hydrocarbons from filter samples of diesel exhaust", **Anal. Lett.**, **17(A11)**, 1293
- Bullin, J.A., Moe, R.D., 1982, "Measurement and Analysis of Aerosols along Texas Roadway", **Environ. Sci. Technol.**, **16**, 197-202
- Choudhury, D. R. and Bush, B., 1981, **Environ. Int.**, **5(4-6)**, 229-33
- Choudhury, D., 1982, **Environ. Sci. Technol.**, **16**, 102
- Choudhury, D. and Brian, B., 1980, "Polynuclear aromatic hydrocarbons in diesel emission particulates", **U.S. Environ. Prot. Agency, Off. Res. Dev.**, EPA ,175-86
- Cotham, W.E., bidleman, T.F., 1995, "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls in Air at an Urban and a Rural Site near Lake Michigan", **Environ. Sci. Technol.**, **29**, 2782-2789

- De Flora, S., Bagnasco, M., Izzotti, A., D'Agostini, F., Pala, M. and Valerio, F., 1989, Mutat. Res., 224(2), 305-18
- Dong, M. and Greenberg, A., 1988, J. liq. Chromatogr., **11(9-10)**, 1887-905
- Draft for Public Comment, Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.
Department of Health & Human Services USA., February 21, 1994
- Fetzer, J., Biggs, W. and Jinno, K., 1986, "HPLC analysis of the large polycyclic aromatic hydrocarbons in a diesel particulate", Chromatographia, **21(8)**, 439-42
- Gardner, B., Hewitt, C.N., and Jones, K.C., 1995, "PAHs in Air Adjacent to Two Inland Water Bodies", Environ. Sci. Technol., **29**, 2405-2413
- Gibson, T., 1986, J. Air Pollut. Control Assoc., 1022-25
- Gotze, H.J., Schneider, J. and Herzog, HG., 1991, "Determination of Polycyclic Aromatic-Hydricarbons in Diesel Soot by High-Performance Liquid-Chromatography", Fresenius Journal of Analytical Chemistry, **340**, 27-30
- Harkov, R., Greenberg, A., Darack, F., Daisey, J.M., and Lioy, P.J., 1984, "Summertime Variations in Polycyclic Aromatic Hydrocarbons at Four Sites in New Jersey", Environ. Sci. Technol., **18**, 287-291
- Harrison, R.M., Smith, D.J.T., Luhana, L., 1996, "Source Apportionment of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Collected from an Urban Location in Birmingham", U.K., Environ. Sci. Technol., **30**, 825-832
- Hartung, A., Kraft, J. Schulze, J., Kiess, H. and Lies, K., 1984, "The Identification of Nitrated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diesel Particulate Extracts and Their Potential Formation as Artifacts During Particulate Collection" Chromatographia, **19**, 269-73
- Hayakawa, K., Butoh, M. and Miyazaki, M., 1992, "Determination of Dinitropyrenes and Nitropyrenes in Emission Particulates from Diesel and Gasoline-Engine Vehicles by Liquid-Chromatography with Chemiluminescence Detection After Precolumn Reduction", Analytica Chimica Acta., **266**, 251-256
- Hayakawa, K. and Miyazaki, M., 1991, "Determination of 1,3-, 1,6-, 1,8-dinitropyrenes and 1-nitropyrene by high-performance liquid chromatography with chemiluminescence detection", Anal. Sci., **7**, 1045
- Hirose, A., Wiesler, D. and Novotny, M., 1984, Chromatographia, **18**, 239

- Jinno, K. and Kawasaki, K., 1984, "Microcomputer-assisted retention prediction system in reversed-phase HPLC", **Chromatographia**, **18(4)**, 211-15
- Jinno, K., Miyashita, Y., Sasaki, S., Fetzer, J. , John, B. and Wilton, R., 1991, "Separation of large polycyclic aromatic hydrocarbons in particulate matter by liquid chromatography" , **Environ. Monit. Assess.**, **19(1-3)**, 13-25
- Jinno, K., Ohta, H., Hirata, Y., Sasaki, S. and Abe, H., 1984, "Microcolumn Liquid Chromatography Combined with Computer-assisted Retention Prediction System for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Extract From Diesel Particulate Matter", **Anal. Lett.**, **17(A10)**, 905-13
- Jinno, K., Fetzer, J. and Biggs, W., 1986, **Chromatographia**, **21**, 274
- Kline, W., Wise, S. and May, W., 1985, **J. Liq. Chromatogr.**, **8(2)**, 223-37
- Kerkhoff, M, Lee, Terrie, M., Allen, E., Lundgren, D. J., 1985, , **Environ. Sci. Technol.**, **19(8)**, 695-9
- Kofmacher, W.A., and Miller, D.W., **Journal of High Resolution Chromatogr. Commun.**, **7**, 581
- Lee, S.C.F., Schuetzle, D., Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Bjorseth A., ed. Marcel Dekker, New York.
- Liberti, A., Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E. and Di Palo, C., 1984, "Determination of Nitrated-Polyaromatic Hydrocarbons (Nitro-PAHs) in Environmental Samples by High Resolution Chromatographic Techniques", **Journal of High Resolution Chromatogr. Chromatogr. Commun.**, **7(7)**, 389-97, 601
- Mellone, A., Smith, B. and Winefordner, J., 1990, **Talanta**, **37(1)**, 111-18
- Nabi, S., Haque, S., and Qureshi, P., 1983, **Talanta**, **30(12)**, 989-92
- Nielson, T., Sietz, B. and Ramdahl, T., 1984, **Atmos. Environ.**, **18**, 2159-2165
- Nikolaou K., Masclat P. and Mouvier G., 1984, "Source and Chemical Reactivity of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere - A Critical Review". **Sci. Total Envir.**, **32**, 103-132
- Oehme, M., Mano, S. and Stry, H., 1982, **Journal of High Resolution Chromatogr. Chromatogr. Commun.**, **5**, 417-423
- Peaden, P., Lee, M., Hirata, Y. and Novotny, M., 1980, **Anal. Chem.**, **52**, 2268-2271

- Poster, D.L., Hoff, R.M., Baker, J.E., 1995, "Measurement of the Particle-Size Distributions of Semivolatile Organic Contaminants in the Atmosphere", **Environ. Sci. Technol.**, 29, 199
- Pucknat, A.W., 1981, Health Impacts of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, Noyes Data Corporation, New Jersey, USA
- Ramdahl, T., Kveseth, K. and Becher, G., 1982, **Journal of High Resolution Chromatogr. Chromatogr. Commun.**, 5, 19-26
- Rappaport, S., Jin, Z. and Xu, X., 1982, **Journal of Chromatography**, 240, 145
- Rathore, H.S., 1993, CRC Handbook of Chromatography-Liquid Chromatography of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, CRC Press Inc., Florida, USA
- Robertson, D., Groth, R., Gardner, D. and Glastris, E., 1979, **J. Air Pollut. Control Assoc.**, 143-6
- Salmeen, I, Pero, A., Zator, R., Schuetzle, D. and Riley, T., 1984, **Environ. Sci. Technol.**, 18, 375
- Schilhabel, J. and Levsen, K., 1989, "Identification of Nitrated Polycyclic Hydrocarbon in Diesel Particulate Extracts by Negative Ion Chemical Ionization and Tandem Mass Spectrometry", **Fresenius Journal of Anal. Chem.**, 333(8), 803-4
- Schulze, J., Hartung, A., Kiess, H., Kraft, J. and Lies, K., 1984, "Identification of Oxygenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diesel Particulate Matter by Capillary Gas Chromatography and Capillary Gas Chromatography/Mass Spectrometry", **Chromatographia**, 19, 391-7
- Schuetzle, D., Riley, T., Prater, T., Harvey, T. and Hunt, D., 1982, **Anal. Chem.**, 54, 265-271
- Smith, J., Donald, J., and Shulman, S., 1983, "An Investigation of Filter Types, Extraction Solvents and Storage Conditions Used for PAH Measurement in Diesel Exhaust", **Anal. Lett.**, 16(A20), 1595-616
- Smith, D.J.T., Edelhauser, E.C., Harrison, R.M., 1995, "Polynuclear Aromatic Hydrocarbons Concentrations in Road Dust and Soil Samples Collected in the United Kingdom and Pakistan", **Environ. Sci. Technol.**, 16, 45-53
- Takada, H., Onda, T., Ogura, N., 1990, "Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Street Dusts and Their Source Materials by Capillary Gas Chromatography", **Environ. Sci. Technol.**, 24, 1179-1186

- Tokiwa, H., Kitamori, S., Takahashi, K. and Ohnishi, Y., 1980, **Mutat. Res.**, **77(2)**, 99-108
- Vanvaeck, L., Broddin, G., and Cauwenberghe, K.V., 1979. "Differences in Particle Size Distributions of Major Organic Pollutants in Ambient Aerosols in Urban, Rural, and Seashore Area", **Environ. Sci. Technol.**, **13**, 1494-1502
- Verkataraman, C., Liroy, P.J., and Friedlander, S.K., 1994, "Size Distributions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Element Carbon. 1. Sampling, Measurement Methods, and Source Characterization", **Environ. Sci. Technol.**, **28**, 555-562
- Vo-Dinh, T. 1989. Chemical Analysis of Polycyclic Aromatic Compounds. John Wiley & Sons, Inc.
- Westerholm, R., Stenberg, U., and Alsberg, T., 1988, "Some Aspects of the Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAH) between Particles and Gas Phase from Diluted Gasoline Exhausts Generated with Use of A Dilution Tunnel, and its Validity for Measurement in Ambient Air", **Atmospheric Environment.**, **22**, 1005-1010.
- White, C, Robbat, A. and Hoes, R., 1984, **Anal. Chem.**, **56**, 232-236
- Yamasaki, H., Kuwata, K., Miyamoto, H., 1982, "Effects of Ambient Temperature on Aspects of Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons", **Environ. Sci. Technol.**, **16**, 189-194.
- Yang, Y., Baumann, W., 1995, "Seasonal and Areal Variations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Street Dust Determined by Supercritical Fluid Extraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry", **Analyst.**, **120**, 243-248
- Yamasaki, H., Kuwata, K. and Miyamoto, H., 1982, **Environ. Sci. Technol.**, **16**, 189-94
- Zielinska, B., Arey, J., Atkinson, R. and Winer, A., 1989, **Atmos. Environ.**, **23(1)**, 223-9



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการคำนวณปริมาตรของอากาศ ในหน่วยลูกบาศก์เมตร ใน 24 ชั่วโมง

จากการทดลอง อัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่านกระดาษกรองซึ่งวัดได้จากเครื่องโรตานิเตอร์(Corrected Rotameter) จะมีค่าไม่คงที่ตลอดการทดลอง เนื่องจาก อนุภาคในอากาศจะไปอุดตัน และกีดขวางการไหลผ่านของอากาศ ในการคำนวณปริมาตรของอากาศที่ทำการเก็บ จึงใช้อัตราเร็วโดยเฉลี่ยของอากาศที่วัดได้จาก โดยอัตราเร็วการไหลของอากาศที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 56 และ 52 ลบ.ฟ. ต่อ นาที สำหรับในช่วงแรก และช่วงสุดท้ายของการทดลอง ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอัตราเร็วอากาศมีค่าเท่ากับ 54 ลบ.ฟ. ต่อ นาที

$$\begin{aligned} \text{อัตราเร็วการไหลของอากาศโดยเฉลี่ย} &= \frac{54 \text{ ft}^3}{\text{min}} \times \frac{1440 \text{ min}}{24 \text{ hr}} = \frac{76,760 \text{ ft}^3}{24 \text{ hr}} \\ &= \frac{76,760 \text{ ft}^3}{24 \text{ hr}} \times \frac{0.0283 \text{ m}^3}{\text{ft}^3} = \frac{2172 \text{ m}^3}{24 \text{ hr}} \end{aligned}$$

วิธีการคำนวณน้ำหนักของอนุภาคในอากาศ

น้ำหนักของอนุภาคในอากาศสามารถคำนวณได้จากผลต่างของน้ำหนักของกระดาษกรองก่อน และหลังการเก็บตัวอย่างอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.417 และ 3.925 กรัมตามลำดับ โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นน้ำหนักของอนุภาคในอากาศที่ติดอยู่กับกระดาษกรอง และเป็นค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ดังนั้น น้ำหนักของอนุภาคในอากาศที่ทำการเก็บได้ในเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.508 กรัม หรือ 508,000 ไมโครกรัม

วิธีการคำนวณปริมาณของอนุภาคในอากาศ

ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศสามารถคำนวณได้จากค่าน้ำหนักของอนุภาคในอากาศ และปริมาตรของอากาศที่สามารถเก็บได้ในเวลา 24 ชั่วโมง

$$\text{ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศ} = \frac{508 \times 10^3 \mu\text{g}}{2172 \text{ m}^3} = \frac{234 \mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ ในเวลา 24 ชั่วโมง}$$



ภาคผนวก ข

โครมาโตแกรม และแมส สเปคตรัม

ของ

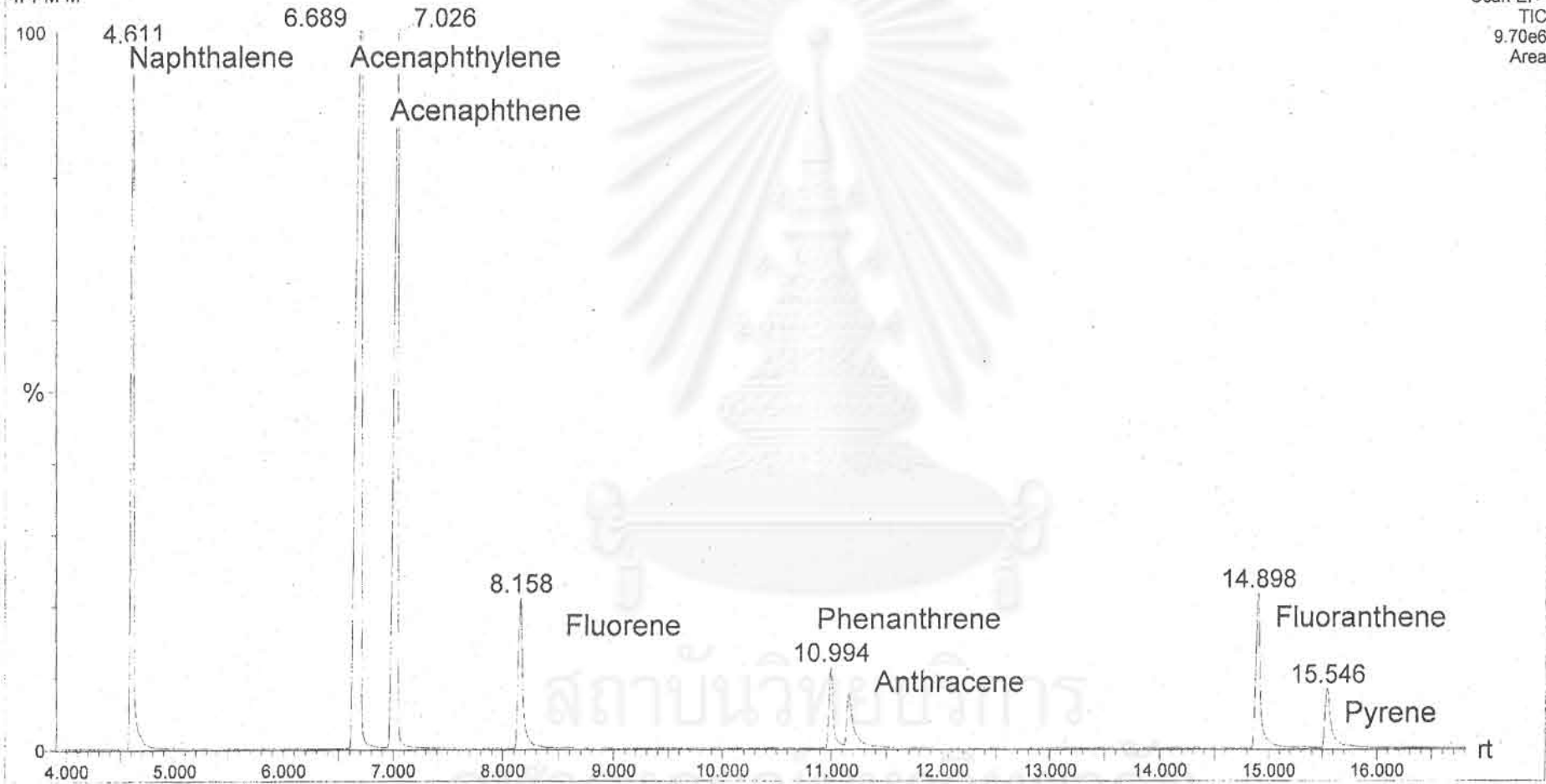
สารมาตรฐานพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สถาบันวิทยบริการ

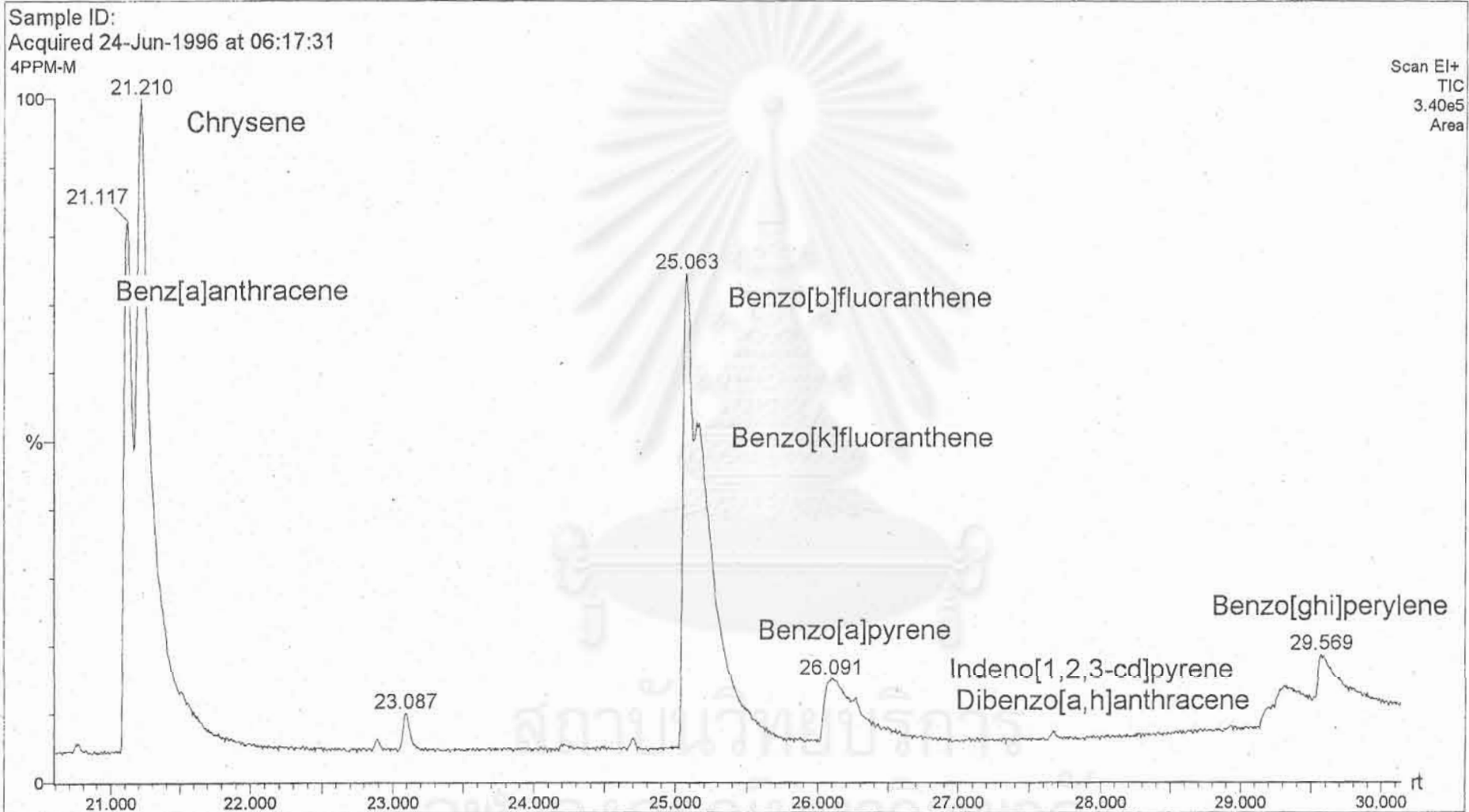
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample ID:
Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
4PPM-M

Scan EI+
TIC
9.70e6
Area



รูปที่ ข1-1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานโพลีไซคลิกอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน

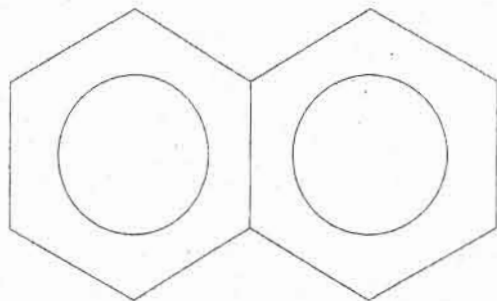


รูปที่ ข1-2 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

Compound Name: NAPHTHALENE

Synonym: Albocarbon

Molecular Weight: 128



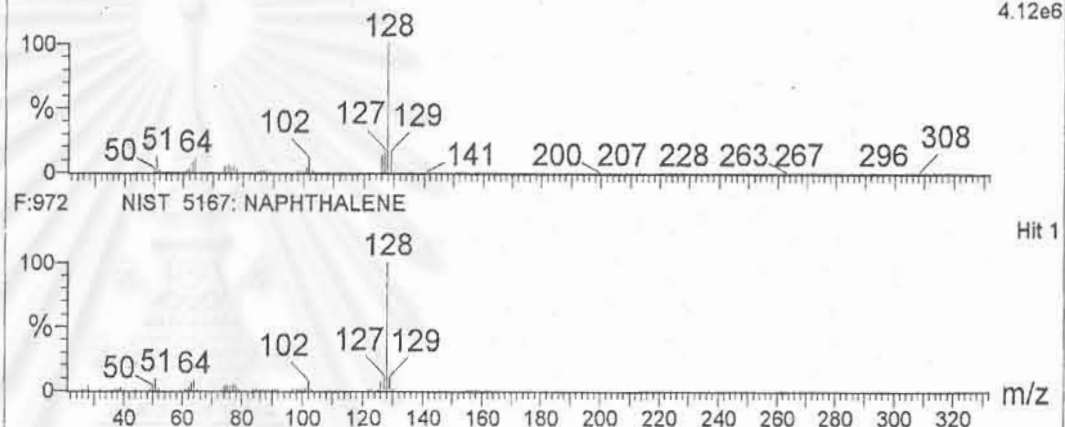
Sample ID:

Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31

Library: NIST

4PPM-M 128 (4.611)

Forward Fit: 972, Reverse Fit: 978



Data File: 4PPM-M

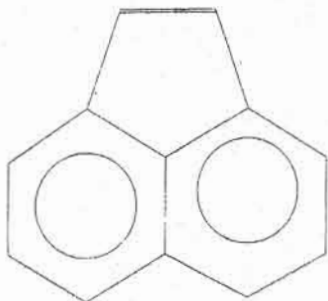
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	NAPHTHALENE	C ₁₀ H ₈	128	972	976	91-20-3	NIST	5167
2	AZULENE	C ₁₀ H ₈	128	960	964	275-51-4	NIST	5166
3	1H-INDENE, 1-METHYLENE-	C ₁₀ H ₈	128	940	978	2471-84-3	NIST	5168
4	CYCLOPROP A INDENE, 6-BROMO-1, 1A, 6, 6A-TETRA	C ₁₀ H ₉ Br	208	712	720	55780-41-1	NIST	24774
5	1H-INDENE, 1-METHYL-	C ₁₀ H ₁₀	130	487	490	767-59-9	NIST	5574

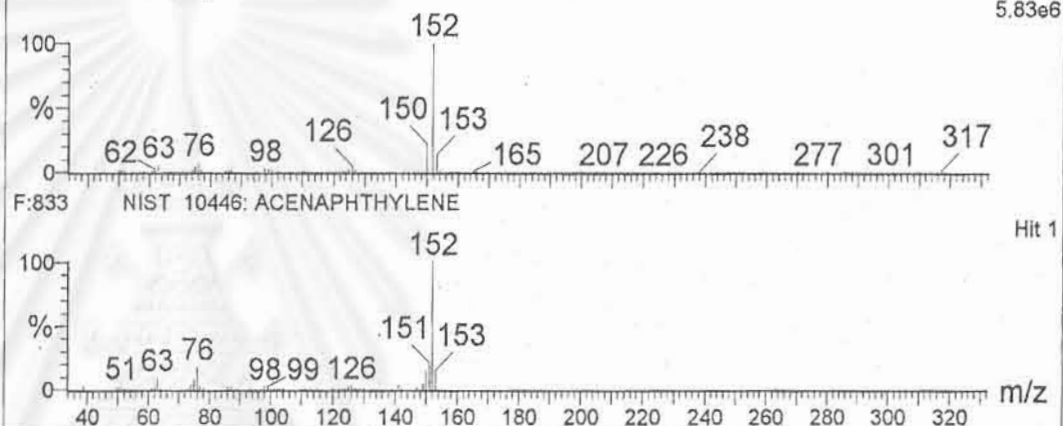
รูปที่ ข2 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน แนฟทาลีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: ACENAPHTHYLENE
 Synonym: Cyclopenta[de]naphthalene
 Molecular Weight: 152



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 438 (6.689)

Forward Fit: 833, Reverse Fit: 838



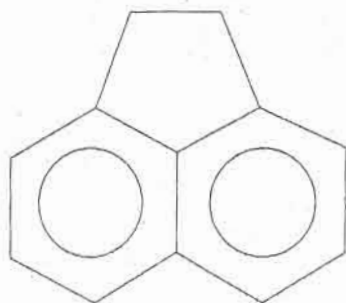
Data File: 4PPM-M
 Sample ID:

Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	ACENAPHTHYLENE	C12H8	152	833	838	208-96-8	NIST	10446
2	BIPHENYLENE	C12H8	152	773	779	259-79-0	NIST	10447
3	1H-PHENALEN-1-ONE	C13H8O	180	662	669	548-39-0	NIST	17920
4	BENZO C CINNOLINE	C12H8N2	180	550	562	230-17-1	NIST	17854
5	ACENAPHTHENE	C12H10	154	501	504	83-32-9	NIST	11096
6	9H-FLUOREN-9-ONE	C13H8O	180	477	484	486-25-9	NIST	17921
7	5-iodoacenaphthene	C12H9I	280	455	472	0-00-0	NIST	39358
8	9,10-PHENANTHRENE-1,10-DIONE	C14H8O2	208	455	467	84-11-7	NIST	24944
9	1,1'-BIPHENYL, 2-CHLORO-	C12H9Cl	188	451	458	2051-60-7	NIST	19889
10	1,1'-BIPHENYL, 4-CHLORO-	C12H9Cl	188	433	442	2051-62-9	NIST	19891
11	1,1'-BIPHENYL, 3-CHLORO-	C12H9Cl	188	424	431	2051-61-8	NIST	19890
12	1,2-BENZENEDICARBOXYLIC ACID, 4-HYDROXY-	C8H6O5	182	209	227	610-35-5	NIST	18219

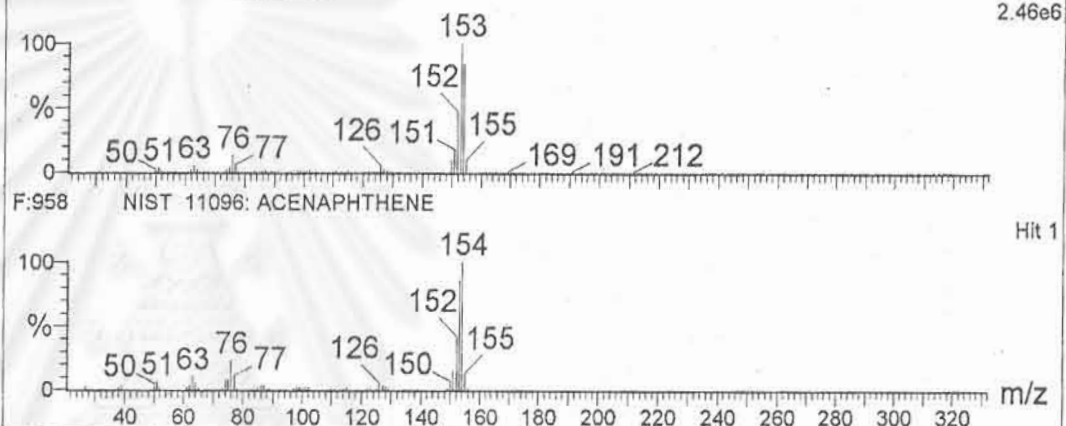
รูปที่ ข3 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน อะซีแนฟทีลีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: ACENAPHTHENE
 Synonym: Acenaphthylene, 1,2-dihydro-
 Molecular Weight: 154



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 488 (7.026) Rf (6,3.000)

Forward Fit: 958, Reverse Fit: 960



Data File: 4PPM-M

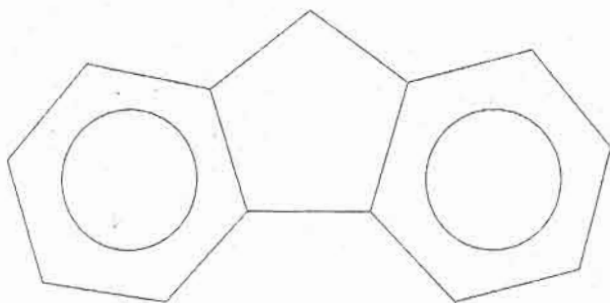
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	ACENAPHTHENE	C12H10	154	958	960	83-32-9	NIST	11096
2	NAPHTHALENE, 2-ETHENYL-	C12H10	154	902	904	827-54-3	NIST	11097
3	1,4-ETHENONAPHTHALENE, 1,4-DIHYDRO-	C12H10	154	886	909	7322-47-6	NIST	11095
4	BIPHENYL	C12H10	154	859	865	92-52-4	NIST	11094
5	BENZENE, (2,4-CYCLOPENTADIEN-1-YLIDENEMETHY	C12H10	154	789	916	7338-50-3	NIST	11092
6	ACENAPHTHYLENE, 5-BROMO-1,2-DIHYDRO-	C12H9Br	232	689	696	2051-98-1	NIST	30279
7	5,10-METHANOBENZOCYCLOOCTEN-11-ONE, 5-CHLOR	C13H9OC1	216	605	618	33655-73-1	NIST	26755
8	1,1'-BIPHENYL, 3-NITRO-	C12H9O2N	199	558	561	2113-58-8	NIST	22640
9	1,1'-BIPHENYL, 2-IODO-	C12H9I	280	458	464	2113-51-1	NIST	39360
10	5-IODOACENAPHTHENE	C12H9I	280	457	487	0-00-0	NIST	39358
11	1,4-ANTHRACENEDIONE	C14H8O2	208	350	362	635-12-1	NIST	24946

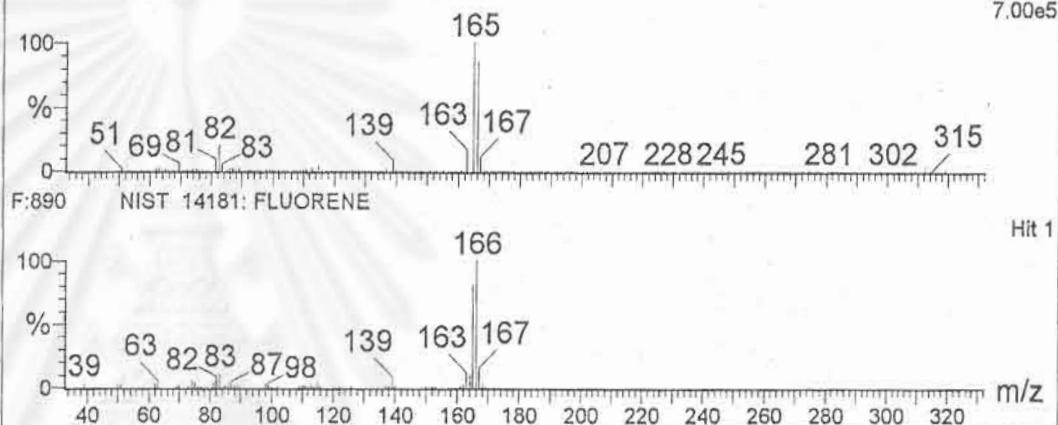
รูปที่ ข4 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน อะซีแนฟทีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: FLUORENE
 Synonym: 9H-Fluorene
 Molecular Weight: 166



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 657 (8.158)

Forward Fit: 890, Reverse Fit: 897



Data File: 4PPM-M

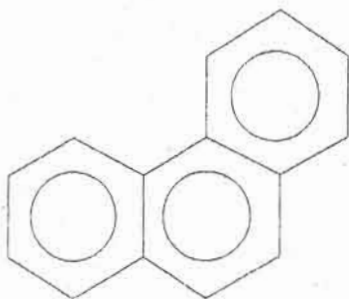
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

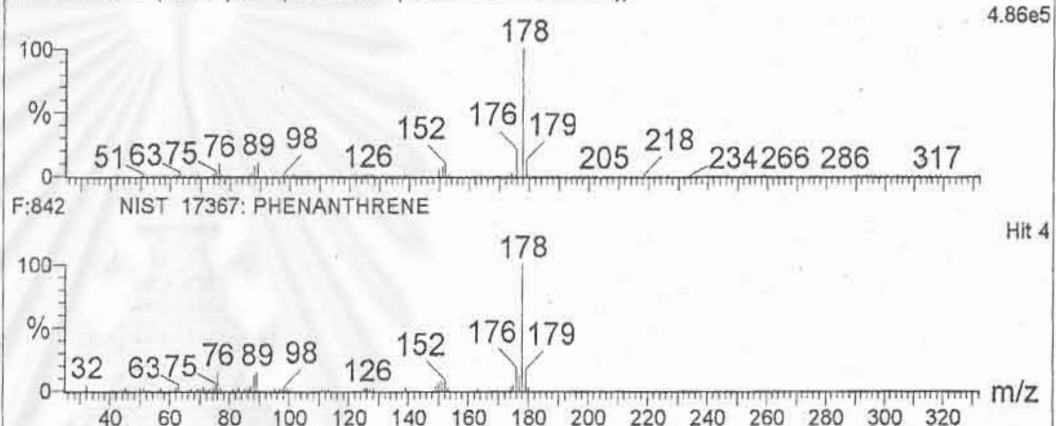
Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	FLUORENE	C13H10	166	890	897	86-73-7	NIST	14181
2	1H-PHENALENE	C13H10	166	862	887	203-80-5	NIST	14180
3	9H-FLUORENE-9-CARBOXYLIC ACID	C14H10O2	210	800	891	1989-33-9	NIST	25424
4	FLUORENE-9-METHANOL	C14H12O	196	732	773	24324-17-2	NIST	21953
5	2-FLUORENECARBOXALDEHYDE	C14H10O	194	730	739	30084-90-3	NIST	21400
6	ETHANONE, DIAZODIPHENYL-	C14H10ON2	222	636	681	3469-17-8	NIST	28140
7	FLUORENE, 2,4A-DIHYDRO-	C13H12	168	565	632	59247-36-8	NIST	14005
8	BENZENE, 1,1'-(CHLOROMETHYLENE) BIS-	C13H11Cl	202	517	551	90-99-3	NIST	23396
9	BENZO C CINNOLINE, 4-METHYL-	C13H10N2	194	517	584	19174-78-8	NIST	21358
10	DIPHENYLMETHOXY ACETIC ACID	C15H14O3	242	431	463	21409-25-6	NIST	32370

รูปที่ ข5 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน ฟลูออรีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: PHENANTHRENE
 Synonym: Phenanthren
 Molecular Weight: 178



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 Forward Fit: 842, Reverse Fit: 855
 4PPM-M 1081 (10.994) Cm (1080:1082-(1098:1100+1063:1068))



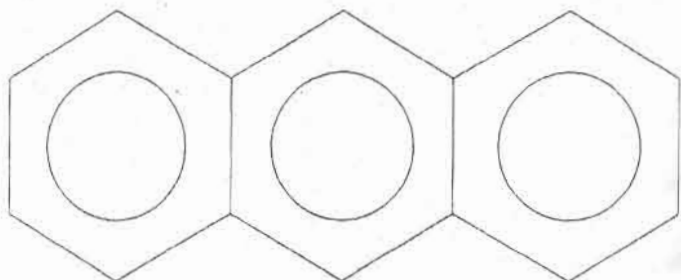
Data File: 4PPM-M
 Sample ID:

Acquired 06:17:31 at 06:17:31

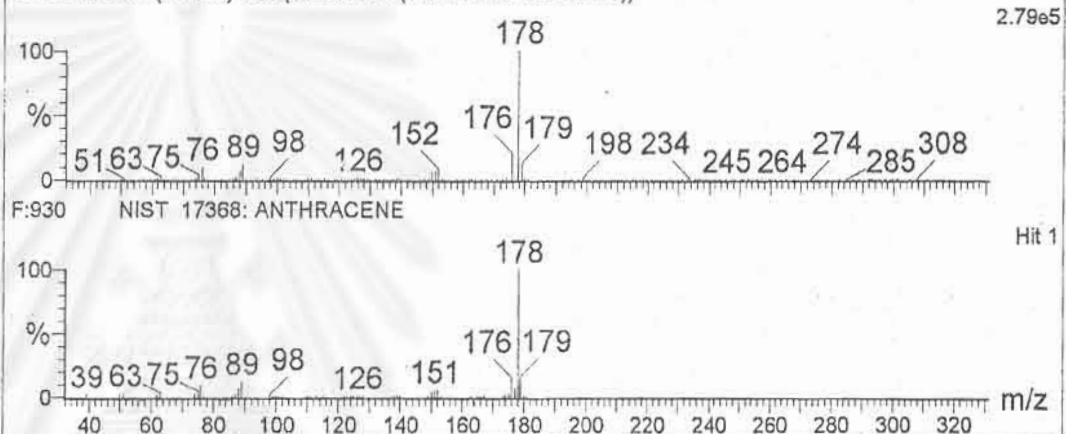
Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	ANTHRACENE	C14H10	178	927	930	120-12-7	NIST	17368
2	9H-FLUORENE, 9-METHYLENE-	C14H10	178	880	942	4425-82-5	NIST	17369
3	DIPHENYLETHYNE	C14H10	178	866	868	501-65-5	NIST	17370
4	PHENANTHRENE	C14H10	178	842	855	85-01-8	NIST	17367
5	5H-DIBENZO A,D CYCLOHEPTEN-5-ONE	C15H10O	206	707	710	2222-33-5	NIST	24438
6	ANTHRACENE, 9,10-DIHYDRO-	C14H12	180	600	606	613-31-0	NIST	17960
7	CINNOLINE, 3-PHENYL-	C14H10N2	206	578	623	10604-22-5	NIST	24393

รูปที่ ข6 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐานฟิแนนทริน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: ANTHRACENE
 Synonym: Anthracin
 Molecular Weight: 178



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 Forward Fit: 930, Reverse Fit: 942
 4PPM-M 1105 (11.155) Cm (1103:1108-(1125:1132+1092:1098))



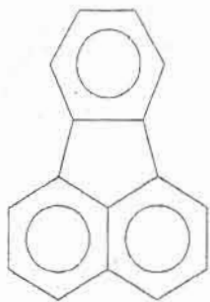
Data File: 4PPM-M
 Sample ID:

Acquired 06:17:31 at 06:17:31

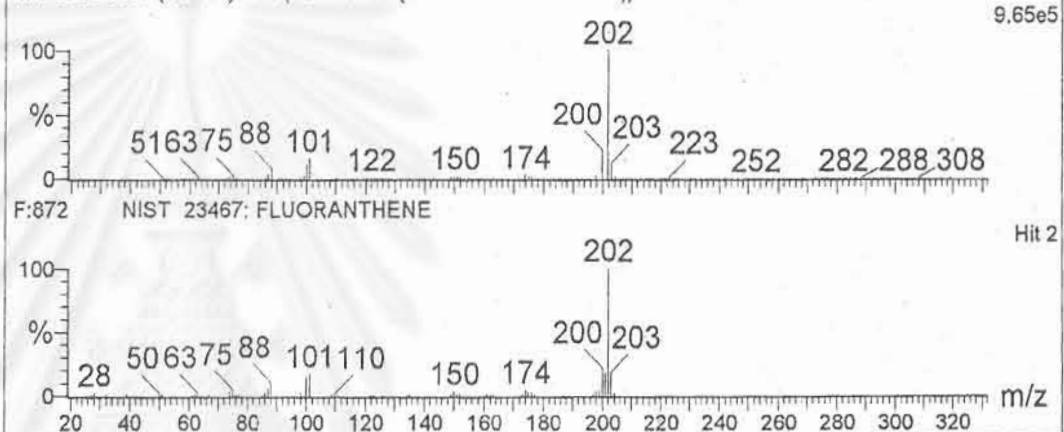
Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	ANTHRACENE	C14H10	178	930	933	120-12-7	NIST	17368
2	9H-FLUORENE, 9-METHYLENE-	C14H10	178	881	942	4425-82-5	NIST	17369
3	DIPHENYLETHYNE	C14H10	178	863	866	501-65-5	NIST	17370
4	PHENANTHRENE	C14H10	178	847	859	85-01-8	NIST	17367
5	5H-DIBENZO A,D CYCLOHEPTEN-5-ONE	C15H10O	206	705	708	2222-33-5	NIST	24438
6	ANTHRACENE, 9,10-DIHYDRO-	C14H12	180	603	608	613-31-0	NIST	17960
7	CINNOLINE, 3-PHENYL-	C14H10N2	206	576	620	10604-22-5	NIST	24393

รูปที่ ข7 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน แอนทราซีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: FLUORANTHENE
 Synonym: Benzene, 1,2-(1,8-naphthalenediyl)-
 Molecular Weight: 202



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 Forward Fit: 872, Reverse Fit: 888
 4PPM-M 1665 (14.898) Cm (1663:1666-(1697:1701+1650:1653))

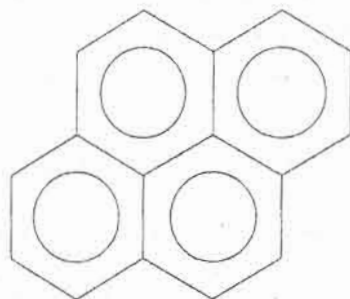


Data File: 4PPM-M
 Sample ID:
 Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	PYRENE	C16H10	202	877	894	129-00-0	NIST	23469
2	FLUORANTHENE	C16H10	202	872	888	206-44-0	NIST	23467
3	BENZENE, 1,1'-(1,3-BUTADIYNE-1,4-DIYL) BIS-	C16H10	202	848	851	886-66-8	NIST	23468
4	7H-BENZ DE ANTHRACEN-7-ONE	C17H10O	230	538	541	82-05-3	NIST	30040
5	1-PYRENE-CARBOXALDEHYDE	C17H10O	230	425	430	3029-19-4	NIST	30041

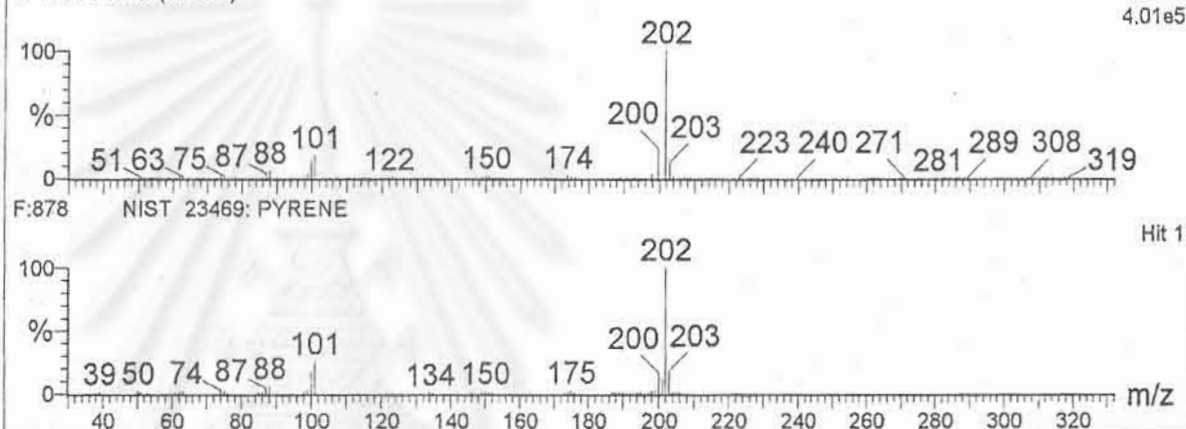
รูปที่ ๗8 การเปรียบเทียบแมส สเปคตรัมของสารมาตรฐานฟลูออแรนทีน กับแมส สเปคตรัมใน NIST Library

Compound Name: PYRENE
 Synonym: á-Pyrene
 Molecular Weight: 202



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 1762 (15.546)

Forward Fit: 878, Reverse Fit: 894

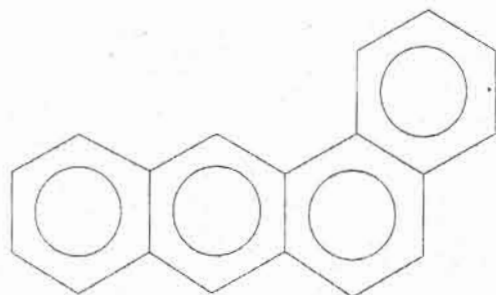


Data File: 4PPM-M
 Sample ID:

Acquired 06:17:31 at 06:17:31

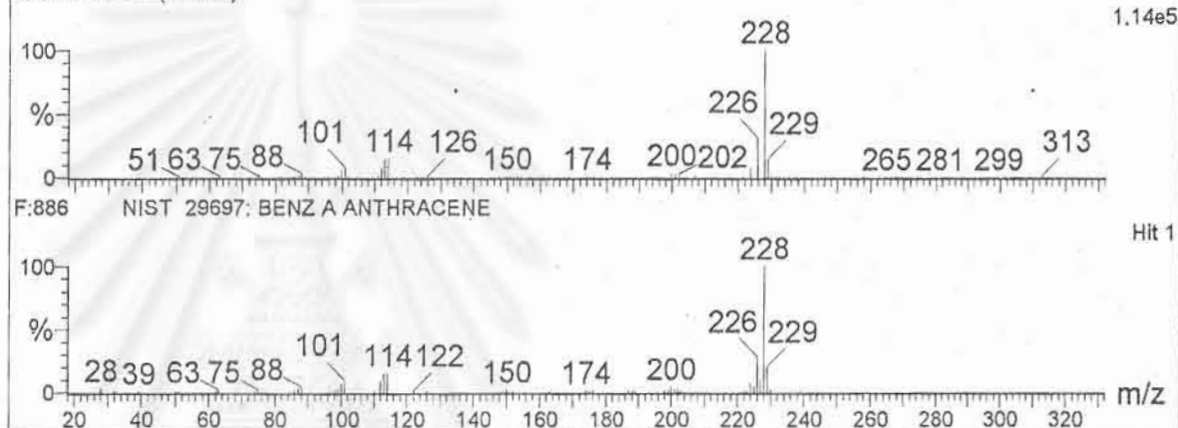
Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	PYRENE	C16H10	202	878	894	129-00-0	NIST	23469
2	FLUORANTHENE	C16H10	202	856	874	206-44-0	NIST	23467
3	BENZENE, 1,1'-(1,3-BUTADIYNE-1,4-DIYL) BIS-	C16H10	202	813	818	886-66-8	NIST	23468
4	7H-BENZ DE ANTHRACEN-7-ONE	C17H10O	230	529	533	82-05-3	NIST	30040
5	1-PYRENE-CARBOXALDEHYDE	C17H10O	230	429	433	3029-19-4	NIST	30041

Compound Name: BENZ A ANTHRACENE
 Synonym: Benzanthracene
 Molecular Weight: 228



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 2595 (21.110)

Forward Fit: 886, Reverse Fit: 906



Data File: 4PPM-M

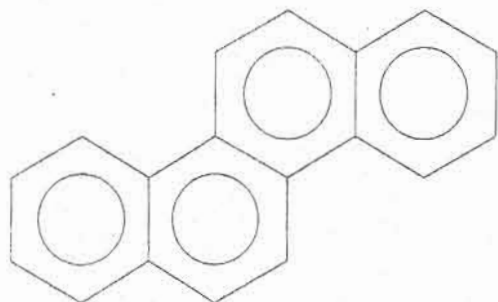
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZ A ANTHRACENE	C18H12	228	886	906	56-55-3	NIST	29697
2	NAPHTHACENE	C18H12	228	867	884	92-24-0	NIST	29693
3	CHRYSENE	C18H12	228	827	875	218-01-9	NIST	29696
4	TRIPHENYLENE	C18H12	228	816	839	217-59-4	NIST	29698
5	BENZO C PHENANTHRENE	C18H12	228	790	808	195-19-7	NIST	29694
6	NAPHTHACENE, 5,12-DIHYDRO-	C18H14	230	611	623	959-02-4	NIST	30045

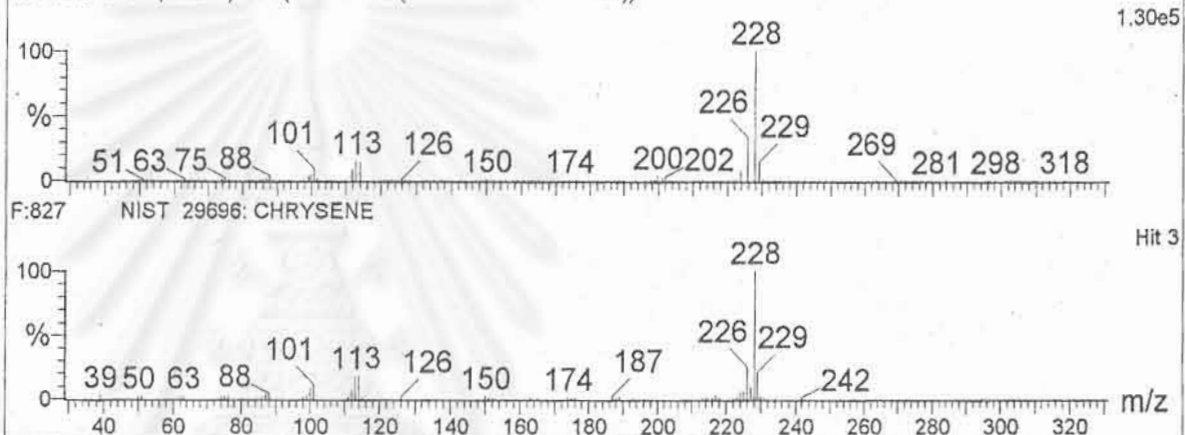
รูปที่ ข10 การเปรียบเทียบแมส สเปคตรัมของสารมาตรฐาน เบนโซ[เอ]แอนทราซีน กับแมส สเปคตรัมใน NIST Library

Compound Name: CHRYSENE
 Synonym: Benzo[a]phenanthrene
 Molecular Weight: 228



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 2610 (21.210) Cm (2609:2612-(2654:2656+2584:2588))

Forward Fit: 827, Reverse Fit: 869



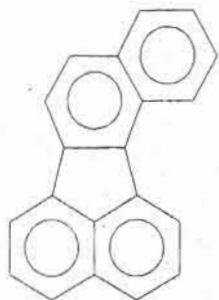
Data File: 4PPM-M
 Sample ID:

Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZ A ANTHRACENE	C18H12	228	905	912	56-55-3	NIST	29697
2	NAPHTHACENE	C18H12	228	865	876	92-24-0	NIST	29693
3	CHRYSENE	C18H12	228	827	869	218-01-9	NIST	29696
4	TRIPHENYLENE	C18H12	228	818	834	217-59-4	NIST	29698
5	BENZO C PHENANTHRENE	C18H12	228	805	814	195-19-7	NIST	29694
6	NAPHTHACENE, 5,12-DIHYDRO-	C18H14	230	605	613	959-02-4	NIST	30045

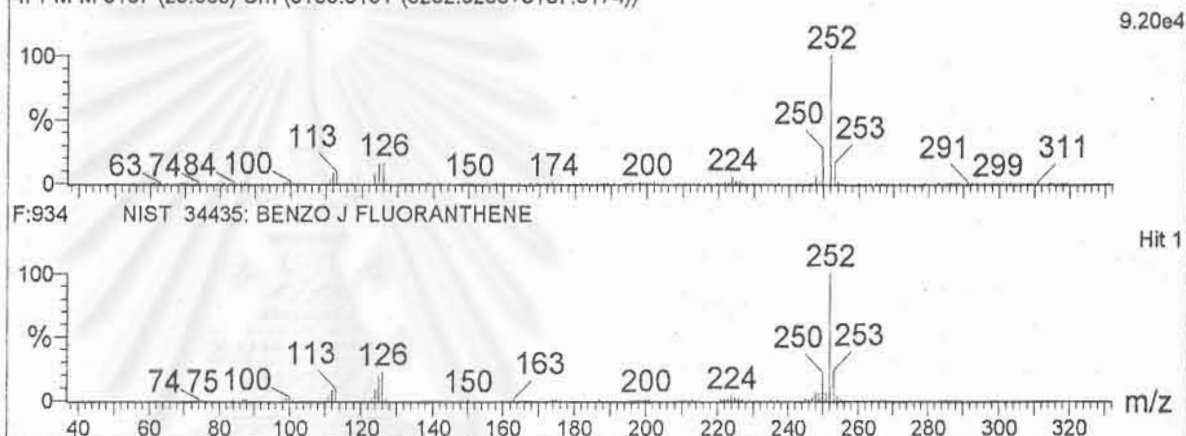
รูปที่ ข11 การเปรียบเทียบแมส สเปคตรัมของสารมาตรฐาน ไครซีน กับแมส สเปคตรัมใน NIST Library

Compound Name: BENZO J FLUORANTHENE
 Synonym: Benzo-10,11-fluoranthene
 Molecular Weight: 252



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 3187 (25.063) Cm (3185:3191-(3252:3258+3167:3174))

Forward Fit: 934, Reverse Fit: 940



Data File: 4PPM-M
 Sample ID:

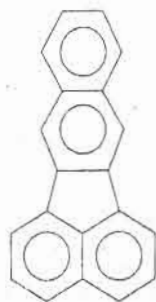
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZO J FLUORANTHENE	C20H12	252	934	939	205-82-3	NIST	34435
2	BENZO K FLUORANTHENE	C20H12	252	919	940	207-08-9	NIST	34434
3	BENZ E ACEPHENANTHRYLENE	C20H12	252	916	925	205-99-2	NIST	34432
4	BENZO E PYRENE	C20H12	252	899	905	192-97-2	NIST	34433
5	PERYLENE	C20H12	252	893	913	198-55-0	NIST	34430
6	BENZO A PYRENE	C20H12	252	754	766	50-32-8	NIST	34431
7	BENZO A PYRENE, 4,5-DIHYDRO-	C20H14	254	608	634	57652-66-1	NIST	34832
8	1H-INDENE, 1,1'-(1,2-ETHANEDIYLIDENE) BIS-	C20H14	254	598	675	72088-04-1	NIST	34834
9	1,1'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	597	633	604-53-5	NIST	34830
10	ANTHRACENE, 9-PHENYL-	C20H14	254	548	580	602-55-1	NIST	34833
11	9H-FLUORENE, 9-(PHENYLMETHYLENE)-	C20H14	254	536	562	1836-87-9	NIST	34828

รูปที่ ข12 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน เบนโซ[บี]ฟลูออแรนทริน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

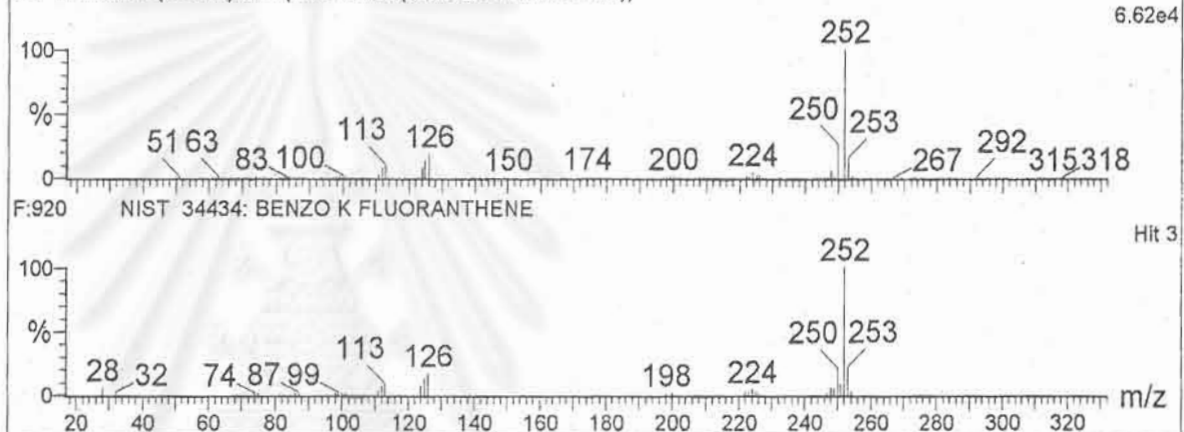


Compound Name: BENZO K FLUORANTHENE
 Synonym: Dibenzo[b,jk]fluorene
 Molecular Weight: 252



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 3199 (25.143) Cm (3198:3203-(3263:3277+3175:3180))

Forward Fit: 920, Reverse Fit: 936



Data File: 4PPM-M

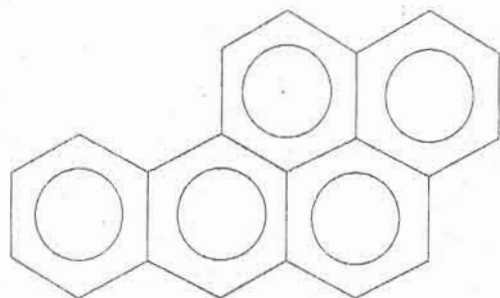
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZO J FLUORANTHENE	C20H12	252	940	947	205-82-3	NIST	34435
2	BENZ E ACEPHENANTHRYLENE	C20H12	252	926	936	205-99-2	NIST	34432
3	BENZO K FLUORANTHENE	C20H12	252	920	943	207-08-9	NIST	34434
4	BENZO E PYRENE	C20H12	252	904	913	192-97-2	NIST	34433
5	PERYLENE	C20H12	252	897	917	198-55-0	NIST	34430

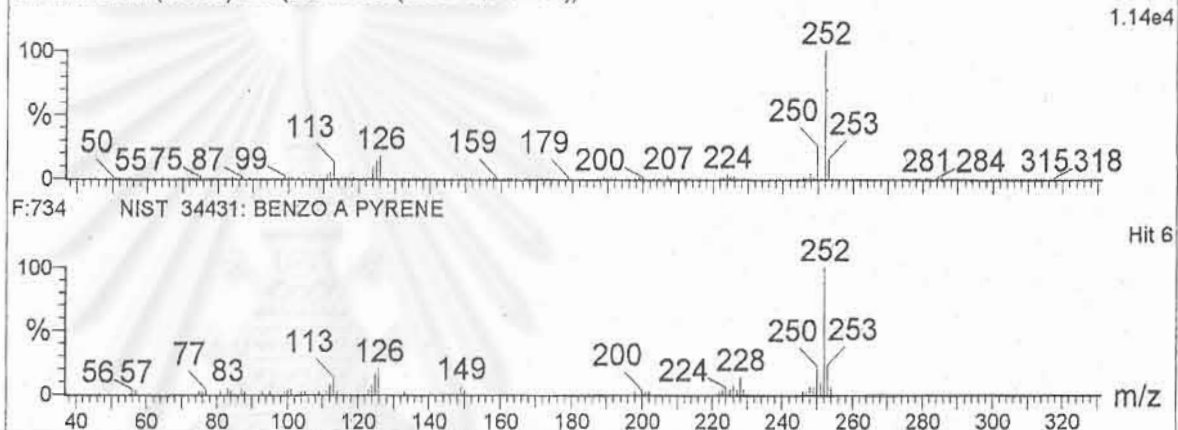
รูปที่ ข13 การเปรียบเทียบแมส สเปคตรัมของสารมาตรฐาน เบนโซ[เค]ฟลูออแรนทริน กับแมส สเปคตรัมใน NIST Library

Compound Name: BENZO A PYRENE
 Synonym: Benz[a]pyrene
 Molecular Weight: 252



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 3341 (26.091) Cm (3334:3356-(3383+3291:3313))

Forward Fit: 734, Reverse Fit: 757



Data File: 4PPM-M

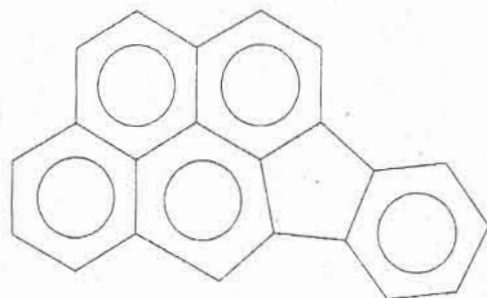
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZO J FLUORANTHENE	C20H12	252	912	935	205-82-3	NIST	34435
2	BENZO K FLUORANTHENE	C20H12	252	898	934	207-08-9	NIST	34434
3	BENZ E ACEPHENANTHRYLENE	C20H12	252	898	923	205-99-2	NIST	34432
4	BENZO E PYRENE	C20H12	252	882	906	192-97-2	NIST	34433
5	PERYLENE	C20H12	252	866	902	198-55-0	NIST	34430
6	BENZO A PYRENE	C20H12	252	734	757	50-32-8	NIST	34431
7	1H-INDENE, 1,1'-(1,2-ETHANEDIYLIDENE) BIS-	C20H14	254	602	674	72088-04-1	NIST	34834
8	BENZO A PYRENE, 4,5-DIHYDRO-	C20H14	254	600	630	57652-66-1	NIST	34832

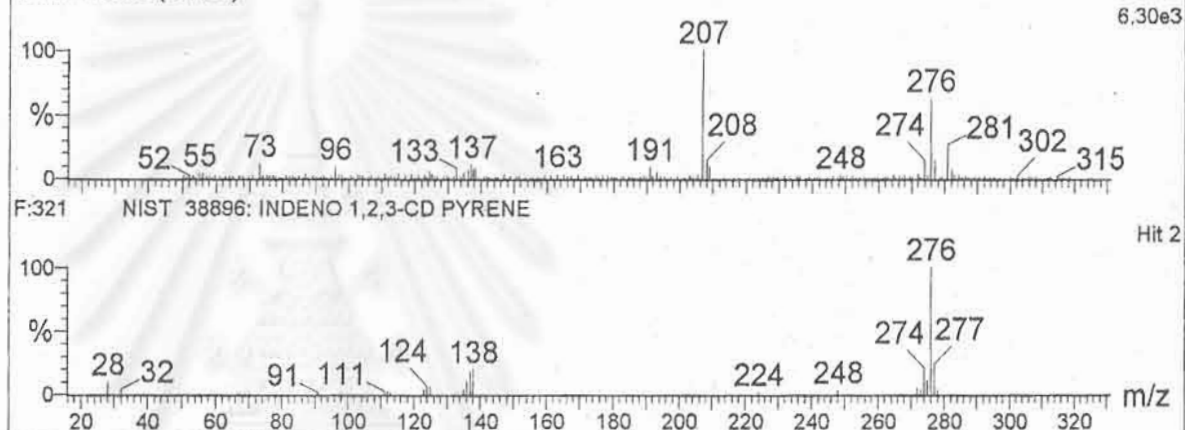
รูปที่ ข14 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน เบนโซ[เอ]ไพรีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: INDENO 1,2,3-CD PYRENE
 Synonym: o-Phenylene pyrene
 Molecular Weight: 276



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 3805 (29.189)

Forward Fit: 321, Reverse Fit: 835



Data File: 4PPM-M

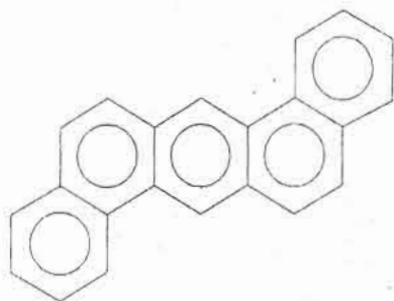
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	3,3-DIETHOXY-1,1,1,5,5,5-HEXAMETHYLTRISILOX	C10H28O4Si3	296	376	705	0-00-0	NIST	41981
2	INDENO 1,2,3-CD PYRENE	C22H12	276	321	932	193-39-5	NIST	38896
3	BENZO GHI PERYLENE	C22H12	276	316	835	191-24-2	NIST	38894
4	1,1,1,3,5,7,7,7-OCTAMETHYLTETRASILOXANE	C8H26O3Si4	282	312	674	0-00-0	NIST	39662
5	DIBENZO DEF,MNO CHRYSENE	C22H12	276	297	767	191-26-4	NIST	38895
6	1,12-BENZPERYLENE	C22H12	276	297	806	0-00-0	NIST	38893
7	METHYLTRIS (TRIMETHYLSILOXY) SILANE	C10H30O3Si4	310	266	570	17928-28-8	NIST	44156
8	TRANLYCPROMINE, PENTAFLUOROBENZOYL ESTER	C16H10ONF5	327	231	406	0-00-0	NIST	46452
9	TRIPROLIDINE	C19H22N2	278	180	306	486-12-4	NIST	39215
10	BENZENE, 1,2,3,5-TETRACHLORO-4,6-DIMETHYL-	C8H6Cl4	242	171	367	877-09-8	NIST	32224
11	BENZO B TRIPHENYLENE	C22H14	278	159	217	215-58-7	NIST	39238
12	PHENOL, 4-PHENYL-2',4',6'-TRICHLORO-	C12H7OC13	272	158	250	14962-28-8	NIST	38016

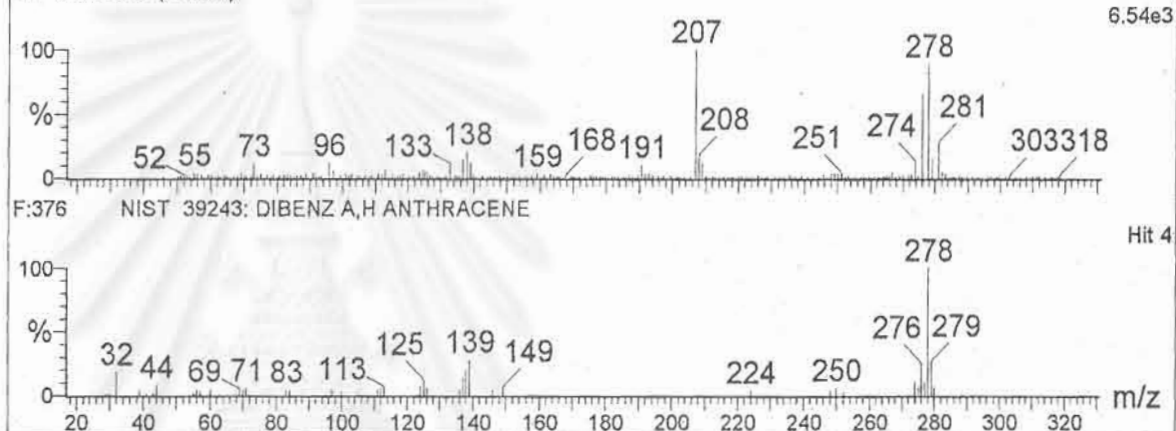
รูปที่ ข15 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน อินดีโน[1,2,3 - ซี ดี]ไพรีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: DIBENZ A,H ANTHRACENE
 Synonym: Dibenzo[a,h]anthracene
 Molecular Weight: 278



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 3823 (29.309)

Forward Fit: 376, Reverse Fit: 741



Data File: 4PPM-M

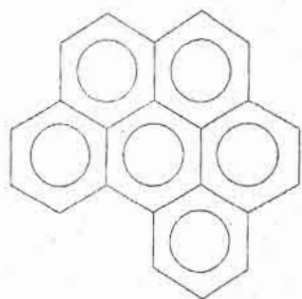
Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZO B TRIPHENYLENE	C22H14	278	486	604	215-58-7	NIST	39238
2	BENZO B CHRYSENE	C22H14	278	428	728	214-17-5	NIST	39241
3	1,2:7,8-DIBENZPHENANTHRENE	C22H14	278	421	741	0-00-0	NIST	39237
4	DIBENZ A,H ANTHRACENE	C22H14	278	376	747	53-70-3	NIST	39243
5	BENZO A NAPHTHACENE	C22H14	278	371	862	226-88-0	NIST	39240
6	DIBENZ A,J ANTHRACENE	C22H14	278	369	852	224-41-9	NIST	39242
7	PENTACENE	C22H14	278	350	657	135-48-8	NIST	39239
8	CINNAMAL FLUORENE	C22H16	280	142	258	0-00-0	NIST	39525
9	4-(1,1'-BIPHENYL-2-YL)-7-CHLORO-1,2-DIHYDRO	C22H17Cl	316	129	282	0-00-0	NIST	45168
10	STANNANE, TRIMETHYL-2-NAPHTHALENYL-	C13H16Sn	292	126	251	945-77-7	NIST	41455
11	STANNANE, TRIMETHYL-1-NAPHTHALENYL-	C13H16Sn	292	103	214	944-85-4	NIST	41456

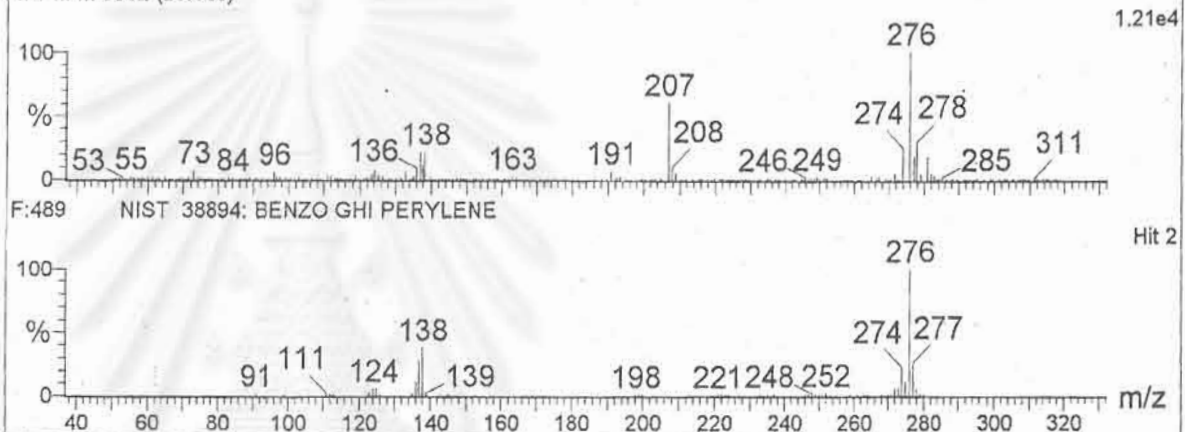
รูปที่ ข16 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารละลายมาตรฐาน ไดเบนโซ[เอ,เอช]แอนทราซีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: BENZO GHI PERYLENE
 Synonym: Benzo-1,12-perylene
 Molecular Weight: 276



Sample ID:
 Acquired 24-Jun-1996 at 06:17:31
 Library: NIST
 4PPM-M 3882 (29.569)

Forward Fit: 489, Reverse Fit: 820



Data File: 4PPM-M

Acquired 06:17:31 at 06:17:31

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	INDENO 1,2,3-CD PYRENE	C22H12	276	490	866	193-39-5	NIST	38896
2	BENZO GHI PERYLENE	C22H12	276	489	820	191-24-2	NIST	38894
3	1,12-BENZPERYLENE	C22H12	276	454	769	0-00-0	NIST	38893
4	DIBENZO DEF,MNO CHRYSENE	C22H12	276	429	726	191-26-4	NIST	38895
5	BENZO B TRIPHENYLENE	C22H14	278	383	475	215-58-7	NIST	39238
6	1,2:7,8-DIBENZPHENANTHRENE	C22H14	278	355	562	0-00-0	NIST	39237
7	DIBENZ A,H ANTHRACENE	C22H14	278	296	527	53-70-3	NIST	39243
8	DIBENZ A,J ANTHRACENE	C22H14	278	268	540	224-41-9	NIST	39242
9	BENZO A NAPHTHACENE	C22H14	278	264	532	226-88-0	NIST	39240

รูปที่ ข17 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารมาตรฐาน เบนโซ[จี เอช โอ]เพอริลีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library



ภาคผนวก ค

โครมาโตแกรมของตัวอย่างอากาศในบริเวณต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

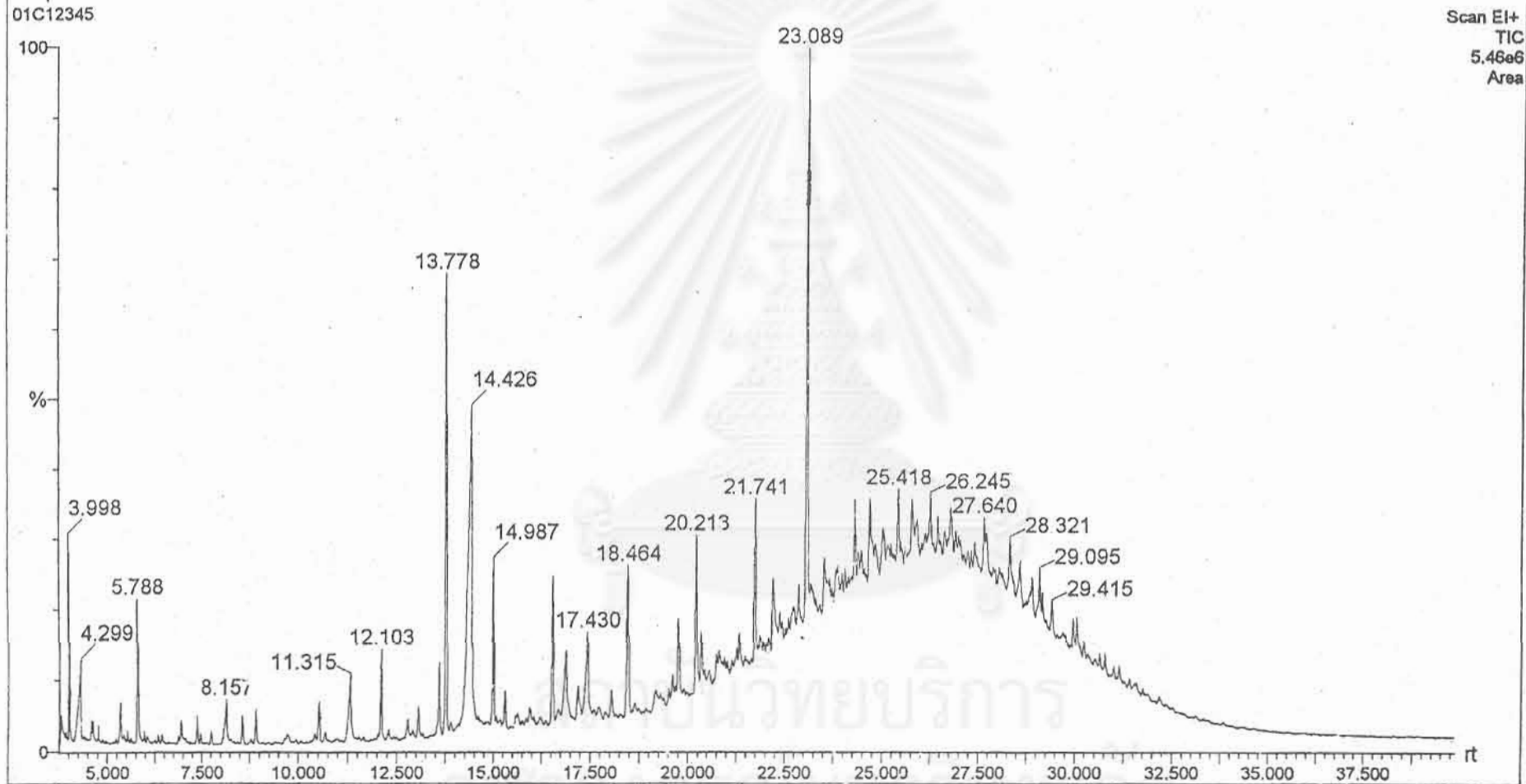
Sample ID:
Acquired 26-Jul-1996 at 10:45:33
17B09344

Scan EI+
TIC
5.75e6
Area



รูปที่ ค1 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศในบริเวณประตูน้ำ

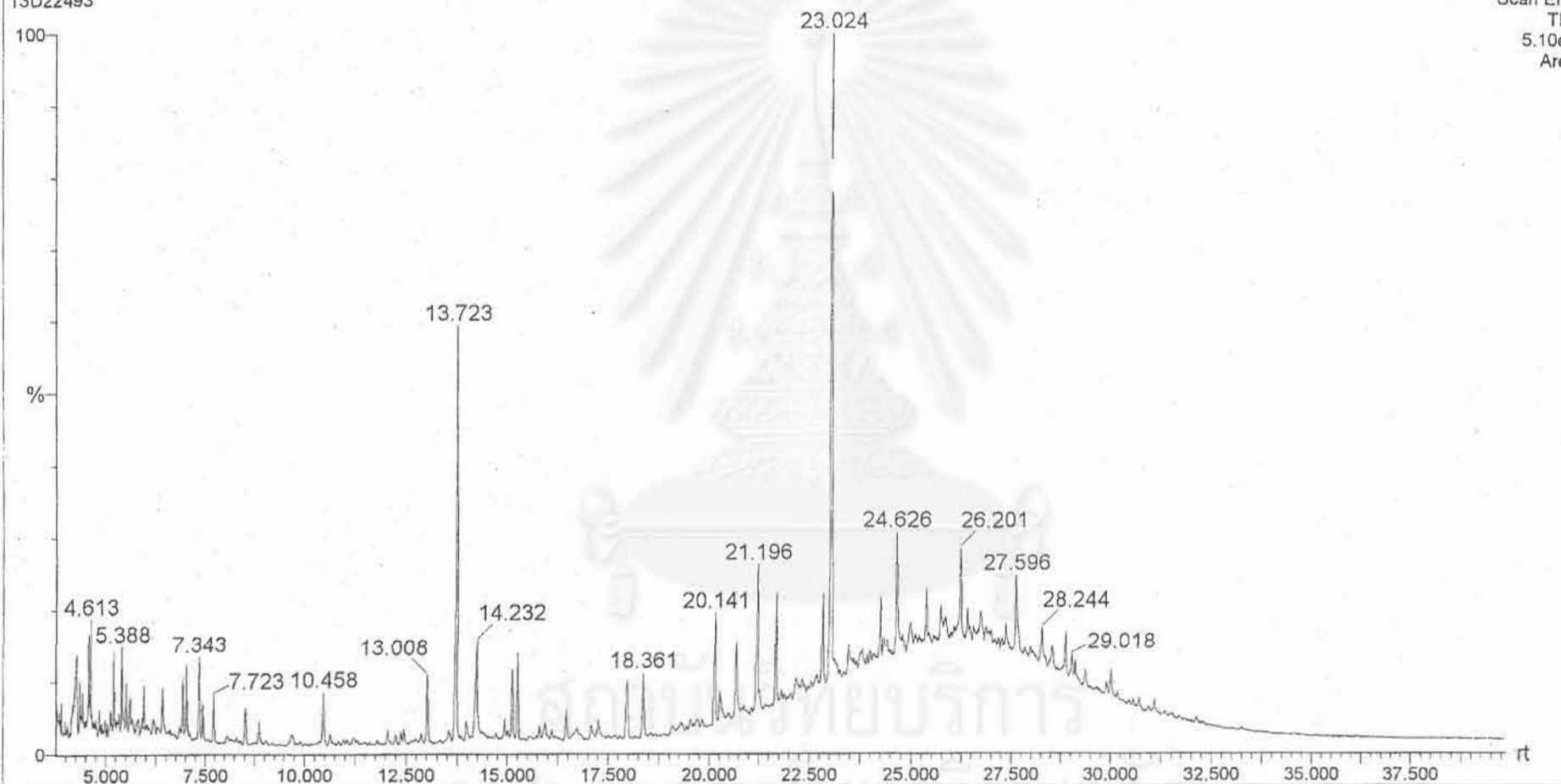
Sample ID:
Acquired 22-Jul-1996 at 01:00:04
01C12345



รูปที่ ค2 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศในบริเวณถนนเขาวราช

Sample ID:
Acquired 27-Jul-1996 at 20:53:37
13D22493

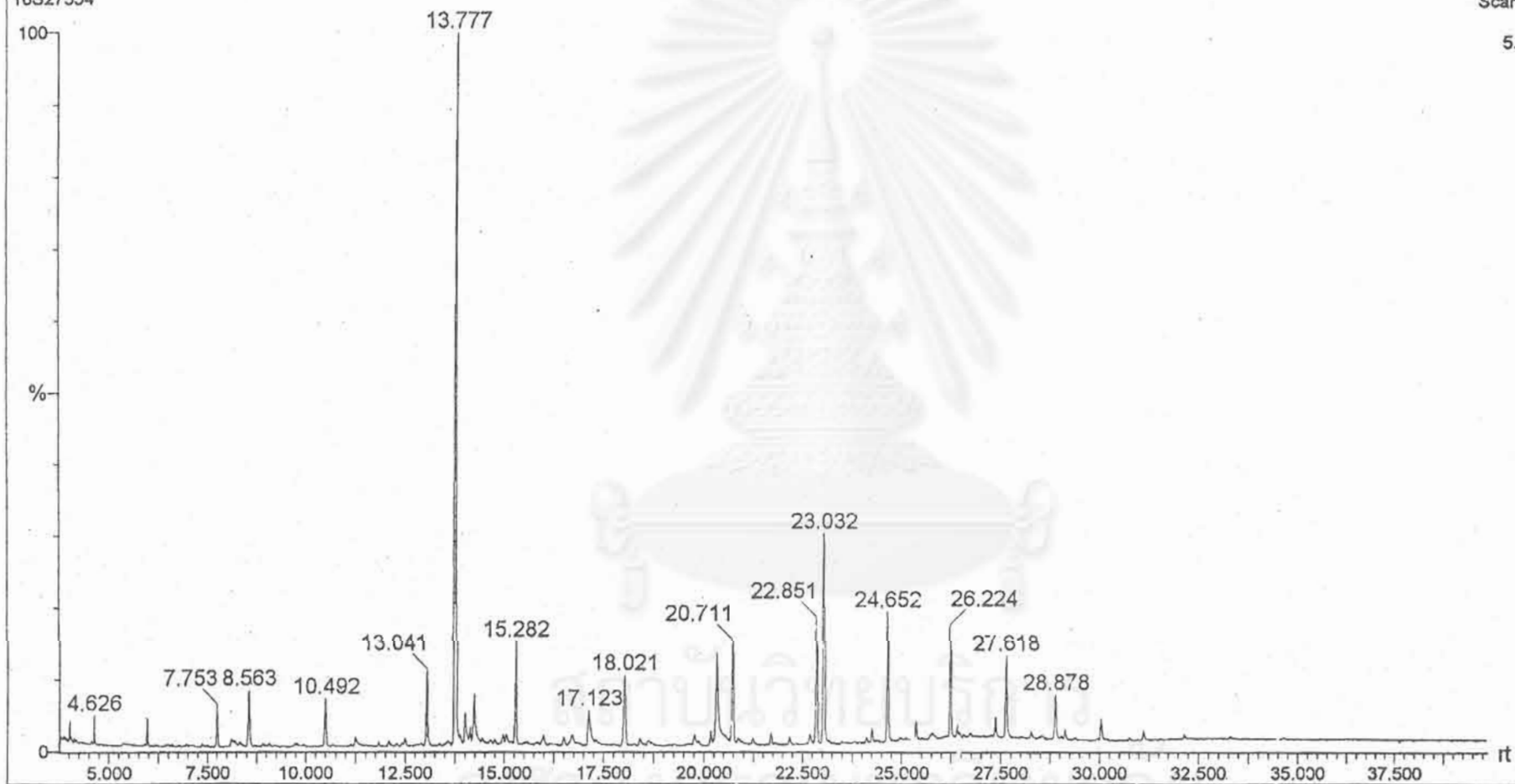
Scan EI+
TIC
5.10e6
Area




รูปที่ ค3 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศในบริเวณสำนักงานสถิติแห่งชาติ

Sample ID:
Acquired 29-Jul-1996 at 06:19:17
16S27354

Scan EI+
TIC
5.27e6
Area



รูปที่ ค4 โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศภายในบริเวณสถาบันราชภัฏ วิทยาลัยครูบ้านสมเด็จ



ภาคผนวก ง

โครมาโตแกรม และแมส สเปคตรัม

ของ

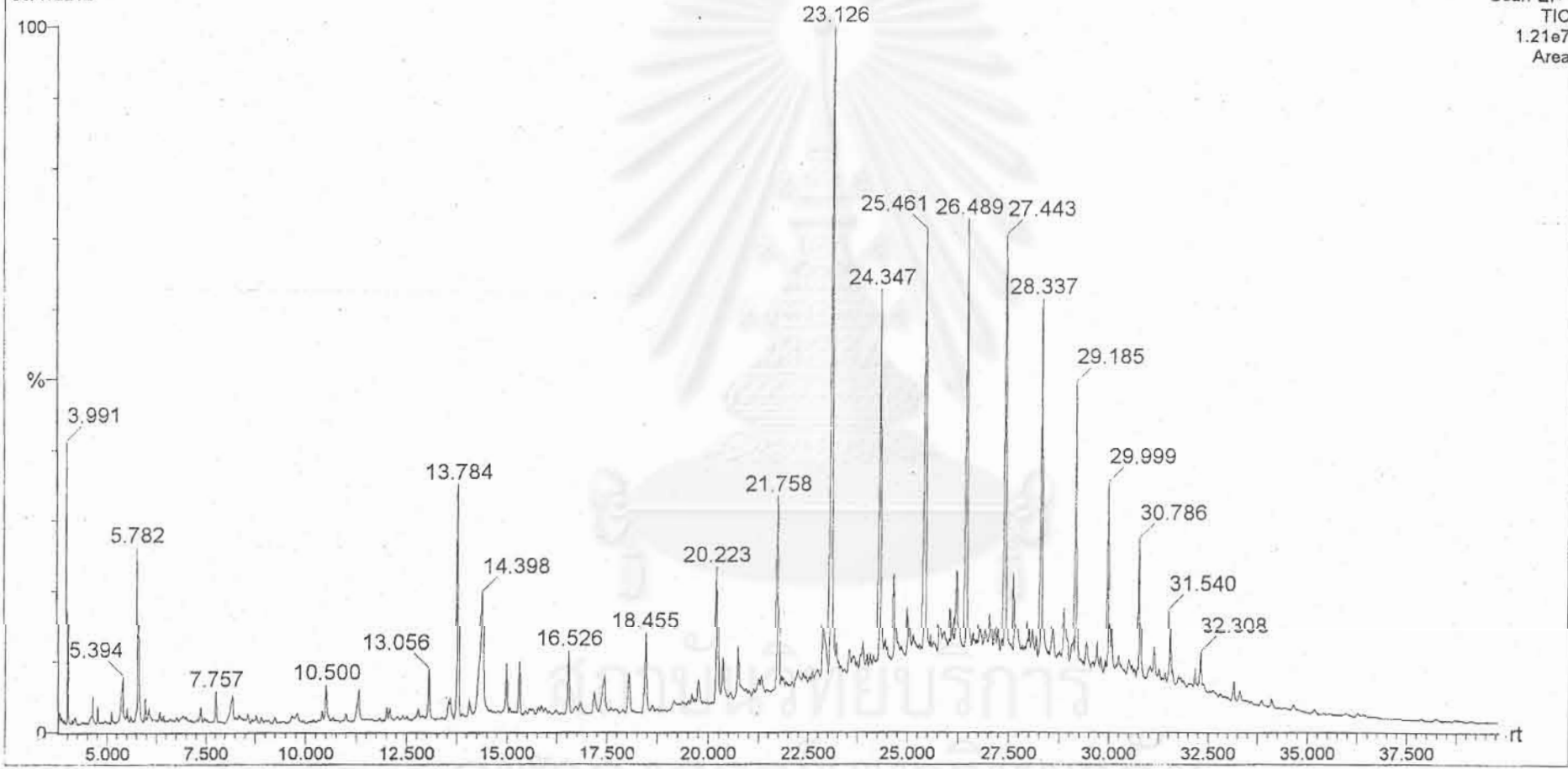
สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกาะติดอยู่บนอนุภาคในอากาศ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

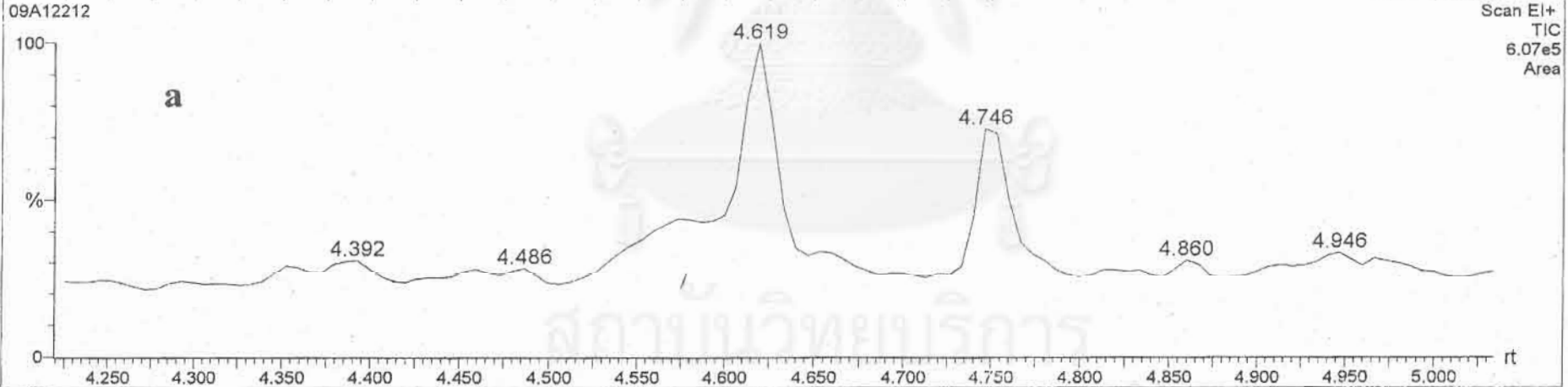
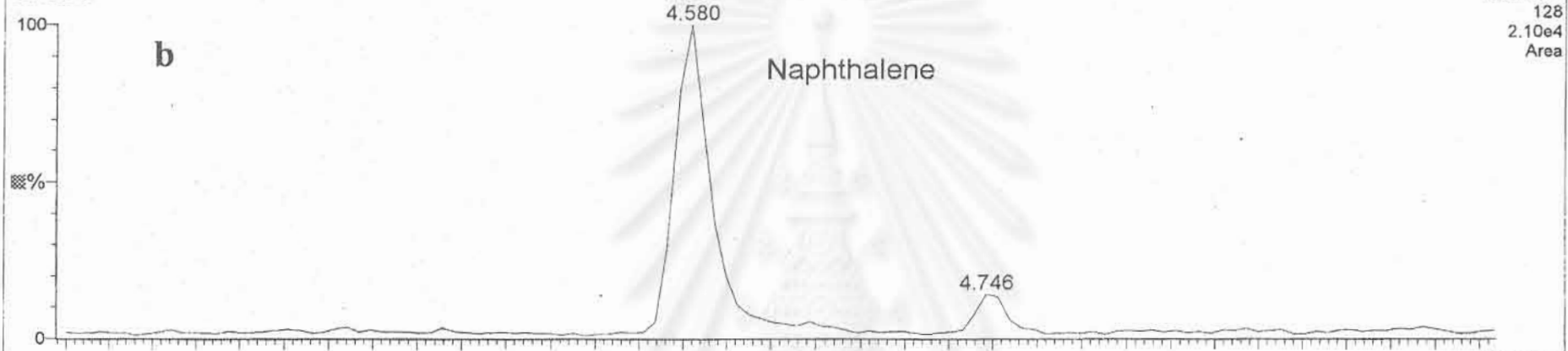
Sample ID:
Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
09A12212

Scan EI+
TIC
1.21e7
Area



รูปที่ ง1 โครมาโตแกรมของสารที่สกัดได้จากตัวอย่างอนุภาคอากาศ โดยใช้ไฮโดรคาร์บอนเป็นสารละลายในการสกัด

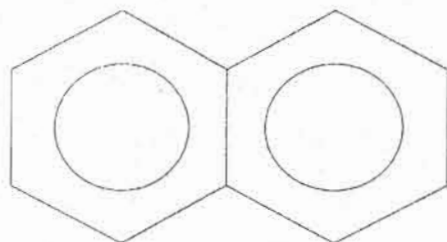
Sample ID:
Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
09A12212



รูปที่ ๒ (a) แก๊สโครมาโตแกรมของสารแนฟทาลีน

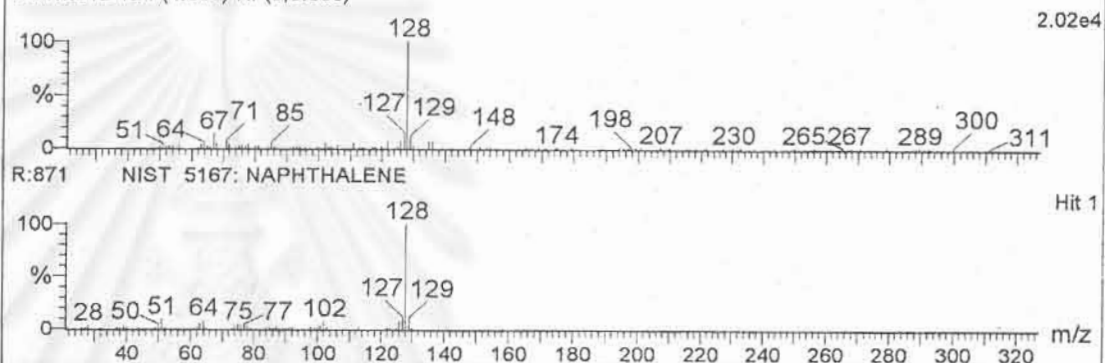
(b) Selected Ion Chromatogram ของไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุเท่ากับ 128

Compound Name: NAPHTHALENE
 Synonym: Albocarbon
 Molecular Weight: 128



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 124 (4.580) Rf (6,3.000)

Forward Fit: 623, Reverse Fit: 871



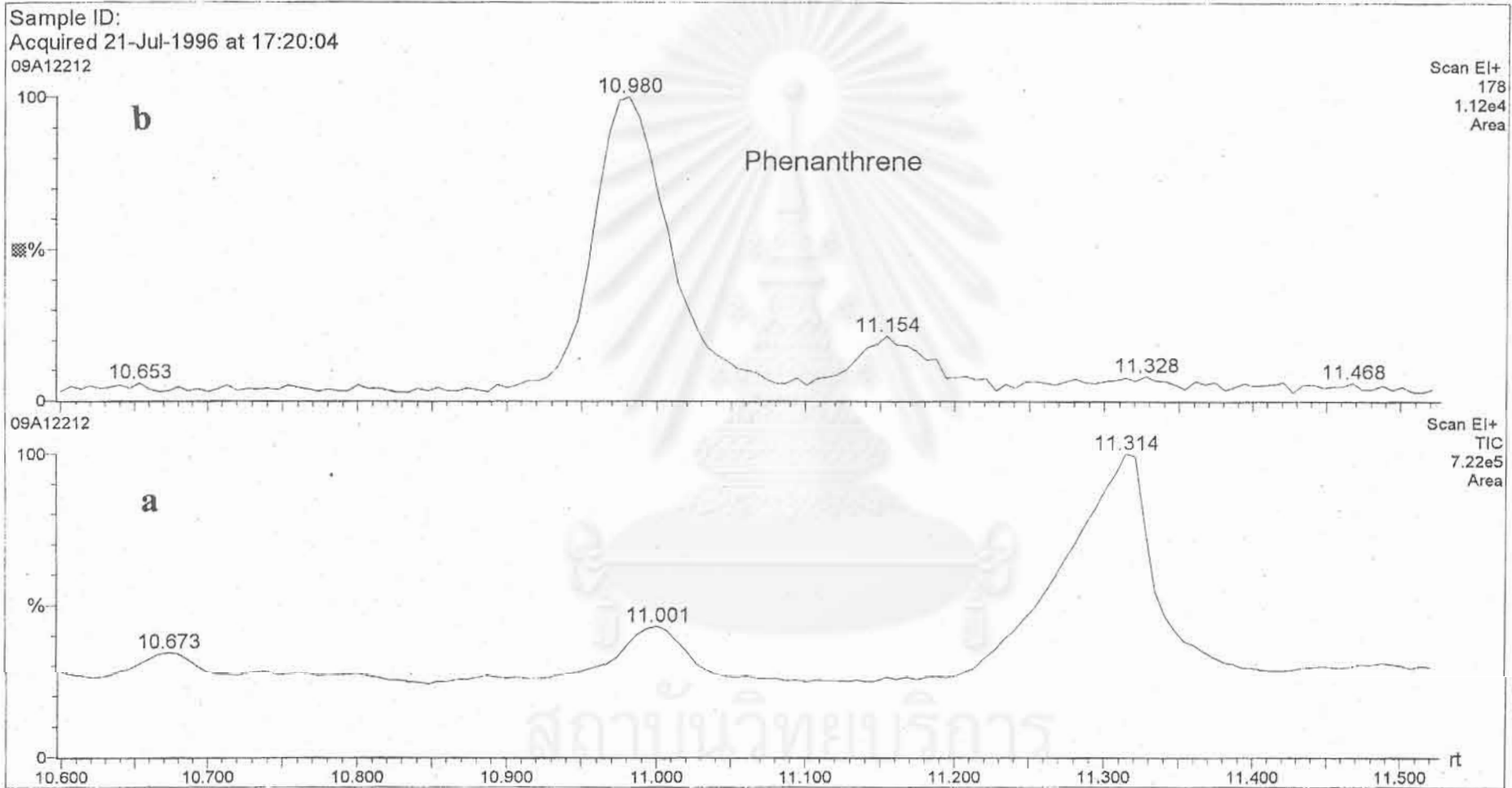
Data File: 09A12212

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	for	REV	CAS	Library	Entry
1	NAPHTHALENE	C10H8	128	623	871	91-20-3	NIST	5167
2	1H-INDENE, 1-METHYLENE-	C10H8	128	555	870	2471-84-3	NIST	5168
3	BICYCLO 4.4.1 UNDECA-1,3,5,7,9-PENTAEN-11-O	C11H8O	156	575	868	36628-80-5	NIST	11595
4	AZULENE	C10H8	128	580	808	275-51-4	NIST	5166
5	4.2.2 PROPELLA-2,4,7,9-TETRAENE	C10H8	128	550	780	88090-34-0	NIST	5169
6	2,6-DIFLUOROTOLUENE	C7H6F2	128	399	633	443-84-5	NIST	4902
7	CYCLOPROP A INDENE, 6-BROMO-1,1A,6,6A-TETRA	C10H9Br	208	432	620	55780-41-1	NIST	24774
8	1,4-METHANONAPHTHALEN-9-OL, 1,4-DIHYDRO-	C11H10O	158	370	560	4796-33-2	NIST	12092
9	2,4-DIFLUOROTOLUENE	C7H6F2	128	406	559	452-76-6	NIST	4901
10	1-(1-CYANOCYCLOPENTYL) PYRROLIDINE	C10H16N2	164	79	534	0-00-0	NIST	13486
11	2H-THIETE, 2-METHYLENE-4-PHENYL-, 1,1-DIOXI	C10H8O2S	192	369	527	16793-43-4	NIST	20649
12	CYCLOHEXANE, 1,1'-(1,3-BUTADIENE-1,4-DIYL)B	C16H26	218	134	507	55712-53-3	NIST	27274
13	5-(2-NAPHTHYSULPHONYL) DIHYDRO-1,3,5-DIOXAZ	C13H13O4NS	279	289	492	56221-13-7	NIST	39272
14	1,9-DIOXA-4,12-DIAZADISPIRO 4.2.4.2 TETRADE	C14H26O2N2	254	330	490	0-00-0	NIST	34701
15	2-NAPHTHALENEMETHANOL, .ALPHA.-METHYL-, (+	C12H12O	172	326	484	40295-80-5	NIST	15870
16	2-NAPHTHALENEMETHANOL	C11H10O	158	326	478	1592-38-7	NIST	12088
17	1-NAPHTHALENEMETHANOL	C11H10O	158	333	476	4780-79-4	NIST	12097

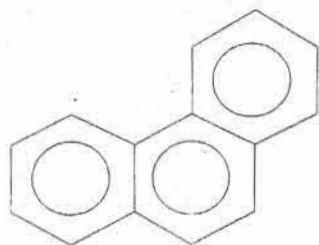
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารแนฟทาลีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library



รูปที่ 4 (a) โครมาโตแกรมของสารพีแนนทรีน

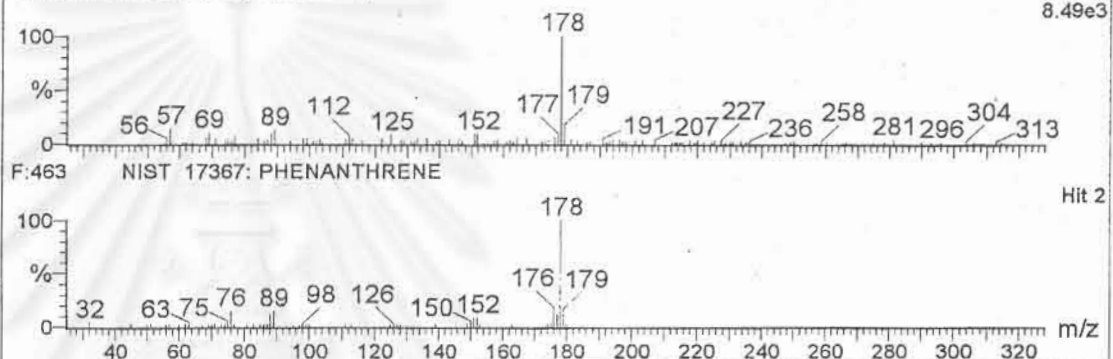
(b) Selected Ion Chromatogram ของไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุเท่ากับ 178

Compound Name: PHENANTHRENE
 Synonym: Phenanthren
 Molecular Weight: 178



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 1083 (10.980) Rf (6,3.000)

Forward Fit: 463, Reverse Fit: 739



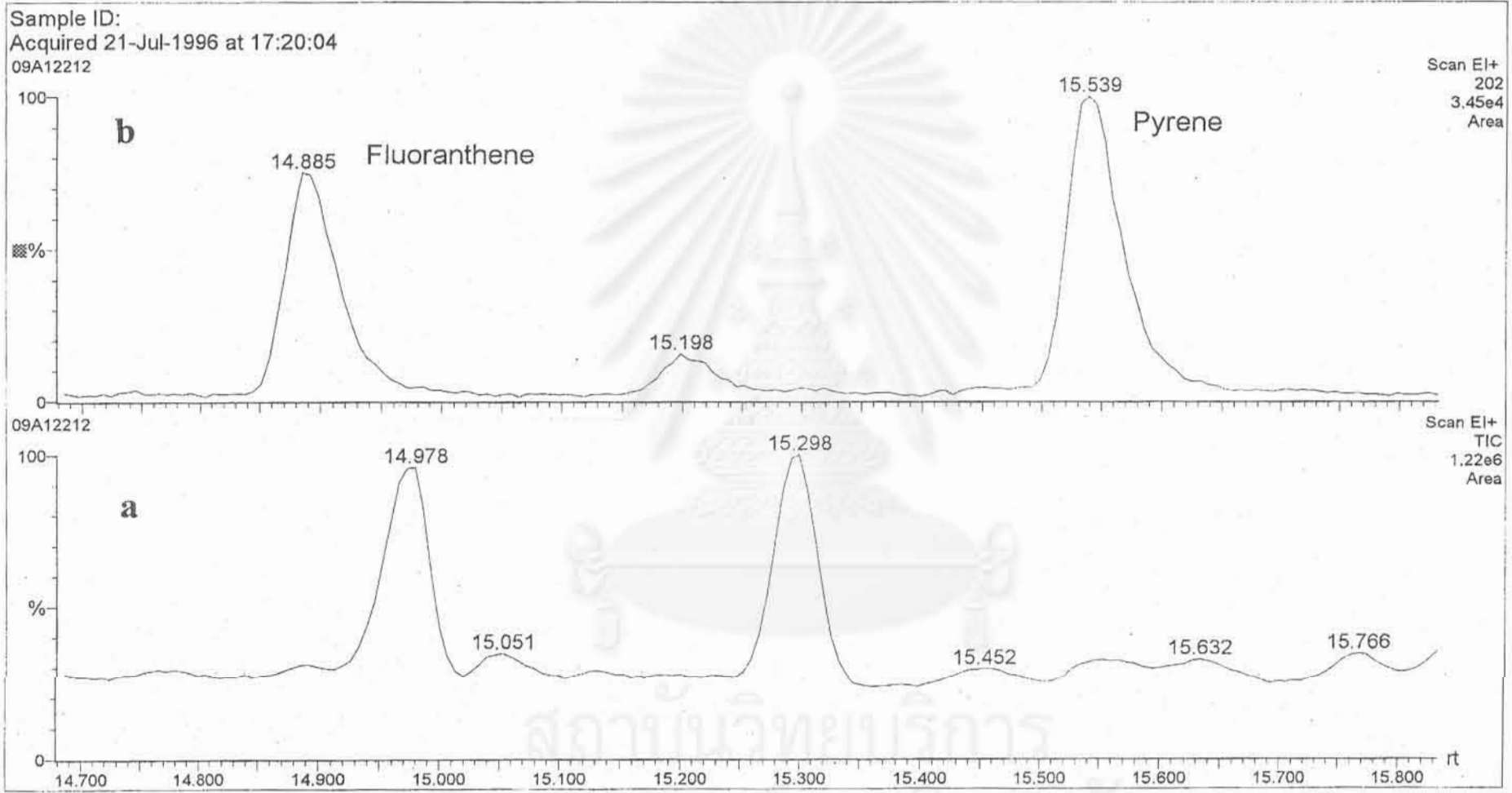
Data File: 09A12212

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	2-CYCLOPROPEN-1-ONE, 2,3-DIPHENYL-	C15H10O	206	466	711	886-38-4	NIST	24436
2	PHENANTHRENE	C14H10	178	463	674	85-01-8	NIST	17367
3	ANTHRACENE	C14H10	178	450	711	120-12-7	NIST	17368
4	7,8-DIPHENYLBICYCLO 4.2.1 NONA-2,4,7-TRIENE	C21H18	270	400	659	54049-09-1	NIST	37860
5	9H-FLUORENE, 9-METHYLENE-	C14H10	178	393	794	4425-82-5	NIST	17369
6	9,10-ETHANOANTHRACENE, 9,10-DIHYDRO-	C16H14	206	392	739	5675-64-9	NIST	24479
7	DIPHENYLETHYNE	C14H10	178	390	622	501-65-5	NIST	17370
8	BENZENE, 1,1'-(1-NITRO-1,2-ETHENEDIYL) BIS-	C14H11O2N	225	349	575	1215-07-2	NIST	28907
9	5H-DIBENZO A,D CYCLOHEPTEN-5-ONE	C15H10O	206	345	550	2222-33-5	NIST	24438
10	BENZENE, 1,1'-(1-NITRO-1,2-ETHENEDIYL) BIS-	C14H11O2N	225	341	612	18315-83-8	NIST	28906
11	BENZENE, 1-NITRO-3-(2-PHENYLETHENYL)-	C14H11O2N	225	322	524	4714-26-5	NIST	28904
12	BENZENE, 1,1'-(1-CHLORO-1,2-ETHENEDIYL) BIS-	C14H11Cl	214	291	476	948-98-1	NIST	26376
13	BENZENE, 1-NITRO-4-(2-PHENYLETHENYL)-	C14H11O2N	225	286	510	4003-94-5	NIST	28910
14	PHENANTHRIDINE	C13H9N	179	277	434	229-87-8	NIST	17511
15	P-PHENYLBENZONITRILE	C13H9N	179	275	446	2920-38-9	NIST	17510
16	ANTHRACENE, 9,10-DIHYDRO-	C14H12	180	274	460	613-31-0	NIST	17960
17	(Z)-STILBENE	C14H12	180	273	430	645-49-8	NIST	17955

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารฟีนแอนทรีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

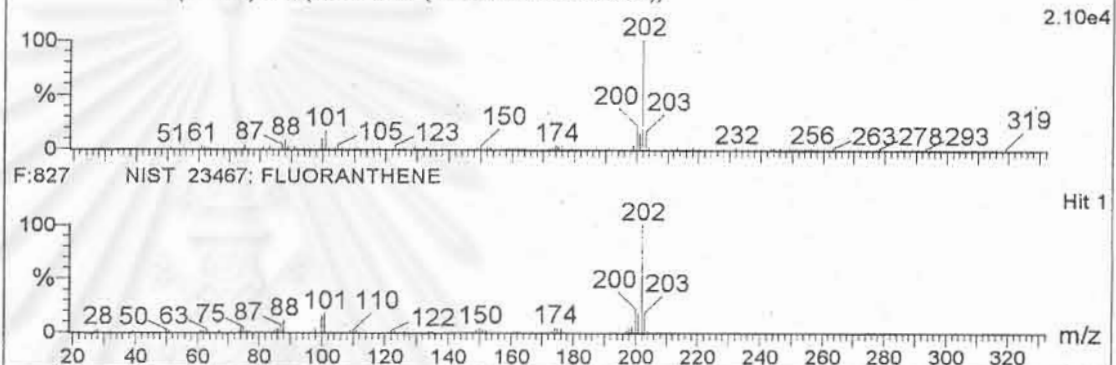


รูปที่ 6 (a) โครมาโตแกรมของสารฟลูออแรนทีน และไพรีน
(b) Selected Ion Chromatogram ของไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุเท่ากับ 202

Compound Name: FLUORANTHENE
 Synonym: Benzene, 1,2-(1,8-naphthalenediyl)-
 Molecular Weight: 202



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 1668 (14.885) Cm (1666:1671-(1652:1657+1687:1693))
 Forward Fit: 827, Reverse Fit: 899



Data File: 09A12212

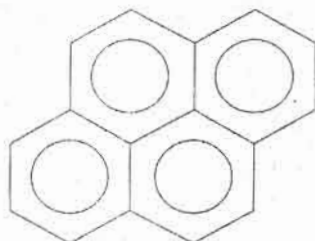
Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

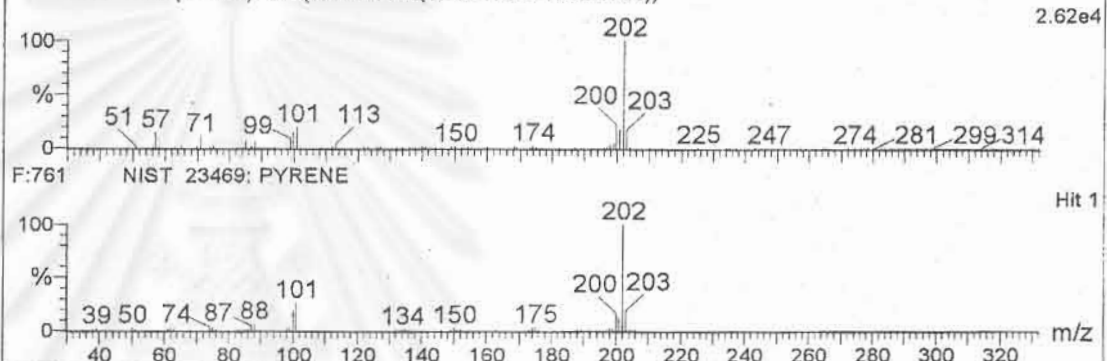
Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	FLUORANTHENE	C16H10	202	827	897	206-44-0	NIST	23467
2	PYRENE	C16H10	202	826	899	129-00-0	NIST	23469
3	BENZENE, 1,1'-(1,3-BUTADIYNE-1,4-DIYL) BIS-	C16H10	202	742	812	886-66-8	NIST	23468
4	ANTHRACENE, 9-ETHENYL-	C16H12	204	569	624	2444-68-0	NIST	23992
5	7H-BENZ DE ANTHRACEN-7-ONE	C17H10O	230	497	541	82-05-3	NIST	30040

รูปที่ ๗ การเปรียบเทียบแมส สเปคตรัมของสารฟลูออแรนทีน กับแมส สเปคตรัมใน NIST Library

Compound Name: PYRENE
 Synonym: á-Pyrene
 Molecular Weight: 202



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 1768 (15.552) Cm (1763:1770-(1748:1753+1792:1796))
 Forward Fit: 761, Reverse Fit: 904

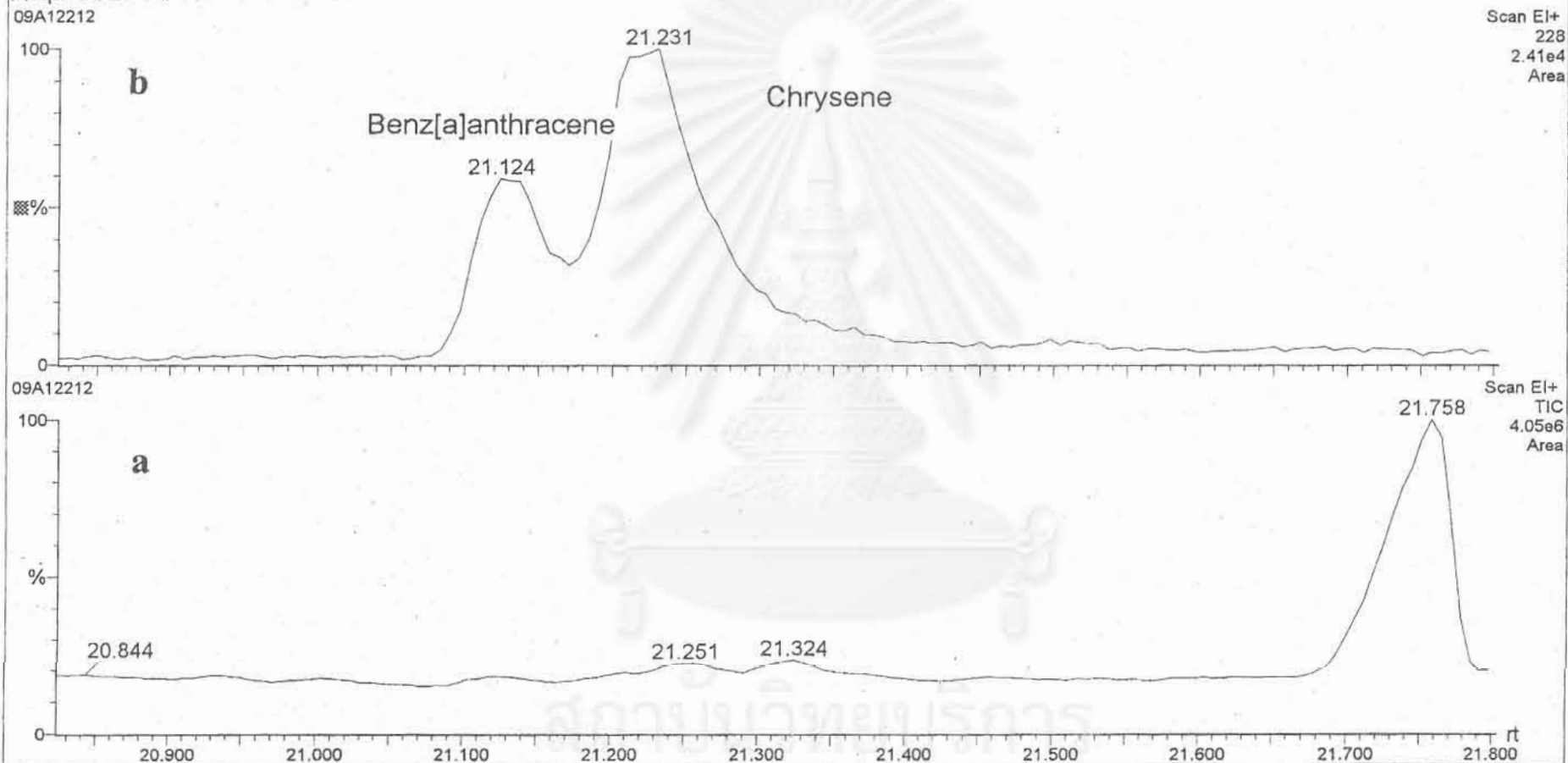


Data File: 09A12212
 Sample ID:
 Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	PYRENE	C16H10	202	761	904	129-00-0	NIST	23469
2	FLUORANTHENE	C16H10	202	732	893	206-44-0	NIST	23467
3	BENZENE, 1,1'-(1,3-BUTADIENE-1,4-DIYL) BIS-	C16H10	202	664	784	886-66-8	NIST	23468
4	ANTHRACENE, 9-(2-NITROETHENYL)-	C16H11O2N	249	644	806	58349-77-2	NIST	33709
5	2,3-DIHYDROFLUORANTHENE	C16H12	204	605	797	30339-87-8	NIST	23987
6	3,10B-DIHYDROFLUORANTHENE	C16H12	204	592	800	37980-07-7	NIST	23993
7	1,9-DIHYDROPYRENE	C16H12	204	543	714	0-00-0	NIST	23986
8	PYRENE, 4,5-DIHYDRO-	C16H12	204	507	667	6628-98-4	NIST	23991
9	ANTHRACENE, 9-ETHENYL-	C16H12	204	489	595	2444-68-0	NIST	23992
10	7H-BENZ DE ANTHRACEN-7-ONE	C17H10O	230	459	556	82-05-3	NIST	30040
11	1-PYRENE-CARBOXALDEHYDE	C17H10O	230	446	527	3029-19-4	NIST	30041
12	1H-INDENE, 1-(PHENYLMETHYLENE)-	C16H12	204	420	575	5394-86-5	NIST	23994
13	NAPHTHALENE, 1-PHENYL-	C16H12	204	413	496	605-02-7	NIST	23990
14	5,12-NAPHTHACENEDIONE	C18H10O2	258	381	466	1090-13-7	NIST	35591
15	4-BROMO-1,2-(METHYLENEDIOXY) BENZENE	C7H5O2Br	200	369	506	2635-13-4	NIST	22736
16	BENZ(A) ANTHRACENE-7,12-DIONE	C18H10O2	258	364	439	2498-66-0	NIST	35592
17	1,2,4,5-TETRAZINE, 1,4-DIBUTYLHEXAHYDRO-	C10H24N4	200	213	514	35035-70-2	NIST	22868

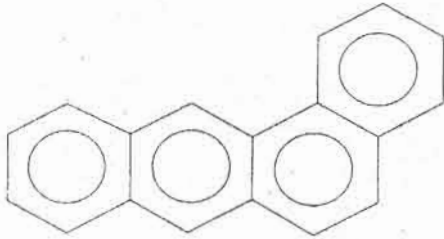
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบแมส สเปคตรัมของสารไพรีน กับแมส สเปคตรัมใน NIST Library

Sample ID:
Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
09A12212



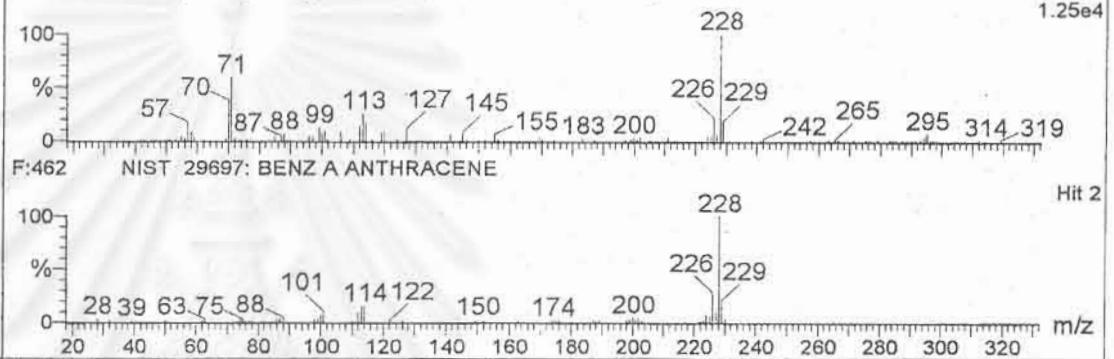
รูปที่ 9 (a) โครมาโตแกรมของสารเบนโซ[เอ]แอนทราซีน และไครซีน
(b) Selected Ion Chromatogram ของไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุเท่ากับ 228

Compound Name: BENZ A ANTHRACENE
 Synonym: Benzanthracene
 Molecular Weight: 228



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 2603 (21.124) Cm (2602:2606-(2586:2589+2650:2653))

Forward Fit: 462, Reverse Fit: 834



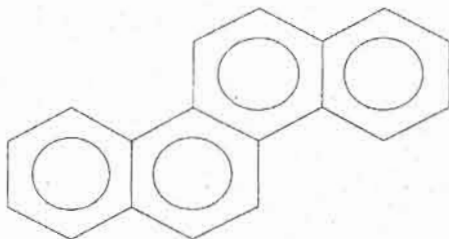
Data File: 09A12212
 Sample ID:

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	TRIPHENYLENE	C18H12	228	541	746	217-59-4	NIST	29698
2	BENZ A ANTHRACENE	C18H12	228	462	864	56-55-3	NIST	29697
3	CHRYSENE	C18H12	228	437	834	218-01-9	NIST	29696

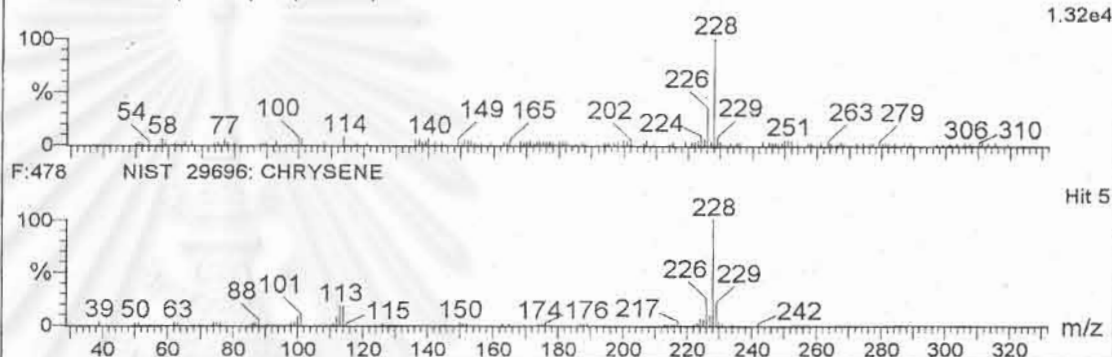
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารเบนโซ[เอ]แอนทราซีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: CHRYSENE
 Synonym: Benzo[a]phenanthrene
 Molecular Weight: 228



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 2618 (21.224) Rf (6.3.000)

Forward Fit: 478, Reverse Fit: 706



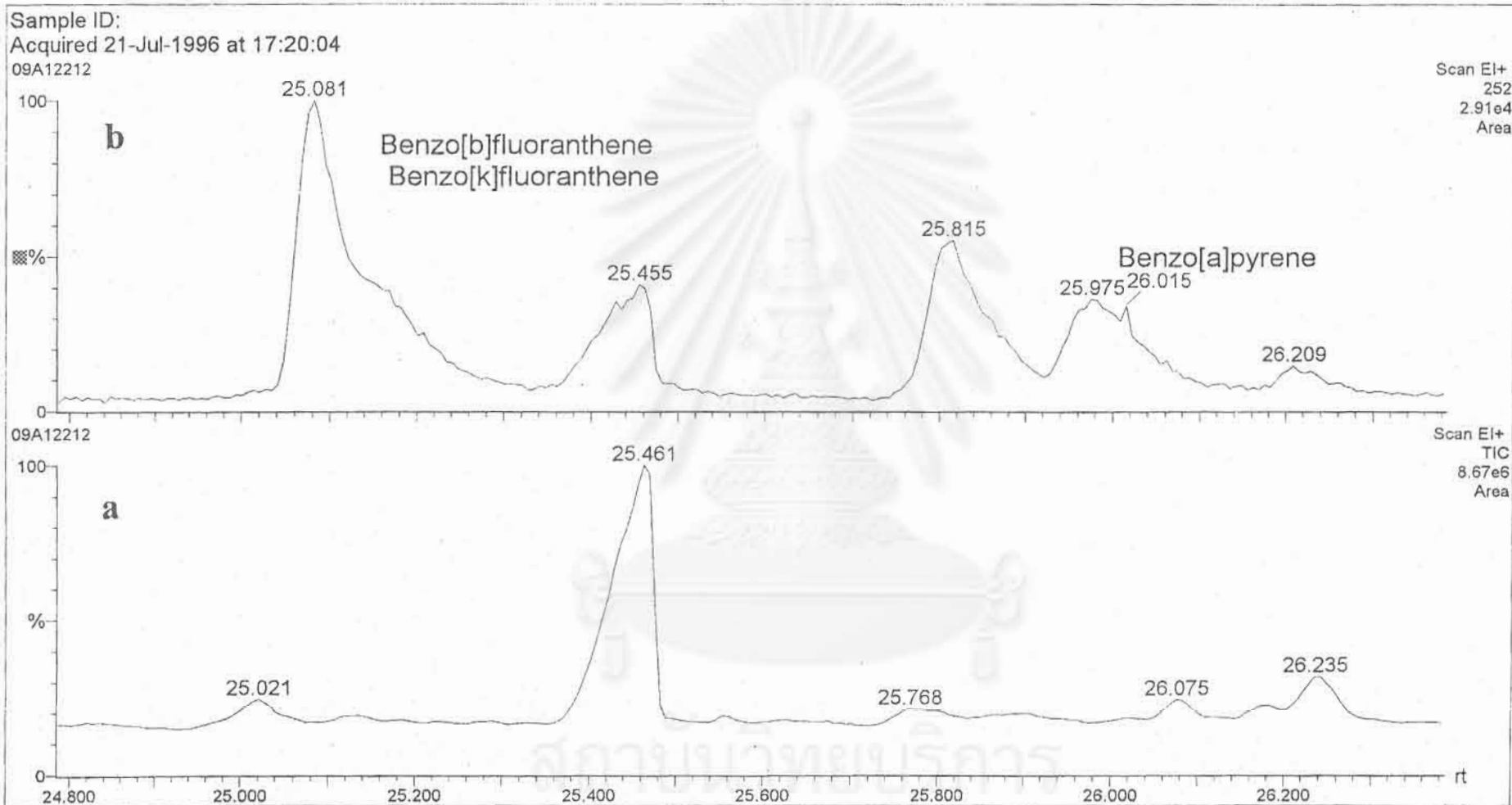
Data File: 09A12212

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZ A ANTHRACENE	C18H12	228	533	744	56-55-3	NIST	29697
2	3,4-DIHYDROCYCLOPENTA (CD) PYRENE (ACEPYRENE)	C18H12	228	512	796	25732-74-5	NIST	29695
3	TRIPHENYLENE	C18H12	228	508	735	217-59-4	NIST	29698
4	BENZO C PHENANTHRENE	C18H12	228	481	706	195-19-7	NIST	29694
5	CHRYSENE	C18H12	228	478	707	218-01-9	NIST	29696
6	1,1,3,3-TETRACHLORO-1,3-DISILACYCLOBUTANE	C2H4Cl4Si2	224	333	617	2146-97-6	NIST	28448

รูปที่ 11 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารโครซีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library



รูปที่ 12 (a) โครมาโตแกรมของส่วนที่เป็นสารเบนโซ[บี]ฟลูออแรนทีน, เบนโซ[เค]ฟลูออแรนทีน และเบนโซ[เอ]ไพรีน

(b) Selected Ion Chromatogram ของสารที่มีค่ามวลต่อประจุเท่ากับ 252

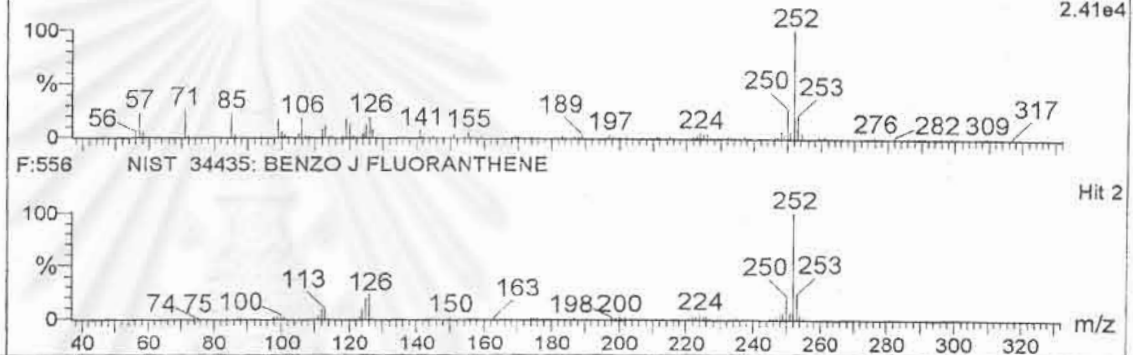
Compound Name: BENZO J FLUORANTHENE
 Synonym: Benzo-10,11-fluoranthene
 Molecular Weight: 252



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST

Forward Fit: 556, Reverse Fit: 892

09A12212 3194 (25.068) Cm (3194:3199-(3172:3181+3268:3276))



Data File: 09A12212

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZO K FLUORANTHENE	C20H12	252	563	927	207-08-9	NIST	34434
2	BENZO J FLUORANTHENE	C20H12	252	556	892	205-82-3	NIST	34435
3	BENZO E PYRENE	C20H12	252	555	834	192-97-2	NIST	34433
4	BENZ E ACEPHENANTHRYLENE	C20H12	252	553	887	205-99-2	NIST	34432
5	PERYLENE	C20H12	252	552	861	198-55-0	NIST	34430
6	BENZO A PYRENE	C20H12	252	517	758	50-32-8	NIST	34431
7	9H-FLUORENE-9-METHANOL, .ALPHA.-PHENYL-, AC	C22H18O2	314	457	610	63839-89-4	NIST	44891
8	BENZO A PYRENE, 4,5-DIHYDRO-	C20H14	254	449	685	57652-66-1	NIST	34832
9	1H-INDENE, 1,1'-(1,2-ETHANEDIYLIDENE) BIS-	C20H14	254	444	784	72088-04-1	NIST	34834
10	4,6'-BIAZULENYL	C20H14	254	443	755	94154-49-1	NIST	34835
11	4,8'-BIAZULENYL	C20H14	254	441	752	0-00-0	NIST	34825
12	9H-FLUORENE, 9-(PHENYLMETHYLENE)-	C20H14	254	435	640	1836-87-9	NIST	34828
13	1,1'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	427	670	604-53-5	NIST	34830
14	9-(M-NITROBENZYLIDENE) FLUORENE	C20H13O2N	299	424	650	4421-51-6	NIST	42643
15	9-(P-NITROBENZYLIDENE) FLUORENE	C20H13O2N	299	414	635	6954-71-8	NIST	42646
16	ANTHRACENE, 9-PHENYL-	C20H14	254	408	637	602-55-1	NIST	34833
17	1,2'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	389	597	4325-74-0	NIST	34829

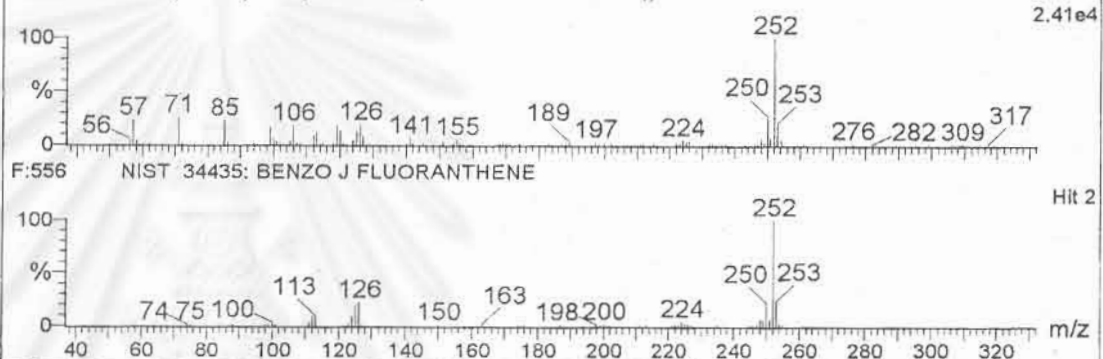
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารเบนโซไซ[บี]ฟลูออแรนทีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: BENZO J FLUORANTHENE
 Synonym: Benzo-10,11-fluoranthene
 Molecular Weight: 252



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 3194 (25.068) Cm (3194:3199-(3172:3181+3268:3276))

Forward Fit: 556, Reverse Fit: 892



Data File: 09A12212

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	FOR	rev	CAS	Library	Entry
1	BENZO K FLUORANTHENE	C20H12	252	563	927	207-08-9	NIST	34434
2	BENZO J FLUORANTHENE	C20H12	252	556	892	205-82-3	NIST	34435
3	BENZO E PYRENE	C20H12	252	555	834	192-97-2	NIST	34433
4	BENZ E ACEPHENANTHRYLENE	C20H12	252	553	887	205-99-2	NIST	34432
5	PERYLENE	C20H12	252	552	861	198-55-0	NIST	34430
6	BENZO A PYRENE	C20H12	252	517	758	50-32-8	NIST	34431
7	9H-FLUORENE-9-METHANOL, .ALPHA.-PHENYL-, AC	C22H18O2	314	457	610	63839-89-4	NIST	44891
8	BENZO A PYRENE, 4,5-DIHYDRO-	C20H14	254	449	685	57652-66-1	NIST	34832
9	1H-INDENE, 1,1'-(1,2-ETHANEDIYLIDENE) BIS-	C20H14	254	444	784	72088-04-1	NIST	34834
10	4,6'-BIAZULENYL	C20H14	254	443	755	94154-49-1	NIST	34835
11	4,8'-BIAZULENYL	C20H14	254	441	752	0-00-0	NIST	34825
12	9H-FLUORENE, 9-(PHENYLMETHYLENE)-	C20H14	254	435	640	1836-87-9	NIST	34828
13	1,1'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	427	670	604-53-5	NIST	34830
14	9-(M-NITROBENZYLIDENE) FLUORENE	C20H13O2N	299	424	650	4421-51-6	NIST	42643
15	9-(P-NITROBENZYLIDENE) FLUORENE	C20H13O2N	299	414	635	6954-71-8	NIST	42646
16	ANTHRACENE, 9-PHENYL-	C20H14	254	408	637	602-55-1	NIST	34833
17	1,2'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	389	597	4325-74-0	NIST	34829

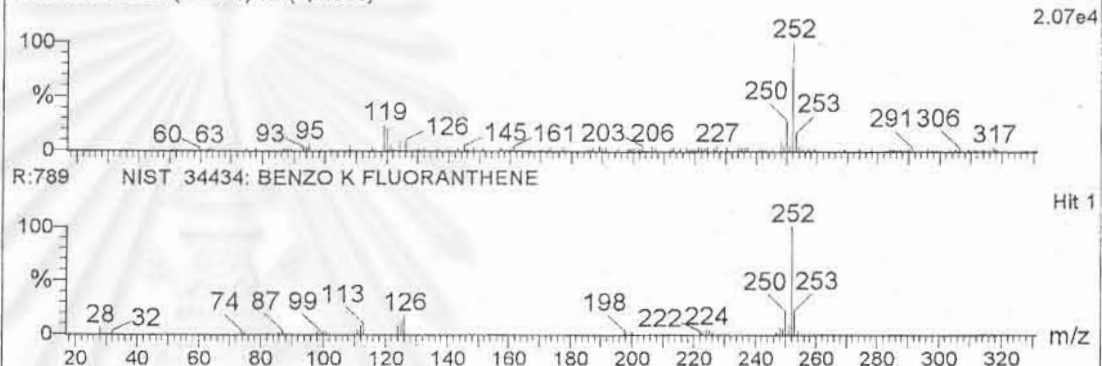
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารเบนโซ[บี]ฟลูออแรนทีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: BENZO K FLUORANTHENE
 Synonym: Dibenzo[b,jk]fluorene
 Molecular Weight: 252



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 3196 (25.081) Rf (6,3,000)

Forward Fit: 496, Reverse Fit: 789



Data File: 09A12212

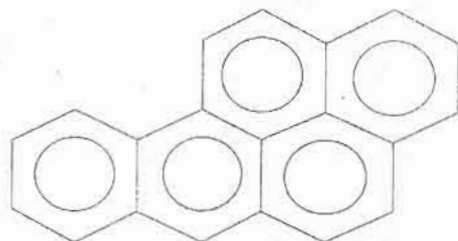
Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	for	REV	CAS	Library	Entry
1	BENZO K FLUORANTHENE	C20H12	252	464	789	207-08-9	NIST	34434
2	BENZ E ACEPHENANTHRYLENE	C20H12	252	488	754	205-99-2	NIST	34432
3	BENZO E PYRENE	C20H12	252	476	750	192-97-2	NIST	34433
4	BENZO J FLUORANTHENE	C20H12	252	474	741	205-82-3	NIST	34435
5	PERYLENE	C20H12	252	496	711	198-55-0	NIST	34430
6	1,2-DIHYDROBENZO B FLUORANTHENE	C20H14	254	372	701	0-00-0	NIST	34824
7	BENZO A PYRENE	C20H12	252	397	631	50-32-8	NIST	34431
8	BENZO A PYRENE, 4,5-DIHYDRO-	C20H14	254	361	560	57652-66-1	NIST	34832
9	1H-INDENE, 1,1'-(1,2-ETHANEDIYLIDENE) BIS-	C20H14	254	297	509	72088-04-1	NIST	34834
10	9H-FLUORENE, 9-(PHENYLMETHYLENE)-	C20H14	254	254	403	1836-87-9	NIST	34828

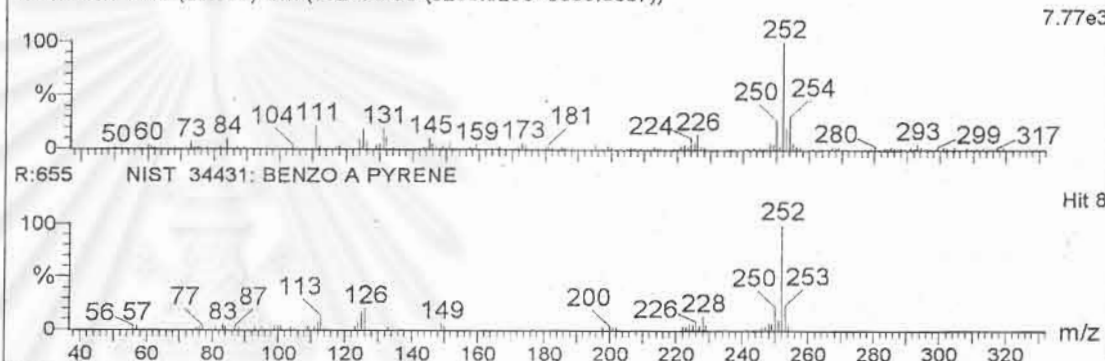
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารเบนโซ[เค]ฟลูออแรนทีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library

Compound Name: BENZO A PYRENE
 Synonym: Benz[a]pyrene
 Molecular Weight: 252



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST
 09A12212 3335 (26.008) Cm (3328:3335-(3285:3290+3350:3357))

Forward Fit: 419, Reverse Fit: 655



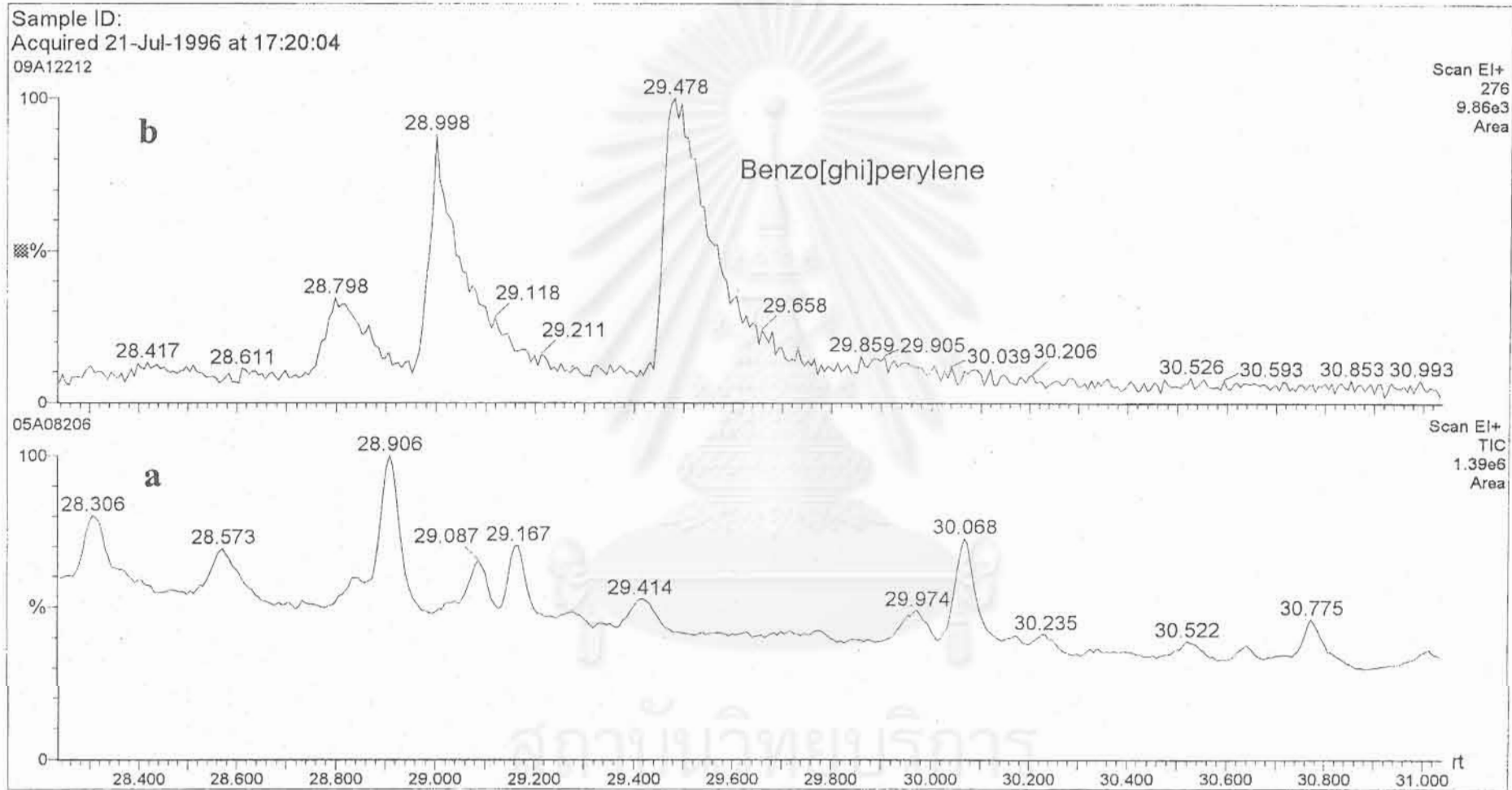
Data File: 09A12212

Sample ID:

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

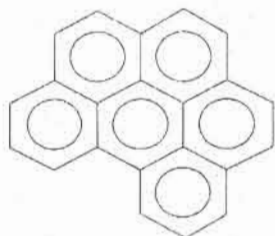
Hit	Compound Name	Formula	M.W.	for	REV	CAS	Library	Entry
1	1,2-DIHYDROBENZO B FLUORANTHENE	C20H14	254	468	860	0-00-0	NIST	34824
2	4,5-DIHYDROBENZO E PYRENE	C20H14	254	546	771	95676-42-9	NIST	34826
3	4,8'-BIAZULENYL	C20H14	254	416	756	0-00-0	NIST	34825
4	4,6'-BIAZULENYL	C20H14	254	409	742	94154-49-1	NIST	34835
5	BENZO A PYRENE, 4,5-DIHYDRO-	C20H14	254	515	741	57652-66-1	NIST	34832
6	1H-INDENE, 1,1'-(1,2-ETHANEDIYLIDENE) BIS-	C20H14	254	389	701	72088-04-1	NIST	34834
7	ANTHRACENE, 9-PHENYL-	C20H14	254	435	657	602-55-1	NIST	34833
8	BENZO A PYRENE	C20H12	252	476	655	50-32-8	NIST	34431
9	1,1'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	425	642	604-53-5	NIST	34830
10	1,2'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	462	635	4325-74-0	NIST	34829
11	9-(M-NITROBENZYLIDENE) FLUORENE	C20H13O2N	299	419	625	4421-51-6	NIST	42643
12	9-(P-NITROBENZYLIDENE) FLUORENE	C20H13O2N	299	401	597	6954-71-8	NIST	42646
13	9H-FLUORENE-9-METHANOL, .ALPHA.-PHENYL-, AC	C22H18O2	314	361	566	63839-89-4	NIST	44891
14	9,10 1',2' -BENZENOANTHRACENE, 9,10-DIHYDRO	C20H14	254	389	561	477-75-8	NIST	34827
15	2,2'-BINAPHTHALENE	C20H14	254	364	548	612-78-2	NIST	34831
16	9H-FLUORENE, 9-(PHENYLMETHYLENE)-	C20H14	254	367	547	1836-87-9	NIST	34828
17	9-ANTHRACENECARBOXALDEHYDE, 10-PHENYL-	C21H14O	282	298	456	54458-81-0	NIST	39870

รูปที่ 15 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารเบนโซ[เอ]ไพรีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library



รูปที่ ง16 (a) โครมาโตแกรมของสารเบนโซ[จี] เอช [ไอ]เพอร์รีน
(b) Selected Ion Chromatogram ของไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุเท่ากับ 276

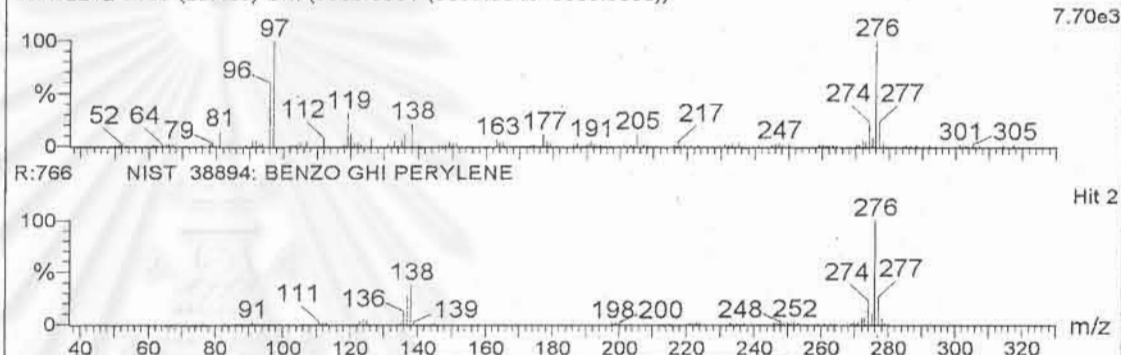
Compound Name: BENZO GHI PERYLENE
 Synonym: Benzo-1,12-perylene
 Molecular Weight: 276



Sample ID:
 Acquired 21-Jul-1996 at 17:20:04
 Library: NIST

Forward Fit: 329, Reverse Fit: 766

09A12212 3853 (29.465) Cm (3853:3861-(3835:3843+3888:3898))




Data File: 09A12212

Acquired 17:20:04 at 17:20:04

Sample ID:

Hit	Compound Name	Formula	M.W.	for	REV	CAS	Library	Entry
1	INDENO 1,2,3-CD PYRENE	C22H12	276	328	823	193-39-5	NIST	38896
2	BENZO GHI PERYLENE	C22H12	276	333	766	191-24-2	NIST	38894
3	DIBENZO DEF,MNO CHRYSENE	C22H12	276	329	730	191-26-4	NIST	38895
4	1,12-BENZPERYLENE	C22H12	276	307	704	0-00-0	NIST	38893
5	CYCLOPROPANECARBONITRILE, 2- P-(DIMETHYLAMI	C19H20N2	276	213	560	32589-51-8	NIST	38875
6	2-PHENYL-4- (2-PROPYN-1-YL)THIO QUINAZOLINE	C17H12N2S	276	159	519	0-00-0	NIST	38839
7	RHODIUM, (1,2,5,6-.ETA.)-1,5-CYCLOOCTADIEN	C13H17Rh	276	140	388	32610-45-0	NIST	38765
8	BENZO B CHRYSENE	C22H14	278	226	372	214-17-5	NIST	39241
9	2-METHOXY-5-AMINO-4,6-DIPHENYLPYRIMIDINE	C17H15ON3	277	232	363	76891-83-3	NIST	38963
10	1,2:7,8-DIBENZPHENANTHRENE	C22H14	278	148	313	0-00-0	NIST	39237
11	DIBENZ A, J ANTHRACENE	C22H14	278	94	284	224-41-9	NIST	39242
12	BENZO A NAPHTHACENE	C22H14	278	85	269	226-88-0	NIST	39240
13	DIBENZ A, H ANTHRACENE	C22H14	278	153	268	53-70-3	NIST	39243
14	PYRIDINITRIL	C13H5N3Cl2	273	114	267	1086-02-8	NIST	38258
15	BENZO B TRIPHENYLENE	C22H14	278	179	248	215-58-7	NIST	39238
16	GINGEROL	C17H26O4	294	91	234	23513-14-6	NIST	41778
17	CYCLOHEXENE, 1-METHYL-3-(1-METHYLETHYL) -	C10H18	138	64	150	13828-31-4	NIST	7104

รูปที่ 17 การเปรียบเทียบแมส สเปกตรัมของสารเบนโซ[จี]เพอรีลีน กับแมส สเปกตรัมใน NIST Library



ภาคผนวก จ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค จี ซี / เอ็ม เอส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ1 ปริมาณของสารพี เอ เอช(นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.), ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศทั้งหมด(มิลลิกรัม ต่อ ลบ.ม., และปริมาตรของอากาศ (ลบ.)ที่ทำการเก็บในแต่ละตัวอย่าง สำหรับสถานีเก็บตัวอย่างอากาศบางยี่ชั้น

No.	SAMPLE	Air Vol.	TSP	Phe	Flu	Py	TotalPAH
1	01A02201	2190.79	0.3355	0.0039	0.0031	0.0126	0.0196
2	02A05202	2023.30	0.3916	0.0038	0.0066	0.0199	0.0303
3	03A06204	1843.55	0.5005	0.0047	0.0087	0.0279	0.0412
4	04A07205	2235.82	0.3468	0.0034	0.0069	0.0201	0.0304
5	05A08206	1823.93	0.3999	0.0045	0.0073	0.0189	0.0307
6	06A09208	1838.20	0.4263	0.0004	0.0005	0.0005	0.0013
7	07A10209	975.23	0.1496	0.0016	0.0026	0.0031	0.0072
8	08A11210	2079.93	0.1945	0.0019	0.0031	0.0054	0.0103
9	09A12212	2067.62	0.9253	0.0049	0.0088	0.0225	0.0361
10	10A13213	2102.91	0.3728	0.0019	0.0029	0.0060	0.0108
11	11A14215	2296.59	0.2134	0.0008	0.0012	0.0016	0.0036
12	12A16216	2272.56	0.1484	0.0005	0.0006	nd	0.0011
13	13A17217	2344.51	0.1225	0.0004	0.0006	0.0005	0.0015
14	14A19219	2173.68	0.2176	0.0019	0.0028	0.0082	0.0128
15	15A20220	2071.21	0.2872	0.0021	0.0045	0.0146	0.0213

Air vol. = ปริมาตรอากาศ (ม³), TSP = อนุภาคอากาศทั้งหมด, Phe = พีแนททีน, Flu = ฟลูออแรนทีน, Py = ไพรีน, Total PAH = Phe + Flu + Py

ตารางที่ จ2 ปริมาณของสารพี เอ เอช(นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.), ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศทั้งหมด(มิลลิกรัม ต่อ ลบ.ม., และปริมาตรของอากาศ (ลบ.)ที่ทำการเก็บในแต่ละตัวอย่าง สำหรับสถานีเก็บตัวอย่างอากาศประตูน้ำ

No.	SAMPLE	Air Vol.	TSP	Phe	Flu	Py	TotalPAH
1	01B21222	2027.81	0.7208	0.0073	0.0083	0.0233	0.0390
2	02B22223	1906.59	0.8794	0.0073	0.0108	0.0318	0.0499
3	03B23224	1807.30	0.8297	0.0108	0.0118	0.0346	0.0573
4	04B24225	1909.00	0.6308	0.0044	0.0047	0.0130	0.0221
5	05B25226	2057.28	0.4499	0.0043	0.0059	0.0160	0.0262
6	06B26228	2045.31	0.4796	0.0073	0.0085	0.0245	0.0403
7	07B27230	2043.57	0.4392	0.0064	0.0073	0.0217	0.0354
8	08B28231	1661.23	0.4414	0.0061	0.0053	0.0132	0.0247
9	09B29232	1879.53	0.2620	0.0061	0.0067	0.0172	0.0300
10	10B01334	1831.20	0.5269	0.0072	0.0083	0.0228	0.0383
11	11B02336	1836.64	0.6012	0.0083	0.0096	0.0300	0.0479
12	12B03338	1857.74	0.6530	0.0105	0.0189	0.0623	0.0918
13	13B04339	1982.11	0.6461	0.0098	0.0142	0.0478	0.0717
14	14B06341	1847.81	0.5219	0.0070	0.0086	0.0227	0.0383
15	15B07342	2022.26	0.4798	0.0066	0.0080	0.0233	0.0380
16	16B08343	1847.99	0.5450	0.0072	0.0078	0.0212	0.0362
17	17B09344	1380.00	0.4830	0.0035	0.0056	0.0157	0.0248

Air vol. = ปริมาตรอากาศ (ม³), TSP = อนุภาคอากาศทั้งหมด, Phe = พีแ่นแท้น, Flu = ฟลูออแรนทีน, Py = ไพรีน, Total PAH = Phe + Flu + Py

ตารางที่ จ3 ปริมาณของสารพี เอ เอช(นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.), ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศทั้งหมด(มิลลิกรัม ต่อ ลบ.ม., และปริมาตรของอากาศ (ลบ.)ที่ทำการเก็บในแต่ละตัวอย่าง สำหรับสถานีเก็บตัวอย่างอากาศถนนเยาวราช

No.	SAMPLE	Air Vol.	TSP	Phe	Flu	Py	TotalPAH
1	01C12345	1613.93	0.4698	0.0041	0.0065	0.0204	0.0310
2	03C20348	1509.56	0.5714	0.0045	0.0050	0.0162	0.0258
3	04C21349	1572.00	0.5448	0.0040	0.0060	0.0188	0.0289
4	05C24351	1711.80	0.4503	0.0025	0.0043	0.0117	0.0185
5	06C25353	1549.92	0.4861	0.0033	0.0038	0.0103	0.0174
6	07C26355	1700.65	0.5206	0.0030	0.0058	0.0203	0.0291
7	08C28356	1535.79	0.642	0.0048	0.0056	0.0140	0.0243
8	09C31357	1642.08	0.4834	0.0041	0.0057	0.0167	0.0265
9	10C01458	1355.34	0.5520	0.0049	0.0099	0.0310	0.0457
10	11C29359	1541.25	0.4936	0.0020	0.0027	0.0065	0.0112
11	12C30360	1429.78	0.5536	0.0027	0.0025	0.0061	0.0114
12	13C02461	983.80	0.6379	0.0034	0.0066	0.0194	0.0293
13	14C22362	1500.18	0.5847	0.0027	0.0025	0.0052	0.0104
14	15C05465	1588.38	0.7674	0.0059	0.0100	0.0358	0.0518
15	16C16367	1343.90	0.4874	0.0012	0.0025	0.0054	0.0092
16	17C18368	1413.71	0.4568	0.0033	nd	nd	0.0033
17	18C19369	1425.89	0.4796	0.0010	0.0012	0.0012	0.0034
18	20C08471	1658.30	0.5684	0.0039	0.0067	0.0185	0.0291

Air vol. = ปริมาตรอากาศ (ม³), TSP = อนุภาคอากาศทั้งหมด, Phe = ฟิแนนทีน, Flu = ฟลูออแรนทีน, Py = ไพรีน, Total PAH = Phe + Flu + Py

ตารางที่ จ4 ปริมาณของสารพี เอ เอช(นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.), ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศทั้งหมด(มิลลิกรัม ต่อ ลบ.ม., และปริมาตรของอากาศ (ลบ.)ที่ทำการเก็บในแต่ละตัวอย่าง สำหรับสถานีเก็บตัวอย่างอากาศสำนักงานสถิติแห่งชาติ

No.	SAMPLE	Air Vol.	TSP	Phe	Flu	Py	TotalPAH
1	01D11473	1576.94	0.2396	0.0029	0.0022	0.0042	0.0093
2	02D12475	1847.44	0.1922	nd	0.0026	0.0047	0.0073
3	03D13477	1913.23	0.1687	nd	0.0019	0.0043	0.0063
4	04D14479	1720.46	0.2412	nd	0.0035	0.0081	0.0116
5	05D15481	1911.66	0.1726	nd	0.0023	0.0120	0.0143
6	06D16483	1791.51	0.1637	nd	0.0027	0.0051	0.0077
7	08D18486	1841.41	0.2697	nd	0.0040	0.0113	0.0153
8	09D19487	1761.16	0.1735	0.0033	0.0042	0.0117	0.0192
9	10D20488	1842.58	0.2443	0.0025	0.0028	0.0054	0.0106
10	11D26489	1758.63	0.2023	0.0039	0.0041	0.0125	0.0205
11	12D27491	1814.42	0.1571	0.0033	0.0039	0.0086	0.0159
12	13D22493	1601.78	0.4548	0.0022	0.0028	0.0072	0.0122
13	15D28496	1898.38	0.1916	0.0017	0.0021	0.0046	0.0083

Air vol. = ปริมาตรอากาศ (ม³), TSP = อนุภาคอากาศทั้งหมด, Phe = ฟีนแอนทีน, Flu = ฟลูออแรนทีน, Py = ไพรีน, Total PAH = Phe + Flu + Py

ตารางที่ จ5 ปริมาณของสารพี เอ เอช(นาโนกรัม ต่อ ลบ.ม.), ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศทั้งหมด(มิลลิกรัม ต่อ ลบ.ม., และปริมาตรของอากาศ(ลบ.)ที่ทำการเก็บในแต่ละตัวอย่าง สำหรับสถานีเก็บตัวอย่างอากาศสถาบันราชภัฏ วิทยาลัยครูบ้านสมเด็จ

No.	SAMPLE	Air Vol.	TSP	Phe	Flu	Py	TotalPAH
1	01S05203	2085.31	0.2854	0.0019	0.0022	0.0048	0.0090
2	02S08207	1987.85	0.3576	0.0029	0.0037	0.0082	0.0149
3	03S11211	2057.17	0.3264	0.0016	0.0022	0.0044	0.0082
4	04S14214	2116.50	0.2757	0.0014	0.0015	0.0030	0.0060
5	05S17218	2119.56	0.1701	nd	nd	nd	nd
6	06S20221	2194.99	0.1292	0.0022	0.0026	0.0046	0.0093
7	07S23227	2190.77	0.2061	0.0045	0.0034	0.0060	0.0138
8	09S29233	2200.09	0.1916	nd	nd	nd	nd
9	10S01335	2136.09	0.1621	0.0020	0.0017	0.0027	0.0063
10	11S02337	2090.46	0.2000	0.0027	0.0031	0.0060	0.0117
11	12S03340	2241.63	0.2519	0.0042	0.0042	0.0078	0.0162
12	13S18347	2134.63	0.3862	nd	nd	nd	nd
13	14S21350	2119.96	0.2108	nd	nd	nd	nd
14	15S24352	2311.58	0.1218	nd	nd	nd	nd
15	16S27354	2263.85	0.0807	nd	nd	nd	nd
16	17S30363	2240.66	0.1554	nd	nd	nd	nd
17	18S02464	2494.78	0.1595	nd	nd	nd	nd
18	19S05466	2115.07	0.1641	nd	nd	nd	nd
19	20S08472	2140.76	0.1106	nd	nd	nd	nd
20	21S11474	2072.66	0.1822	nd	nd	nd	nd
21	22S12476	1964.75	0.1021	nd	nd	nd	nd
22	23S13478	2150.75	0.0856	nd	nd	nd	nd
23	24S14480	2109.26	0.1057	nd	nd	nd	nd
24	25S15482	2205.16	0.1150	nd	nd	nd	nd
25	26S17485	2195.40	0.1260	nd	nd	nd	nd
26	27S26490	2314.88	0.1039	nd	nd	nd	nd
27	28S20492	2222.72	0.1469	nd	nd	nd	nd
28	29S23494	2180.31	0.1989	nd	nd	nd	nd
29	30S29497	2306.44	0.1151	nd	nd	nd	nd



ภาคผนวก จ

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๑ ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาของบริเวณบางยี่ขัน ในเวลาที่ทำการศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539)

No.	SAMPLE	MEAN TEMP (°C)	R.H (%)	VAPOUR PRESS (HECTOPASCAL)	RAINFALL (mm.)	SUNSHINE (HR)
1	01A02201	25.5	55	18.9	0	5.4
2	02A05202	26.2	55	19.7	0	7.4
3	03A06204	26.3	55	18.8	0	7.2
4	04A07205	26.0	52	18.1	0	7.1
5	05A08206	25.7	44	15.6	0	7.5
6	06A09208	26.1	42	14.8	0	7.8
7	07A10209	25.3	49	16.8	0	7.8
8	08A11210	24.9	53	17.8	0	7.7
9	09A12212	26.7	49	17.8	0	7.5
10	10A13213	27.3	60	22.2	0	7.5
11	11A14215	27.8	73	28.0	0	7.7
12	12A16216	29.2	74	29.8	0	7.8
13	13A17217	29.6	75	30.1	0	7.8
14	14A19219	26.3	85	29.1	3.9	0.0
15	15A20220	25.5	67	21.1	0	5.1

ตารางที่ ๑๒ ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาของบริเวณประตูน้ำ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539)

No.	SAMPLE	MEAN TEMP	R.H	VAPOUR PRESS	RAINFALL	SUNSHINE
		($^{\circ}\text{C}$)	(%)	(HECTOPASCAL)	(mm.)	(HR)
1	01B21222	24.0	59	17.8	0	8.0
2	02B22223	24.7	54	17.4	0	7.8
3	03B23224	25.8	55	19.5	0	7.9
4	04B24225	27.4	59	22.4	0	7.6
5	05B25226	28.3	72	27.5	0	7.7
6	06B26228	28.7	74	28.3	0	7.6
7	07B27230	28.7	74	28.6	0	7.8
8	08B28231	28.2	75	28.8	0	6.8
9	09B29232	28.8	74	28.9	0	6.8
10	10B01334	29.0	75	29.1	2	0.2
11	11B02336	28.2	71	25.6	8888	2.5
12	12B03338	29.2	66	24.4	0	5.9
13	13B04339	29.7	69	27.4	0	5.7
14	14B06341	29.0	72	27.9	0	6.6
15	15B07342	29.2	71	27.8	0	6.7
16	16B08343	29.2	71	27.6	0	6.7
17	17B09344	29.4	68	26.8	0	6.2

ตารางที่ ๓3 ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาของบริเวณถนนเขาวราช ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539)

No.	SAMPLE	MIN.TEMP (°C)	R.H (%)	VAPOUR PRESS (HECTOPASCAL)	RAINFALL (mm.)	SUNSHINE (HR)
1	01C12345	26.3	71	28.9	0	6.7
2	02C13346	26.2	71	28.7	0	6.9
3	03C20348	26.5	71	29.9	0	7.1
4	04C21349	26.8	71	30.7	0	6.7
5	05C24351	25.3	69	29.3	0	6.9
6	06C25353	27.3	71	30.9	0	6.7
7	07C26355	27.2	71	30.7	0	7.0
8	08C28356	27.7	70	30.4	0	6.3
9	09C31357	27.6	66	29.8	0	7.2
10	10C01458	27.9	68	31.7	0	7.3
11	11C29359	27.4	66	29.1	0	7.2
12	12C30360	27.5	70	30.6	0	6.5
13	13C02461	27.6	70	31.8	0	6.5
14	14C22362	27.4	72	31.0	0	7.3
15	15C05465	23.4	73	29.3	0	6.9
16	16C16367	26.2	73	29.9	0	7.3
17	17C18368	26.4	72	30.2	0	7.2
18	18C19369	26.4	71	29.1	0	7.3
19	19C04470	22.0	75	30.3	8.6	6.1
20	20C08471	27.4	69	31.4	0	6.0


ตารางที่ ๑๔ ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาของบริเวณสำนักงานสถิติแห่งชาติ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539)

No.	SAMPLE	MIN.TEMP	R.H	VAPOUR PRESS	RAINFALL	SUNSHINE
		(°C)	(%)	(HECTOPASCAL)	(mm.)	(HR)
1	01D11473	27.6	64	30.3	0	5.5
2	02D12475	26.6	70	31.5	0	6.6
3	03D13477	26.5	64	29.2	14.5	6.4
4	04D14479	23.4	81	27.9	2.9	0.0
5	05D15481	24.4	68	28.0	0	6.8
6	06D16483	27.5	69	30.6	0	7.0
7	07D17484	27.9	72	32.9	0	5.1
8	08D18486	28.1	71	32.5	0	7.2
9	09D19487	28.4	69	31.8	0	7.5
10	10D20488	28.5	65	30.4	0	4.7
11	11D26489	24.2	80	32.1	11.5	3.2
12	12D27491	24.6	81	31.8	0.4	4.6
13	13D22493	25.3	65	26.3	0	1.6
14	14D25495	22.5	75	29.8	25	7.6
15	15D28496	26.5	69	30.2	7.1	6.6



ตารางที่ ๑๕ ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาของบริเวณบ้านสมเด็จ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา
(กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2539)

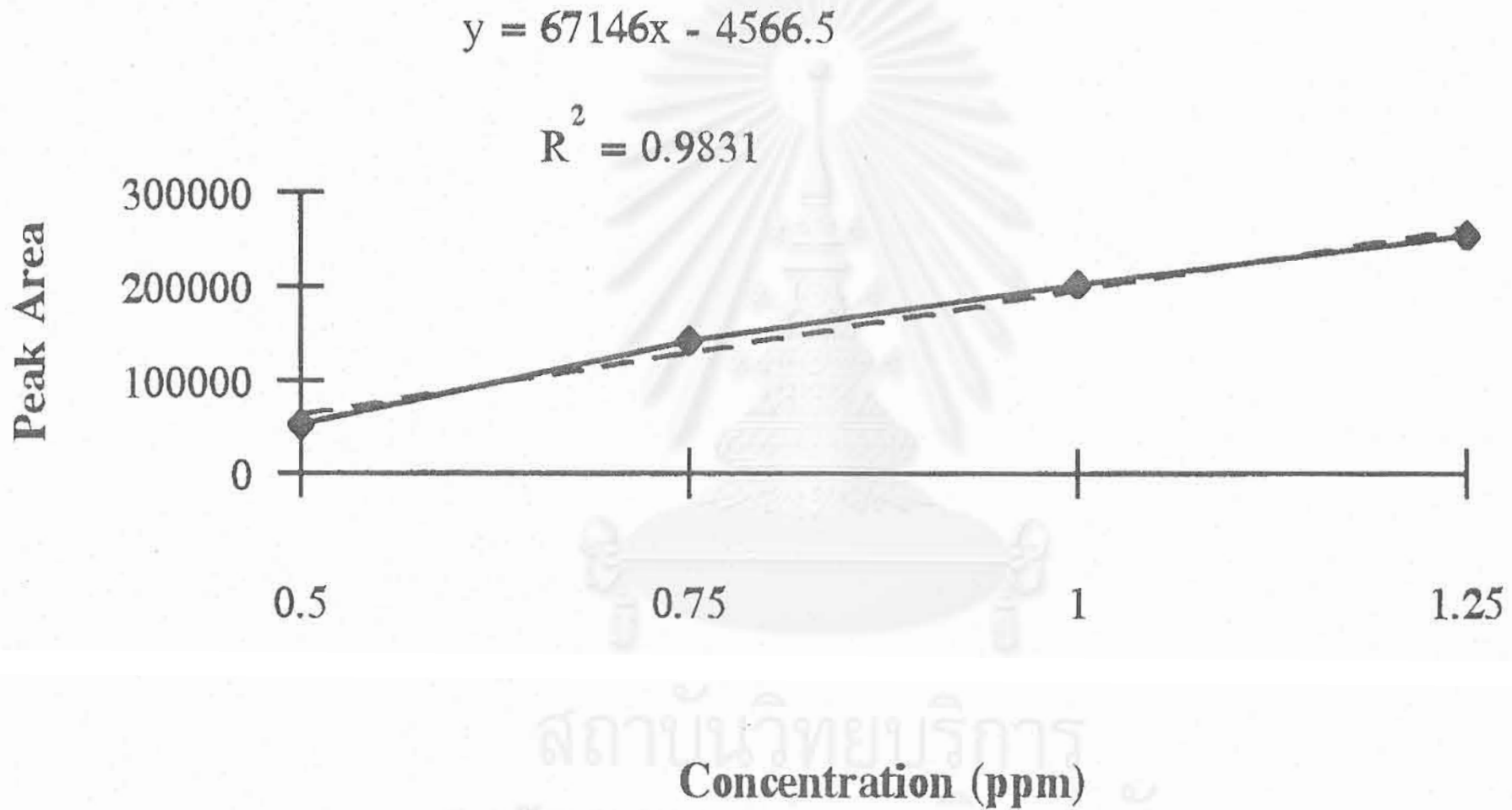
No.	SAMPLE	MEAN TEMP (°C)	R.H (%)	VAPOUR PRESS (HECTOPASCAL)	RAINFALL (mm.)	SUNSHINE (HR)
1	01S05203	26.2	55	19.7	0	7.4
2	02S08207	25.7	44	15.6	0	7.5
3	03S11211	24.9	53	17.8	0	7.7
4	04S14214	27.8	73	28.0	0	7.7
5	05S17218	29.6	75	30.1	0	7.8
6	06S20221	25.5	67	21.1	0	5.1
7	07S23227	25.8	55	19.5	0	7.9
8	08S26229	28.7	74	28.3	0	7.6
9	09S29233	28.8	74	28.9	0	6.8
10	10S01335	29.0	75	29.1	2	0.2
11	11S02337	28.2	71	25.6	8888	2.5
12	12S03340	29.2	66	24.4	0	5.9
13	13S18347	30.5	72	30.2	0	7.2
14	14S21350	30.8	71	30.7	0	6.7
15	15S24352	30.6	69	29.3	0	6.9
16	16S27354	31.6	73	31.0	0.4	7.3
17	17S30363	31.3	70	30.6	0	6.5
18	18S02464	32.3	70	31.8	0	6.5
19	19S05466	29.1	73	29.3	0	6.9
20	20S08472	31.6	69	31.4	0	6.0
21	21S11474	32.6	64	30.3	0	5.5
22	22S12476	31.1	70	31.5	0	6.6
23	23S13478	31.5	64	29.2	14.5	6.4
24	24S14480	27.5	81	27.9	2.9	0.0
25	25S15482	30.5	68	28.0	0	6.8
26	26S17485	31.8	72	32.9	0	5.1
27	27S26490	29.4	80	32.1	11.5	3.2
28	28S20492	33.2	65	30.4	0	4.7
29	29S23494	30.4	60	25.9	0	2.6
30	30S29497	29.0	76	31.4	0	5.9



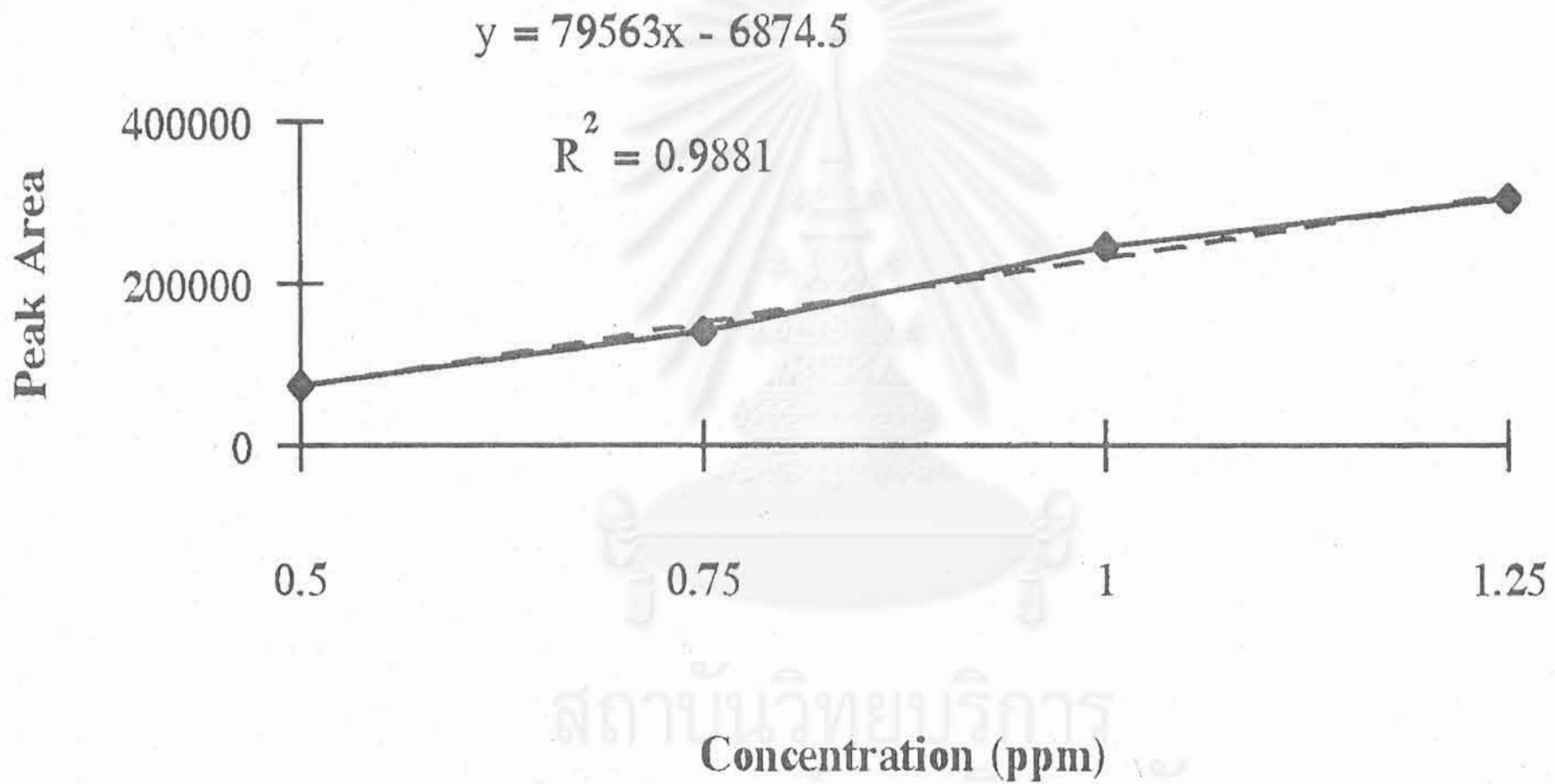
ภาคผนวก ช

กราฟมาตรฐานของสารพีแชนทริน ฟลูออแรนทีน และไพรีน

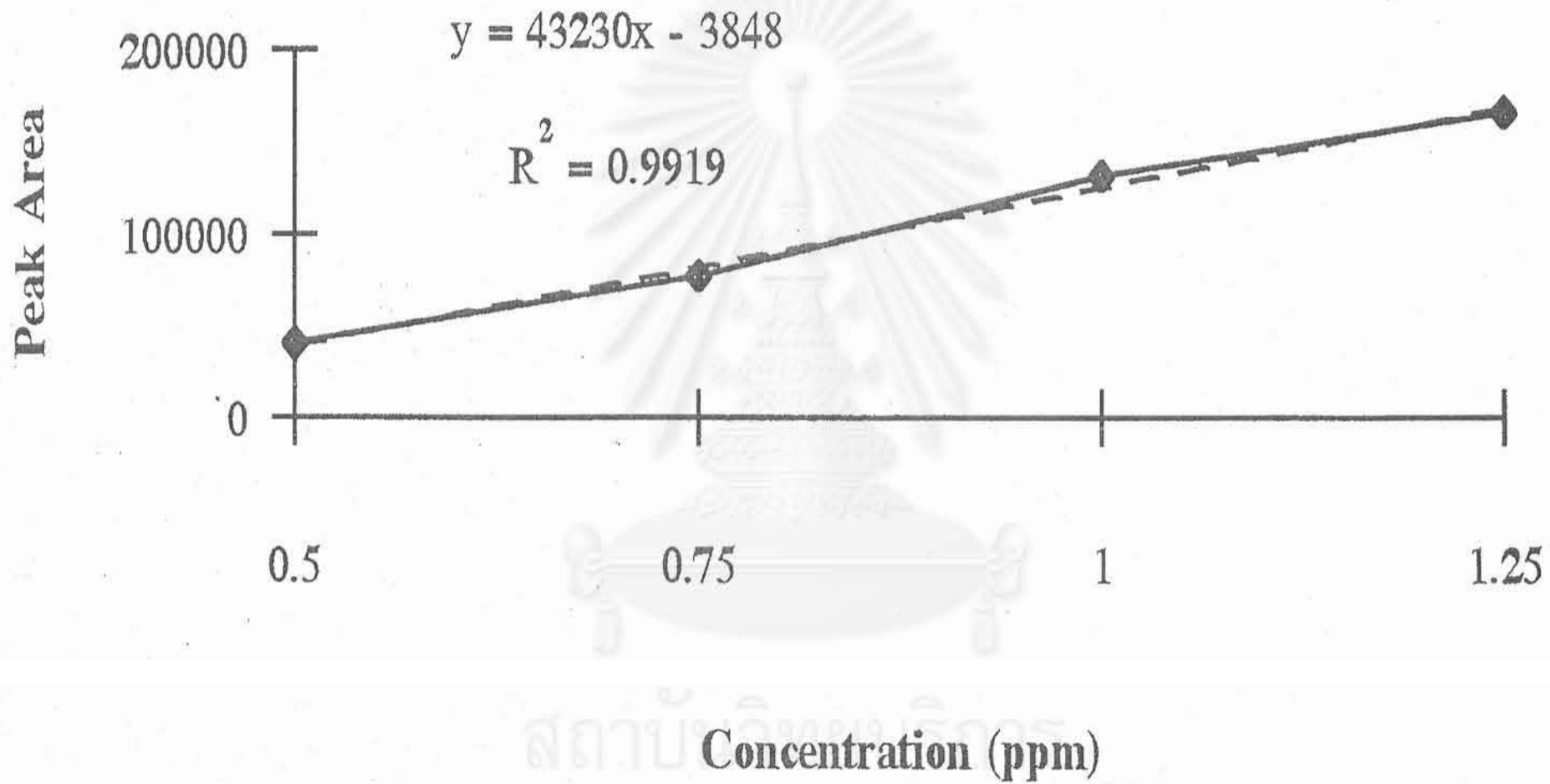
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๗1 กราฟมาตรฐานของสารพีแนทรีน



รูปที่ ๒2 กราฟมาตรฐานของสารฟลูออแรนทีน



รูปที่ ๓3 กราฟมาตรฐานของสารไพรีน