



ตามทฤษฎี สารในกลุ่ม PAHs มีเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 แสดงจำนวน isomer ที่มีจำนวนวงอะโรมาติก (N) ตั้งแต่ 1 วง

ตารางที่ 2.1 จำนวน PAHs ในระบบ kata-annellated และ peri-condensed ที่มีจำนวนวงอะโรมาติก (N) ตั้งแต่ 1 วง

N	Kata-annellated PAHs	Peri-condensed PAHs	$\Sigma$
1	1	0	1
2	1	0	1
3	2	1	3
4	5	2	7
5	12	10	22
6	37	45	82
7	123	210	333
8	446	1002	1448

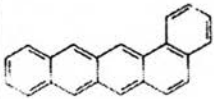
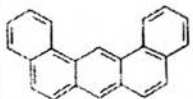
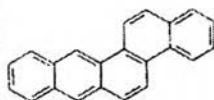
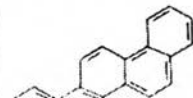
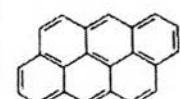
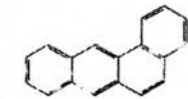
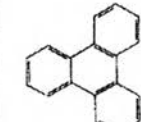
ที่มา : Zander, 1983

### 2.2.2 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

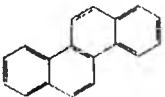
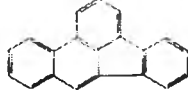
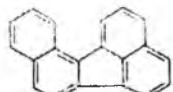
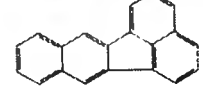
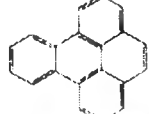
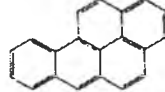
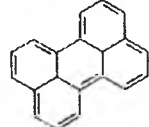
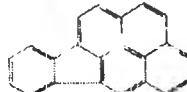
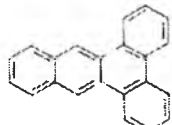
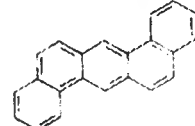
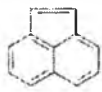
ลักษณะสมบัติทางกายภาพขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของระบบ  $\pi$  electron ในที่นี้ขนาด หมายถึงจำนวน C อะตอมกลาง และจำนวน  $\pi$  electron ในขณะที่ลักษณะ หมายถึงประเภทของวงอะโรมาติกที่มาเชื่อมต่อ (Zander, 1983)

PAHs ที่ยังไม่อิ่มตัวทั้งหมดมีสถานะเป็นของแข็ง ฅ อุณหภูมิปกติ และมีจุดเดือดสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 คุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อปริมาณ PAHs ที่ถูกอนุภาคในอากาศดูดซับ

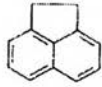
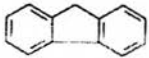

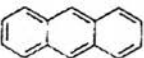
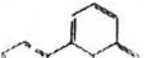


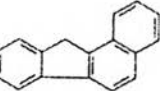
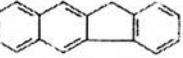
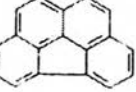
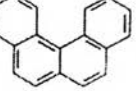
ตารางที่ 2.2 สูตรโครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของ PAHs

สูตร โครงสร้าง	ชื่อระบบ IUPAC	น้ำหนักโมเลกุล	จุดหลอมเหลว(°C)	จุดเดือด(°C)
	Dibenzo[a,i]anthracene	278.36	264	
	1,2:6,7-Dibenzanthracene			
	1,2-Benzonaphacene			
	Isopentaphene			
	Dibenzo[a,i]anthracene	278.36	197	
	1,2:6,7-Dibenzanthracene			
	$\alpha,\alpha'$ -Dibenzanthracene			
	Dinaphthanthracene			
	Benzo[b]chrysene	278.36	294	
	1,2:6,7-Dibenzophenanthrene			
	3,4-Benzotetraphene			
	Naphtho-2',1':1,2-anthracene			
	Picene	278.36	368	519
	Dibenzo[ $\alpha,\beta$ ]phenanthrene			
	3,4-Benzochrysene			
	1,2:7,8-Dibenzophenanthrene			
	Benzo[ghi]perylene	276.34	278	
	1,12-Benzoperylene			
	Anthanthrene	276.34	264	
	Dibenzo[def,mno]chrysene			
	Coronene	300.36	439	525
	Hexabenzobenzene			
	Dibenzo[a,e]pyrene	302.38	233	
	Benzo[a]anthracene	228.30	167	435
	1,2-Benzanthracene			
	Tetraphene			
	2,3-Benzophenanthrene			
	Naphthanthracene			
	Triphenylene	228.30	199	425
	9,10-Benzophenanthrene			
	Isochrysene			

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) สูตรโครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของ PAHs

สูตรโครงสร้าง	ชื่อระบบ IUPAC	น้ำหนักโมเลกุล	จุดหลอมเหลว(°C)	จุดเดือด(°C)
	Chrysene 1,2-Benzophenanthrene Benzo[a]phenanthrene	228.30	256	448
	Benzo[b]fluoranthene 2,3-Benzofluoranthene 3,4-Benzofluoranthene Benz[e]acephenanthrylene	252.32	168	481
	Benzo[j]fluoranthene 7,8-Benzofluoranthene	252.32	165	480
	10,11-Benzofluoranthene Benzo[k]fluoranthene 8,9-Benzofluoranthene 11,12-Benzofluoranthene	252.32	216	480
	Benzo[e]pyrene 4,5-Benzpyrene 1,2-Benzpyrene	252.32	179	493
	Benzo[a]pyrene 1,2-Benzpyrene 3,4-Benzpyrene Benzo[def]chrysene	252.32	178	496
	Perylene peri-Dinaphthalene	252.32	274	
	Indeno[1,2,3-cd]pyrene 3-Phenylene pyrene	276.34	184	
	Dibenz[a,c]anthracene 1,2,3,4-Dibenzanthracene Naphtho-2',3',9,10-phenanthrene	278.36	206	
	Dibenz[a,n]anthracene 1,2,5,6-Dibenzanthracene	278.36	267	
	Acenaphthylene	152.21	93	270

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) สูตร โครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของ PAHs

สูตร โครงสร้าง	ชื่อระบบ IUPAC	น้ำหนักโมเลกุล	จุดหลอมเหลว(°C)	จุดเดือด(°C)
	Acenaphthene Naphthyleneethylene	154.21	96	279
	Fluorene 2,3-Benzindene Diphenylenemethane	166.23	117	295
	Phenanthrene $\alpha$ -Diphenylenethylene	178.34	100	340
	Anthracene	178.34	218	342
	Fluoranthene	202.26	111	375
	1,2-Benzacenaphthene Benzo[jk]fluorene Benz[a]acenaphthylene			
	Pyrene Benzo[def]phenanthrene	202.26	156	404
	Benzo[a]fluorene 11H-Benzo[b]fluorene 1,2-Benzofluorene Chrysofluorene	216.29	190	413
	Benzo[b]fluorene 11H-Benzo[b]fluorene 2,3-Benzofluorene Isonaphthofluorene	216.29	209	402
	Benzo[ghi]fluoranthene	226.28	149	432
	Benzo[c]phenanthrene 3,4-Benzophenanthrene	228.3	66	

ที่มา : คัดแปลงจาก Bjϕresth and Becher, 1986

### 2.3 แหล่งกำเนิด PAHs

PAHs ถูกปล่อยสู่บรรยากาศได้ทั้งจากกระบวนการต่าง ๆ ตามธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ โดยแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติที่พบได้แก่ ภูเขาไฟระเบิดและไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม PAHs ส่วน

ใหญ่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ แหล่งกำเนิดของ PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น

### 1) โรงงานอุตสาหกรรม

PAHs สามารถปนเปื้อนลงแหล่งน้ำได้จากการปล่อยน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมและการบำบัดน้ำเสียจากของเสียอันตรายของโรงงาน (Björfresth และ Becher, 1986) นอกจากนี้กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรมเช่น ถ่านโค้ก หรือน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้เพิ่มระดับความเข้มข้น PAHs ในบรรยากาศ จึงทำให้บริเวณเมืองและแหล่งที่มีอุตสาหกรรม ระดับความเข้มข้น PAHs มากกว่าบริเวณชนบท

### 2) บ้านเรือนและภายในอาคาร

แหล่งกำเนิด PAHs ที่ใหญ่ที่สุดที่ปลดปล่อย PAHs สู่อากาศคือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในบ้าน ทั้งนี้ขึ้นกับประสิทธิภาพการเผาไหม้และระบบการควบคุมการปลดปล่อย (Baek, 1991; Ramdahl, 1992) สำหรับบริเวณในอาคาร การสูบบุหรี่ การทำอาหาร รวมทั้งเครื่องทำความร้อน ทำให้เพิ่มระดับความเข้มข้น PAHs ในอาคารได้ Chakraborti และคณะ (1988) ตรวจวัด PAHs ในเมือง Calcutta ประเทศอินเดีย ซึ่งมีการใช้ไม้และถ่านโค้กเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการทำความร้อนภายในบ้าน พบว่ามี benzo[a]pyrene (BaP) สูงมาก (มากกว่า  $120 \text{ ng/m}^3$ ) นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัด pPAHs ในบ้านที่ใช้เครื่องทำความร้อนโดย Cretney และคณะ (1985) ภายในบ้าน ในเมือง Christchurch ประเทศนิวซีแลนด์ พบว่า benzo[ghi]perylene และ coronene มีความเข้มข้น  $1\text{-}210 \text{ ng/m}^3$  และ Buck (1983) ทำการตรวจวัดในเมือง Essen-Vogelheim ประเทศเยอรมัน พบ PAHs มีความเข้มข้นมากกว่า  $43 \text{ ng/m}^3$

### 3) ยานพาหนะ (จราจร)

รถยนต์และรถบรรทุกเป็นแหล่งกำเนิดหลัก Clayton และคณะ (1992) ในปี ค.ศ. 1991 ทำการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs จากการจราจรบริเวณเมือง London ประเทศอังกฤษ พบว่า ความเข้มข้น PAHs สุทธิ  $43\text{-}640 \text{ ng/m}^3$  โดย 80% ประกอบด้วย phenanthrene fluorene และ fluoranthene:benzo[a]pyrene และประมาณ 1% คือ benz[a]anthracene นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความเข้มข้น PAHs บนถนนบริเวณอุโมงค์พบว่าโดยทั่วไปมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง  $1\text{-}50 \text{ ng/m}^3$  บริเวณอุโมงค์ในประเทศเยอรมันตะวันตก มีความเข้มข้น  $84\text{-}96 \text{ ng/m}^3$  (Buck, 1983)  $76 \text{ ng/m}^3$  (Brasser, 1980) และ  $110 \text{ ng/m}^3$  (Benner และคณะ, 1989) Colmsjo และคณะ, 1986b ตรวจวัดพบว่าความเข้มข้น PAHs บริเวณอุโมงค์เดินรถประจำทางในเมือง Stockholm ประเทศสวีเดน มีระดับมากกว่า  $4 \text{ ng/m}^3$  และบริเวณรถไฟฟ้าใต้ดินมี flouranthene  $21 \text{ ng/m}^3$  pyrene  $11 \text{ ng/m}^3$  และ phenanthrene  $8.1 \text{ ng/m}^3$  บริเวณอุโมงค์ที่ Craeybeckx Highway ประเทศเบลเยียม พบว่ามี PAHs ในอากาศสูงมาก โดยมีปริมาณยานพาหนะโดยเฉลี่ย 45000 คัน ประกอบด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล 60% รถใช้น้ำมันดีเซลและรถบรรทุก 20% (De Fre และคณะ, 1994).

PAHs จากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ สามารถแบ่งออกเป็นสัดส่วนได้ดังนี้ (NRC, 1983)

- 39% จากการเผาไหม้
- 22% จากรถยนต์และรถบรรทุก
- 18% จากเครื่องทำความร้อนภายในบ้านเรือน
- 1% จากโรงงานอุตสาหกรรม

## 2.4 การกระจายตัวของ PAHs ในบรรยากาศ

### 2.4.1 ความเข้มข้น PAHs ในสิ่งแวดล้อม

ระดับความเข้มข้น PAHs ในฤดูหนาวสูงกว่าในฤดูร้อน โดยในฤดูหนาวแหล่งกำเนิดจากการทำความร้อนในบ้านเรือน ส่วนฤดูร้อนแหล่งกำเนิดจากการจราจร ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PAHs ที่พบในอากาศบริเวณเมืองมีค่า 1-30 ng/m<sup>3</sup> ยกตัวอย่างเช่น เมือง Calcutta ซึ่งใช้รถบรรทุกหนักมีระดับความเข้มข้น PAHs มากกว่า 200 ng/m<sup>3</sup> บริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ความเข้มข้น PAHs ที่ตรวจวัดได้มีค่ามากกว่า 20 ng/m<sup>3</sup> และบริเวณใกล้แหล่งอุตสาหกรรม ความเข้มข้น PAHs มีค่าอยู่ในช่วง 1-10 ng/m<sup>3</sup> (IPCS, 1998)

ดังได้กล่าวแล้วว่า PAHs ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง โดยเฉพาะการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ PAHs ปนเปื้อนในบรรยากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ PAHs 6 ชนิด ที่มีอยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 11 µm. ในอากาศบริเวณต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร 3 บริเวณคือ ย่านธุรกิจการค้าและที่อยู่อาศัย ย่านอุตสาหกรรม และริมเส้นทางจราจร พบ benzo[ghi]perylene มีความเข้มข้นสูงสุดบริเวณย่านธุรกิจการค้าและที่อยู่อาศัยและริมเส้นทางจราจร สำหรับย่านอุตสาหกรรมนั้นพบ pyrene มีความเข้มข้นสูงสุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

### 2.4.2 ปฏิกริยาเคมี

ปฏิกริยาเคมีของ PAHs มีบทบาทสำคัญที่ทำให้ PAHs ถูกกำจัดออกจากบรรยากาศ การคงตัวของ PAHs ในบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุล การทำปฏิกริยากับสารมลพิษบางชนิดเช่น O<sub>3</sub>, NO และ SO<sub>2</sub> และคุณสมบัติของอนุภาคที่ดูดซับ PAHs (Björresth และ Becher, 1986)

#### 1) ปฏิกริยากับ oxide ของ N และ S

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการศึกษาปฏิกริยา PAHs กับก๊าซเช่น NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> และ SO<sub>3</sub> ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ Pitts และคณะ (1978) แสดงให้เห็นว่า BaP และ perylene บนแผ่นกรองอาจจะเปลี่ยนเป็น nitro derivatives ของ PAHs โดยการรวมตัวกับ NO<sub>2</sub> และกรดไนตริก

#### 2) การย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation)

การย่อยสลายโดยแสงของ PAHs ในอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเถ้าลอย (fly ash) Black carbon และฝุ่น มีความแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้จะเป็น PAHs สารเดียวกันคือ มีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จนถึงประมาณ 1000 ชั่วโมง Behymer และ Hites (1988) ศึกษาถึงมีปัจจัยที่มีผลต่อ

การย่อยสลายโดยแสงของ PAHs จากการศึกษาพบว่าค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเถ้าลอย ไม่ว่าโครงสร้างโมเลกุลจะประกอบด้วยวงอะโรมาติกกี่วงก็ตาม เช่น องค์กรประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นที่ผิว และสี ซึ่งมีความสำคัญมาก เถ้าลอยยังมีสีเข้มมากเท่าใด ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งมากคือการสลายตัวช้า และเถ้าลอยที่มีสีจาง ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งน้อยคือสลายตัวเร็ว เหตุผลคือ เถ้าลอยที่มีสีเข้มดูดกลืนแสงได้ดี ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้น้อย ดังนั้นการย่อยสลายโดยแสงจึงเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย ค่าครึ่งชีวิตจึงมีค่ามาก ในทางตรงข้าม เถ้าลอยที่มีสีจางดูดกลืนแสงได้มาก ค่าครึ่งชีวิตจึงมีค่าน้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

## 2.5 การได้รับสัมผัส PAHs ของมนุษย์

PAHs ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิง จากนั้น PAHs ถูกดูดซับโดยอนุภาคในอากาศหรือตกลงสู่แหล่งน้ำ (IPCS, 1998)

ประชาชนได้รับสัมผัส PAHs จากบ้านเรือน บริเวณนอกอาคาร และสถานที่ทำงาน แหล่งกำเนิด PAHs ที่มากที่สุดที่ประชาชนได้รับคือ ควันจากบุหรี่ ควันจากการเผาไหม้ไม้ ซึ่งปนเปื้อนมาในอากาศ โดยมีเส้นทางการได้รับสัมผัส ได้แก่

### 1) การหายใจ

การหายใจเป็นเส้นทางการได้รับสัมผัส PAHs มากที่สุด ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับฝุ่น ควัน หรืออนุภาคในอากาศ การสูบบุหรี่ 1 ซองต่อวัน จะได้รับ PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งมากกว่า  $5 \mu\text{g/day}$  (Menzie, 1992) นอกจากนี้ในบริเวณเมืองแหล่งกำเนิด PAHs มาจากการจราจร การเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งในบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้ความเข้มข้น PAHs ในเมืองมีมากกว่าในชนบท โดยความเข้มข้นพื้นฐานของ PAHs ในอากาศในเขตชนบทและบริเวณเมืองมีค่า  $0.02 - 1.2 \text{ ng/m}^3$  และ  $0.15 - 1.93 \text{ ng/m}^3$  ตามลำดับ (U.S.DHHS, 1995)

### 2) การรับประทาน

PAHs สามารถพบในน้ำดื่ม ซึ่งอาจปนเปื้อนจากน้ำท่า (ซึ่งมีการปนเปื้อนของน้ำมัน) ระดับความเข้มข้นในน้ำดื่มอยู่ในช่วง  $4 - 24 \text{ ng/l}$  (U.S.DHHS, 1995)

### 3) ทางผิวหนัง

การรับสัมผัสทางผิวหนังเกิดจากการสัมผัสดินหรือเขม่าควันที่มี PAHs ปนเปื้อน หรือจากน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมบนเครื่องสำอางหรือยา (U.S.DHHS, 1995)

PAHs สามารถเข้าสู่ร่างกายและสะสมอยู่ในชั้นไขมัน เพราะ PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว ละลายน้ำได้น้อย สามารถละลายได้อย่างรวดเร็วและสะสมอยู่ใน lipoprotein membranes ของเซลล์ PAHs สามารถเข้าสู่กระแสเลือดและกระจายอย่างรวดเร็ว โดยส่วนใหญ่สะสมอยู่บริเวณไต ตับ และชั้นไขมัน บางส่วนอาจสะสมอยู่บริเวณม้าม adrenal glands และรังไข่ (U.S.DHHS, 1995)



## 2.6 ความเป็นพิษของ PAHs

### 2.6.1 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)

PAHs หลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง การได้รับควันจากเตาเผาถ่าน การสูบบุหรี่ ทำให้มนุษย์เป็นมะเร็งปอดมากขึ้น การเป็นมะเร็งจากการได้รับสัมผัส PAHs ขึ้นอยู่กับเส้นทางการรับสัมผัสเช่นจากการหายใจหรือทางผิวหนัง (U.S.DHHS, 1995) นอกจากนี้ PAHs สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็งคือ กลุ่มที่ก่อมะเร็งและกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง ในกลุ่ม PAHs ที่ก่อมะเร็ง IARC (1999) ได้จัดแยกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

### 2.6.2 การเป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ด้วย PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมทาโบไลต์โดยเอนไซม์ cytochrome P-450 ทำให้เกิดการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ที่เป็นวงเบนซีนได้เป็นสารอนุพันธ์ epoxide ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวมาก สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ที่ดีกับสารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก จากการศึกษาตำแหน่งบนโครงสร้าง DNA พบว่าเบสและหมู่ฟอสเฟต เป็นตำแหน่งที่สร้างพันธะโควาเลนต์กับสารก่อมะเร็ง (Vo-Dinh, 1989)

เมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุพันธ์ของ PAHs กับ DNA มีผลทำให้บางส่วนของ DNA เสียหายภายในเซลล์จะมีระบบซ่อมแซม DNA โดยตัดส่วนที่เสียหาย และเสริมสร้างส่วนที่ดีเข้ามาแทนให้เหมือนเดิม ถ้าการซ่อมแซมนี้เป็นไปตามปกติเซลล์จะเจริญได้ตามปกติเหมือนเซลล์เดิม แต่ถ้าการซ่อมแซมผิดไปจากเดิมหรือไม่มีการซ่อมแซมเกิดขึ้น DNA นั้นก็ยังคงเสียหายหรือมีลำดับเบสผิดไปจากเดิม เมื่อเซลล์นั้นแบ่งตัวจะได้เซลล์ใหม่ที่มี DNA ต่างไปจากเซลล์เดิมคือ เป็นเซลล์ที่เกิดจากการกลายพันธุ์ขึ้น โดยการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นกับเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมนั้นเกิดขึ้นได้กับทั้งเซลล์สืบพันธุ์และเซลล์ร่างกาย (Vo-Dinh, 1989)

### 2.6.3 การเสริมพิษ/การต่อต้านพิษ (Potentiation/antagonism)

โดยทั่วไป PAHs ที่เกิดจากแหล่งต่าง ๆ อยู่ในรูปของสารผสมมากกว่าในรูปของสารเดี่ยว และอาจมีสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่ PAHs ปะปนอยู่ด้วยเช่น สาร nicotine ที่ปะปนกับ PAHs ในควันบุหรี่ เส้นใยแอสเบสตอลที่ปะปนกับ PAHs ในผงเขม่าจากโรงงาน เป็นต้น การเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่าง PAHs ด้วยกันเอง และระหว่าง PAHs กับสารชนิดอื่น ๆ จึงอาจเกิดขึ้นได้ทั้งก่อนและหลังการได้รับเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจาก PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งและก่อการกลายพันธุ์จะต้องถูกเมทาโบไลซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นเมทาโบไลซ์ที่มีความเป็นพิษและสามารถรวมตัวกับสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สำคัญของเซลล์เช่น DNA, RNA และ โปรตีน ได้ ฉะนั้นการยับยั้งหรือกระตุ้นเอนไซม์ที่มี

ส่วนเกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมของ PAHs ไม่ว่าจะเนื่องจาก PAHs ด้วยกันเองหรือจากสารชนิดอื่นก็ย่อมมีผลในการเสริมหรือต่อต้านความเป็นพิษของ PAHs ได้ (U.S.DHHS, 1995)

ตารางที่ 2.3 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on Cancer (IARC)

กลุ่ม 2A	Probably carcinogen to humans มี 3 สาร
	benz[a]anthracene, benzo[a]pyrene, dibenz[a,h]anthracene
กลุ่ม 2B	Possibly carcinogen to humans มี 11 สาร
	benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, dibenzo[a,e]pyrene, dibenzo[a,h]pyrene, dibenzo[a,i]pyrene, dibenzo[a,l]pyrene, dibenzo[a,j]acridine, dibenzo[a,h]acridine, indeno[1,2,3-cd]pyrene, naphthalene
กลุ่ม 3	Unclassifiable as to carcinogenicity to humans มี 23 สาร
	anthracene, benz[a]acridine, benz[c]acridine, benzo[ghi]fluoranthene, benzo[a]fluorene, benzo[b]fluorene, benzo[c]fluorene, benzo[ghi]perylene, benzo[c]phenanthrene, benzo[e]pyrene, chrysene, coronene, cyclopenta[c,d]pyrene, dibenz[a,c]anthracene, dibenzo[a,j]anthracene, dibenzo[a,e]fluoranthene, dibenzo[h,r,s,t]pentaphene, fluoranthene, fluorene, perylene, phenanthrene, pyrene, triphenylene

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2543

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chuang และคณะ (1991) ศึกษาเกี่ยวกับ PAHs และอนุพันธ์ ในอากาศบริเวณในอาคารและนอกอาคารของบ้านตัวอย่างที่สุ่มเลือกมา 2 กลุ่ม โดยบ้าน 8 หลัง ที่ทำการเลือกมีคุณสมบัติคือ ระบบทำความร้อนแบบใช้ไฟฟ้า/ก๊าซ การทำอาหารแบบใช้ไฟฟ้าหรือก๊าซ และมีหรือไม่มีควันบุหรี่ (Environmental Tobacco Smoke : ETS) จุดเก็บตัวอย่างอากาศในอาคารคือ ห้องครัวและห้องรับแขก ทำการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง ส่วนบริเวณนอกอาคารทำการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า PAHs ที่พบมากบริเวณในอาคารได้แก่ naphthalene ความเข้มข้นของอนุพันธ์ PAHs ในอาคารน้อยกว่านอกอาคาร แต่มีอนุพันธ์ของ PAHs บางชนิดมีค่าความเข้มข้นในอาคารสูงกว่านอกอาคาร ได้แก่ naphthalene dicarboxylic acid anhydride, pyrene dicarboxylic acid anhydride และ 2-nitrofluoranthene บ้านที่ใช้ระบบทำความร้อนแบบใช้ก๊าซมีความเข้มข้น PAHs สูงกว่าบ้านอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่า ETS มีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างภายในบ้านพบว่าห้องรับแขกซึ่งมีเครื่องทำความร้อนมีความเข้มข้น PAHs สูงกว่าห้องครัว

Halsall และคณะ (1994) ศึกษาเกี่ยวกับ PAHs ในอากาศบริเวณเมืองในประเทศไทยอังกฤษ โดยเมืองที่ทำการเก็บตัวอย่างได้แก่ London Manchester Cardiff และบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมเบา ในเมือง Stevenage การเก็บตัวอย่างใช้ high-volume air samples ที่ระดับความสูงประมาณ 25 m. จากการศึกษาพบว่า ในปี 1991 London ซึ่งเป็นเมืองศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุด มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสาร PAHs สูงสุดคือ  $166 \text{ ng/m}^3$  โดย Manchester Stevenage และ Cardiff มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นลดลงตามลำดับ phenanthrene และ flourene เป็นสาร PAHs ที่พบมากในแต่ละเมือง นอกจากนี้ความเข้มข้นสาร PAHs ในแนวระดับจะมีความเหมือนกันในแต่ละเมือง

Chuang และคณะ (1995) ศึกษาวิธีการตรวจวัดและการแพร่กระจาย PAHs บริเวณบ้านและดินบริเวณทางเท้า จุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อตรวจวัดความเข้มข้น PAHs ในแนวระดับภายในบ้านและบริเวณทางเท้า และเพื่อตรวจวัด PAHs ในอนุภาคดิน/ฝุ่น จากทางเท้าเข้าสู่ภายในบ้าน การศึกษานี้เก็บตัวอย่างจากบ้านจำนวน 8 หลัง ในปี 1992 และ 1993 ในช่วงที่มีการใช้เครื่องทำความร้อน ผลการศึกษาพบว่า สาร PAHs 19 ชนิด พบในบริเวณบ้าน ดินบริเวณทางเดินเข้าบ้าน ดินบริเวณบนทางเท้า และดินบริเวณที่อ้างอิงมีช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 16 - 580 ppm (w/w) 58 - 5500 ppm 0.58 - 1220 ppm และ 0.63 - 63 ppm ตามลำดับ

Lee และคณะ (1995) ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของ PAHs ในบรรยากาศที่มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร ประเทศไต้หวันโดยทำการเก็บตัวอย่างบริเวณเมือง 18 ตัวอย่าง และบริเวณชนบท 12 ตัวอย่าง ซึ่งทั้ง 2 บริเวณจะเก็บตัวอย่างจาก PAHs ที่เกิดจากการจราจรแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้น PAHs สุทธิ (ก๊าซและอนุภาค) ในอากาศบริเวณที่มีการจราจรมีค่าเฉลี่ย  $8110 \text{ ng/m}^3$  ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณชนบทประมาณ 8.3 เท่า และบริเวณเมือง 5.3 เท่า และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย ในอากาศบริเวณที่มีการจราจร  $15400 \mu\text{g/m}^3$  ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณชนบทประมาณ 11.6 เท่า และบริเวณเมือง 6.5 เท่า และจากการศึกษายังพบว่า ยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะปล่อยสาร PAHs สูงสุด โดยมีความเข้มข้นรวมเท่ากับ  $7341 \text{ mg/l}$

Miguel และคณะ (1998) ศึกษาการปลดปล่อย PAHs และ Black carbon จากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซลและก๊าซโซลีนบริเวณถนน โดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของมลสารบริเวณอ่าว San Fransico ในอูโมงค์ Caldecott ช่วงฤดูร้อนในปี 1996 โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ เก็บตัวอย่างที่ปล่อยจากรถบรรทุก (heavy-duty diesel truck) และประเภทที่สองคือ เก็บตัวอย่างที่ปล่อยจากยานพาหนะขนาดเล็ก (light-duty vehicles) จากการศึกษาพบว่าสารมลพิษจาก

ยานพาหนะขนาดเล็กและรถบรรทุกมีค่า  $30 \pm 2$  และ  $1440 \pm 160$  มิลลิกรัมเขม่าควัน/กิโลกรัม น้ำมัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ารถบรรทุกที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นแหล่งกำเนิดหลักในการปล่อย PAHs

Chan และ Kwork (2001) ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคในอากาศในแนวระดับความสูงบริเวณเมือง ประเทศฮ่องกง โดย เลือกสถานที่เก็บตัวอย่าง 4 อาคาร ซึ่งตั้งอยู่บนถนนที่มีโครงสร้างและสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังแบ่งโครงสร้างถนนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ถนนที่มีอาคารสูงปิดทึบทั้งสองฝั่ง (street canyon) และถนนเปิดโล่ง (open street) ผลการศึกษา บริเวณถนนที่มีอาคารปิดทึบ ความเข้มข้นจะลดลงตามความสูง ซึ่งเป็นผลจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะกระจายออกไปมากกว่า การแพร่กระจายของอนุภาคบริเวณถนนที่มีอาคารปิดทึบขึ้นอยู่กับทิศทางลมบริเวณนั้น ๆ และโครงสร้างของถนน ส่วนบริเวณถนนเปิดโล่ง ความเข้มข้นในแนวระดับขึ้นอยู่กับ vertical mixing local dilution และปัจจัยภายนอกเช่น ลมทะเล เป็นต้น

Liu และคณะ (2001) ศึกษา PAHs ในอากาศบริเวณในอาคารและนอกอาคารของเมือง Hangzhou ประเทศจีน ทำการเก็บตัวอย่างอากาศจากภายในอาคารและนอกอาคาร (บ้าน) จำนวน 2 หลัง โดยเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง ปี 1999 จากการศึกษา พบว่าในฤดูร้อนผลรวมความเข้มข้น PAHs บริเวณในบ้านมีค่าอยู่ในช่วง  $1.481 - 20.466 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ส่วนในฤดูใบไม้ร่วง ความเข้มข้นอยู่ในช่วง  $3.897 - 29.852 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และบริเวณนอกบ้าน ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้น PAHs บริเวณในบ้านมีค่าอยู่ในช่วง  $1.380 - 20.468 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ส่วนในฤดูใบไม้ร่วง ความเข้มข้นอยู่ในช่วง  $2.721 - 30.678 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยทั่วไปความเข้มข้น PAHs ในอาคารมีค่ามากกว่าภายนอกอาคาร นอกจากนี้ พบว่า ความเข้มข้น PAHs จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และมีการเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างภายในบ้านพบว่าความเข้มข้นในห้องนอน > ห้องครัว > ห้องรับแขก > ระเบียง

Chetwittayachan (2001) ศึกษาความเข้มข้นของ pPAHs และประเมินความเสี่ยงของ pPAHs ในอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยทำการศึกษาในโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น และที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในโตเกียวทำการศึกษาในปี 2000 เดือนสิงหาคมและกันยายน (ฤดูร้อน) และปี 2001 เดือนมกราคม (ฤดูหนาว) ในกรุงเทพมหานครทำการศึกษาในปี 2001 เดือนมีนาคม (ฤดูร้อน) และเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) จุดติดตั้งเครื่องมือของทั้ง 2 เมือง จะติดตั้งบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไป ผลการศึกษา เมื่อนำค่าความเข้มข้นของ pPAHs ในฤดูร้อนของ 2 เมืองเปรียบเทียบกัน พบว่า บริเวณริมถนนความเข้มข้นเฉลี่ยของ pPAHs ในกรุงเทพมหานครสูงกว่าโตเกียว ในทางตรงข้าม บริเวณพื้นที่ทั่วไปความเข้มข้นเฉลี่ยของ pPAHs ในโตเกียวสูงกว่ากรุงเทพมหานคร เล็กน้อย เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ pPAHs ในกรุงเทพมหานคร ทั้ง 2 ฤดู พบว่าที่ความสูงระดับพื้น ความ

เข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ pPAHs ไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับความสูงของอาคาร 4 ชั้น ความเข้มข้นเฉลี่ยของ pPAHs ในฤดูฝนสูงกว่าฤดูร้อน เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของ pPAHs และปัจจัยอื่น ๆ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (multiple linear regression model) พบว่า ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ pPAHs คือ ฝนตกชุกขนาดใหญ่ เป็นแหล่งกำเนิดหลักของ pPAHs ความเร็วลมและอุณหภูมิ