

บทที่ 2

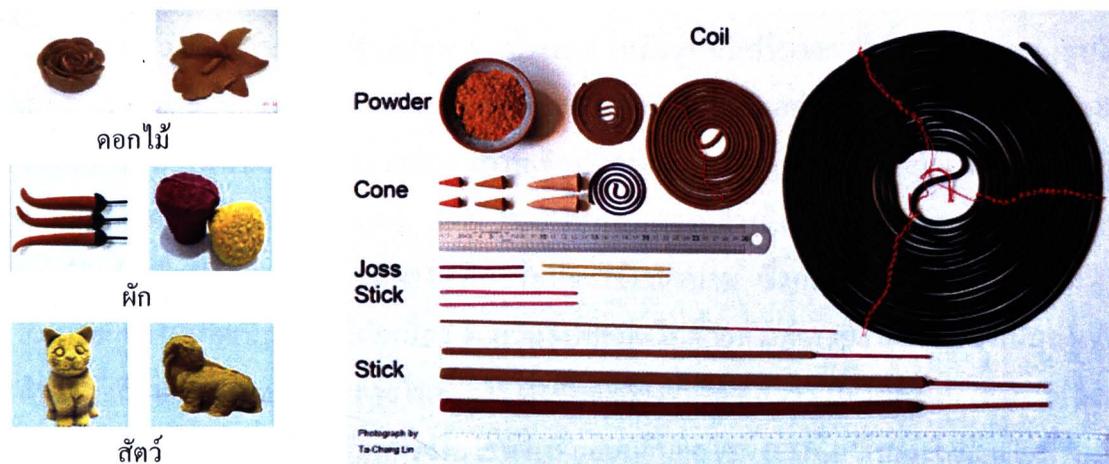
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูป

รูปมีลักษณะเป็นเครื่องหอมที่พอกกลงบนแกนที่ทำด้วยก้านไม้ไผ่เล็ก ๆ ย้อมสีแดง หรือเป็นเครื่องหอมที่บดเป็นผงแล้วทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ รูปถูกนำมาใช้ในการประกอบพิธีกรรมทางศาสนาทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งศาสนาในแถบเอเชีย ชาวฮินดู ชาวพุทธ เต๋า ชินโต และในโบสถ์ของชาวตะวันตกที่นับถือศาสนาคริสต์ จะจุดรูปในวันเทศกาลเฉลิมฉลอง หรือมีขบวนแห่และพิธีบูชาหรือทางศาสนา เช่น การสักการบูชาพระพุทธรูปเจ้าและการกราบไหว้บรรพบุรุษ (Lung, et al. 2003 : 194) รูปถูกนำมาเติมสารหอมระเหยเพื่อใช้เกี่ยวกับสุนทรียศาสตร์ (aesthetic) หรือใช้เกี่ยวกับการบำบัดโรค (therapeutic) อีกทั้งยังช่วยขับไล่ยุงและทำให้สดชื่น (See, et al. 2007 : 25) ในปัจจุบัน การจุดรูปมีทั้งในที่อยู่อาศัย ร้านค้า สถานที่สาธารณะและที่บูชากราบไหว้ต่าง ๆ ในบางวัฒนธรรม มีการจุดรูปทุกวัน เพื่อเป็นการสื่อถึงพิธีการเลื่อมใสในศาสนา (Jetter, et al. 2002 : 52)

อุตสาหกรรมรูปในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ความต้องการใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งความเชื่อถือ ศรัทธาที่มีต่อพิธีกรรมทางศาสนา ประกอบกับรูปเป็นสินค้าประเภทที่ใช้แล้วหมดไปทำให้ความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีอยู่อย่างต่อเนื่อง (อุตสาหกรรมรูป. 2551 : F2-1)

เมื่ออดีตการผลิตรูปมีลักษณะเป็นดอกก้านตรง ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อรูปและมีไม้ก้านรูปเป็นแกน กรรมวิธีการผลิตมีหลายขั้นตอน เช่น การเตรียมไม้ก้านรูป การผสมผงรูป การคลุกไม้ก้านรูปกับผงรูป การแต่งสีรูป การตากรูป การชุบก้านรูป การบรรจุและการหีบห่อ (อุตสาหกรรมรูป. 2551 : F2-6) แต่ปัจจุบันมีรูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่มีลักษณะต่าง ๆ เช่น ผักผลไม้ ดอกไม้ ใบไม้ สัตว์ เป็นต้น รวมทั้งแบบกรวย (cone) ขด (coil) รูปที่ไม่มีไม้เป็นแกน (joss stick) (Lin, et.al. 2008 : 3) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีการแต่งสี แต่งกลิ่น เพื่อให้ถูกใจผู้ใช้อีกด้วย ส่วนกรรมวิธีการผลิตคล้ายกันต่างกันที่ไม่ต้องใช้ไม้ก้านรูปเป็นแกน และ มีการอบ ชุบ หรือสเปรย์สารที่ให้กลิ่นหอมในระหว่างการผลิตรูปอีกด้วย



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของรูปชนิดต่าง ๆ

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตรูปในอดีต มีส่วนประกอบจากเนื้อไม้หอมหลายชนิด ที่บดให้เป็นผงละเอียด นำมาผสมน้ำเพื่อให้เนื้อผงรูปเหนียว พอที่จะพันเป็นรูปได้ เช่น ไม้จันทน์ขาว (Sandalwood) จันทน์เทศ (Nutmeg) กายาน (Gum Benzoin เป็นยางไม้หอมชนิดหนึ่ง) ไม้กฤษณา (Agar wood) กันเกรา (Tembusu) หรือเปลือกไม้บง แต่ปัจจุบัน ผู้ผลิตส่วนใหญ่เปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบอื่น ๆ ทดแทน เช่น จี้เลื้อยที่ร่อนแล้ว ผงขัดเฟอร์นิเจอร์ที่เรียกว่าจันทน์ขาว ผงขัดเฟอร์นิเจอร์ผสมสีที่เรียกว่าจันทน์เหลือง จันทน์เขียว หรือจันทน์ดำ ผงขาว กลิ่นน้ำหอม สี และอื่น ๆ เช่น ดินประสิ้ว ผงถ่าน การบูร สำหรับรูปบางชนิดใช้ส่วนผสมจากพืชต่าง ๆ เช่น ใบไม้ ชงข้าวโพด มะกรูด ตะไคร้ สะเดา ชะลูด อบเชย (Cinnamon) โป๊ยกั๊กหรือจันทน์แปดกลีบ (Star Anise) ดอกไม้แห้งที่กลิ่นหอม

ประเภทวัตถุดิบแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้ ได้ดังนี้

1. ประเภทที่ช่วยให้เกิดการลุกไหม้ เช่น ผงไม้จันทน์ (Sandalwood) ผงกายาน อบเชย ชะลูด ผงจากเครื่องเทศ พืชสมุนไพรหรือดอกไม้แห้ง เป็นต้น
2. ประเภทที่ช่วยในการยึดติด เช่น ผงเปลือกไม้บง ผงขาว
3. ประเภทที่ให้กลิ่นหอม เช่น พืชหรือดอกไม้แห้งที่ให้กลิ่นหอม น้ำมันหอมสกัดจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์
4. ประเภทที่ให้สี เช่น พืชหรือดอกไม้แห้งที่ให้สี สีผสมอาหารหรือสีอุตสาหกรรมที่ผสมลงในส่วนผสมของวัตถุดิบ

วัตถุดิบบางชนิดดังกล่าว สามารถมีคุณสมบัติในการใช้ได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับรูปแบบ กลิ่น สี ของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ขายต้องการให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจ

การส่งผลิตภัณฑ์รูปเพื่อไปขายต่างประเทศ ในปัจจุบันมีปริมาณมากขึ้น คุณภาพของรูปจึงเป็นสิ่งสำคัญ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จึงกำหนดค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษและอันตรายต่อสุขภาพเจือปนอยู่ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรูป : มอก. 2345-2550 เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการส่งออก แต่ในขณะที่มีงานวิจัยว่า เมื่อมีการจุดรูป การเผาไหม้ของรูปจะใช้เวลานาน ซึ่งกระบวนการเผาไหม้นี้จะไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดเป็นควันที่ต่อเนื่อง ในควันรูปปะปนไปด้วยสารต่าง ๆ มากมาย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่เกิดมลพิษทางอากาศภายในอาคาร ทั้งฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) และ 2.5 ไมครอน (PM-2.5) แก๊สเรือนกระจก เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) (Jettat, et al. 2002 : 51 และ Ta-Chang, et al. (2008 : 18) มีเทน ฟอรัมาลดีไฮด์รวมทั้งมีสารก่อมะเร็ง ที่สูงเกินมาตรฐาน เช่น เบนซีนและ บิวทาไดอินที่เป็นสารประเภทสารอินทรีย์ระเหย และสารเบนโซเอไพรีนที่เป็นสารชนิดหนึ่งในสารประเภทสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Navasumrit, et al. 2008 : 19)

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์กำหนดสารเป็นพิษของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรูป

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ตะกั่ว	20
แคดเมียม	10
โครเมียม	20
สารหนู	2
ปรอท	0.5

ที่มา : มอก. 2345-2550

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) หรือที่รู้จักกันดีในชื่อของ Polynuclear aromatic hydrocarbons หรือ polyarenes คือ กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากการต่อกันของวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปในลักษณะที่เป็นเส้นตรง มุม หรือรวมกันเป็นกลุ่ม และมีเฉพาะ C และ H เท่านั้นที่เป็นองค์ประกอบ และมักจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน PAHs มีปรากฏในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ถ่าน

หิน และการเผาไหม้ของป่า รวมทั้งปรากฏอยู่ในควันจากภูเขาไฟ PAHs ยังเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น *กระบวนการปรุงอาหารจากการปิ้งย่าง* PAHs จะเกิดขึ้นระหว่างที่มีการปิ้งย่าง เมื่อไขมันในเนื้อสัตว์หยดลงไปบนถ่าน ไขมันจะเกิดการไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือสลายตัว ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดเป็นควัน ซึ่งสาร PAHs จะขึ้นมากับควันแล้วมาเกาะที่ผิวอาหาร โดยมีปริมาณมากในบริเวณกรอบไหม้เกรียมของอาหารปิ้งย่างนั้น (Kuo, et al. 2006 : 233-241) การเผาไหม้จากเครื่องยนต์ กระจก ยางรถยนต์การปนเปื้อนของสาร PAHs จากควันหรือเขม่าของปล่องโรงงานอุตสาหกรรม ปล่องให้ออกสู่อากาศสามารถปนเปื้อนลงสู่ผิวดิน ทำให้พืชที่ปลูกบริเวณนั้นมีการปนเปื้อนสาร PAHs ไปด้วย นอกจากนี้ยังมีการปนเปื้อนสาร PAHs ลงในแหล่งน้ำด้วย จึงทำให้ระบบห่วงโซ่อาหารมีการปนเปื้อนสาร PAHs และสารกลุ่มนี้บางประเภทสลายตัวยากและสามารถตกค้างหรือสะสมในตะกอนดิน สาร PAHs หลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง สามารถแพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ในอากาศ น้ำ และดิน PAHs มีมากกว่า 100 ชนิด แต่ละตัวมีผลกระทบต่อสุขภาพไม่แน่นอน ขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความสามารถในการละลายน้ำและโครงสร้างโมเลกุล สาร PAHs ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ จะอยู่ในรูปของสารประกอบที่ซับซ้อน แต่ PAHs ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มักจะอยู่ในรูปเดี่ยว ๆ โดยทั่วไปเป็นสารที่ไม่มีสี อาจมีสีขาวหรือของแข็งที่เป็นสีเหลือง อมเขียวจาง ๆ และมีกลิ่น (Henner, et al. 1997 : 1)

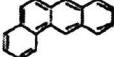
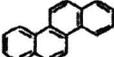
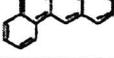
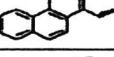
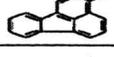
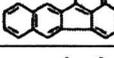
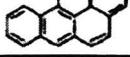
การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity) ของสาร PAHs แบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ กลุ่มที่ก่อมะเร็งและกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง ในกลุ่ม PAHs ที่ก่อมะเร็ง The International Agency for Research on Cancer (IARC, 2010) เป็นหน่วยงานหนึ่งขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้จัดแยกกลุ่ม PAHs โดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 2.2

สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency, EPA) ได้กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิดเป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสำคัญในอันดับต้น ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, Benz[a]anthracene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Benzo[g,h,i]perylene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene ดังแสดงในตารางที่ 2.2

Group 1	สารที่ก่อมะเร็งในคน (carcinogenic to humans) มี 1 สาร		
	benzo[<i>a</i>]pyrene		
Group 2A	สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (probably carcinogenic to humans) มี 3 สาร		
	cyclopenta[<i>cd</i>]pyrene	dibenz[<i>a,h</i>]anthracene	dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene
Group 2B	สารที่อาจก่อมะเร็งในคน (possibly carcinogenic to humans) มี 11 สาร		
	benz[<i>j</i>]aceanthrylene	benz[<i>a</i>]anthracene	benzo[<i>b</i>]fluoranthene
	benzo[<i>j</i>]fluoranthene	Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	benzo[<i>c</i>]phenanthrene
	Chrysene	dibenzo[<i>a,h</i>]pyrene	dibenzo[<i>a,i</i>]pyrene
	indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene	5-methylchrysene	
Group 3	สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน (not classifiable as to carcinogenicity to humans) มี 45 สาร		
	Acenaphthene	acepyrene (3,4-dihydrocyclopenta[<i>cd</i>]pyrene)	
	Anthanthrene	Anthracene	11 <i>H</i> -benz[<i>bc</i>]aceanthrylene
	benz[<i>l</i>]aceanthrylene	benzo[<i>b</i>]chrysene	benzo[<i>g</i>]chrysene
	benzo[<i>a</i>]fluoranthene	benzo[<i>ghi</i>]fluoranthene	benzo[<i>a</i>]fluorene,
	benzo[<i>b</i>]fluorene	benzo[<i>c</i>]fluorine	benzo[<i>ghi</i>]perylene
	benzo[<i>e</i>]pyrene	5,6-cyclopenteno-1,2-benzanthracene	
	Coronene	4 <i>H</i> -cyclopenta[<i>def</i>]chrysene	
	dibenz[<i>a,c</i>]anthracene	dibenz[<i>a,j</i>]anthracene	dibenzo[<i>a,e</i>]fluoranthene
	13 <i>H</i> -dibenzo[<i>a,g</i>]fluorene	dibenzo[<i>h,rs</i>]pentaphene	dibenzo[<i>a,e</i>]pyrene
	dibenzo[<i>e,l</i>]pyrene	1,2-dihydroaceanthrylene	1,4-dimethylphenanthrene
	Fluoranthene	fluorene	1-methylchrysene
	2-methylchrysene	3-methylchrysene	4-methylchrysene
	6-methylchrysene	2-methylfluoranthene	3-methylfluoranthene
	1-methylphenanthrene	naphtho[1,2- <i>b</i>]fluoranthene	Phenanthrene
	naphtho[2,1- <i>a</i>]fluoranthene	naphtho[2,3- <i>e</i>]pyrene	Picene
	pyrene	Perylene	Triphenylene

ภาพที่ 2.2 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on Cancer (IARC)

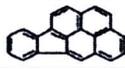
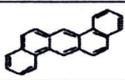
ตารางที่ 2.2 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) 16 ชนิด

No.	PAHs	Abbre.	Formula	Structure	M.W.	*Carcinogenic Ranking
1	Naphthalene	Nap	C ₁₀ H ₈		128.2	(-)
2	Acenaphthylene	Acy	C ₁₂ H ₈		152.2	(-)
3	Acenaphthene	Ace	C ₁₂ H ₁₀		154.2	(-)
4	Fluorene	Flu	C ₁₃ H ₁₀		166.2	(-)
5	Phenanthrene	Phen	C ₁₄ H ₁₀		178.2	(-)
6	Anthracene	Anth	C ₁₄ H ₁₀		178.2	(-)
7	Fluoranthene	Flt	C ₁₆ H ₁₀		202.3	(-)
8	Pyrene	Pyr	C ₁₆ H ₁₀		202.3	(-)
9	Benz[a]anthracene	BaA	C ₁₈ H ₁₂		228.3	(+)
10	Chrysene	Chr	C ₁₈ H ₁₂		228.3	(±)
5	Phenanthrene	Phen	C ₁₄ H ₁₀		178.2	(-)
6	Anthracene	Anth	C ₁₄ H ₁₀		178.2	(-)
7	Fluoranthene	Flt	C ₁₆ H ₁₀		202.3	(-)
8	Pyrene	Pyr	C ₁₆ H ₁₀		202.3	(-)
9	Benz[a]anthracene	BaA	C ₁₈ H ₁₂		228.3	(+)
10	Chrysene	Chr	C ₁₈ H ₁₂		228.3	(±)
11	Benzo[b]fluoranthene	BbF	C ₂₀ H ₁₂		252.3	(++/+++)
12	Benzo[k]fluoranthene	BkF	C ₂₀ H ₁₂		252.3	(+)
13	Benzo[a]pyrene	BaP	C ₂₀ H ₁₂		252.3	(++++)



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
 ห้องสมุดงานวิจัย
 วันที่..... 5 ก.ค. 2555
 เลขทะเบียน..... 247287
 เลขเรียกหนังสือ.....

ตารางที่ 2,2 (ต่อ)

No.	PAHs	Abbrev.	Formula	Structure	M.W.	*Carcinogenic Ranking
14	Benzo[<i>g,h,i</i>]perylene	BghiP	C ₂₂ H ₁₂		276.3	(±)
15	Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene	Ind	C ₂₂ H ₁₂		276.3	(++)
16	Didenz[<i>a,h</i>]anthracene	DBahA	C ₁₂ H ₁₄		278.4	(+++ / ++++)

*Carcinogenic rankings

- (-) No evidence for animal carcinogenic
- (±) Uncertain or weakly carcinogenic
- (+) Weakly carcinogenic
- (++) Moderately carcinogenic
- (+++)
- (++++)

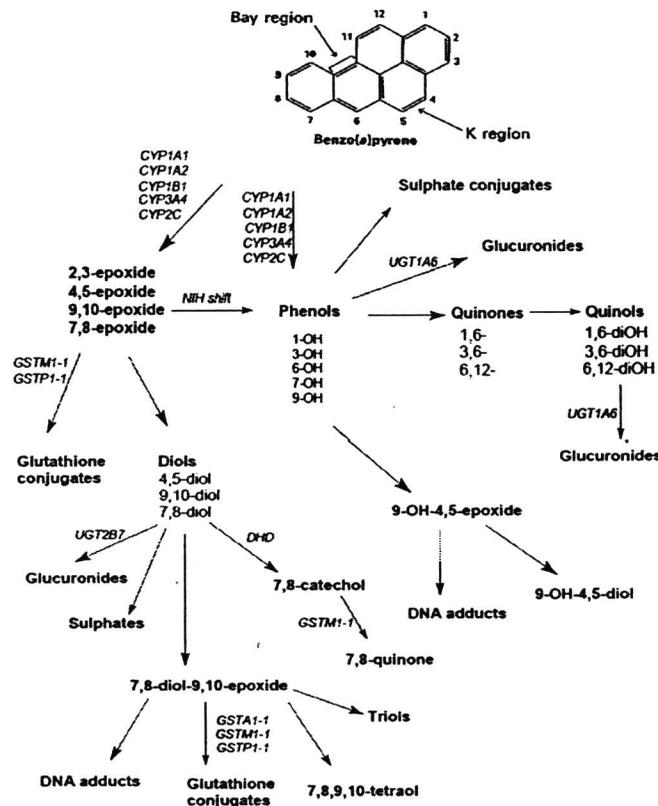
1. ความเป็นพิษ

โดยทั่วไป PAHs เป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงจะพบความเป็นพิษเรื้อรัง การได้รับแบบเรื้อรังอาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกายได้ แต่อาการไม่รุนแรงนัก ความเป็นพิษที่สำคัญของ PAHs คือความสามารถในการก่อมะเร็งในอวัยวะหลายชนิด แต่ไม่มีผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนและพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต

การแพร่กระจายของ PAHs ในร่างกายของสัตว์ทดลอง พบว่าเมื่อได้รับโดยการสูดดมและการกินจะแพร่ไปยัง ปอด ตับ ไต และทางเดินอาหาร หนูที่ได้รับ BaP โดยการหยอดเข้าหลอดคอ พบว่า BaP จะกระจายไปยังปอด ตับ ทางเดินอาหารและซาก โดยเมตาบอลิต์ในลำไส้จะมากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้นแสดงว่ามีการขับออกทางน้ำดีและมีการหมุนเวียนระหว่างลำไส้และตับ และสามารถแพร่ไปยังลูกอ่อนในครรภ์ได้ อาจทำให้หนูที่กำลังตั้งครรภ์แท้งได้หรือตัวอ่อนที่คลอดออกมาพิการ เป็นต้น แต่ไม่มีรายงานเกี่ยวกับการแพร่กระจายหลังการสัมผัสทางผิวหนัง

สารกลุ่ม PAHs บางตัวเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น BaA BaP สารในกลุ่มนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาบอลิท์โดยเอนไซม์ในกลุ่มไซโตโครม พี 450 (Cytochrome P450, CYP) ที่มีการทำงานแบบออกซิเดส เปลี่ยนรูป PAHs ให้เป็นอนุพันธ์อีพอกไซด์ (epoxide) ที่เข้าไปยึดเกาะกับดีเอ็นเอได้

เมตาบอไลต์ที่ได้มีความต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของ PAHs เมตาบอไลต์ของสาร BaP บางชนิดเป็นพิษและเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น benzo[a]pyren-7,8-dihydrodiol-9,10-epoxide (European Communities. 2002) หรือ 7β,8α-dihydroxy-9α,10α-7,8,9,10-tetrahydrobenzo[a]pyrene (BPDE) (Lodovici, et al. 2004 : 1342) ดังภาพที่ 2.3 สาร 9-hydroxybenzo[a]pyrene มีการออกซิเดชันแล้วเกิดอีพอกไซด์ที่ส่วนที่เรียกว่า K-region (K-region 4,5-oxide) และกลายเป็น DNA-adduct กับ 9-hydroxy-4,5-dihydrodiol เมื่อมีการรวมตัวกับน้ำ สาร BPDE มีอีพอกไซด์อยู่ในส่วนที่เรียกว่า Bay region เมตาบอไลต์ที่เป็นสารก่อมะเร็ง เช่น อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งนี้ สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์บอนเนียมไอออน (carbonium ion) มีประจุเป็นบวกและมีความไวสูงในการเข้าจับกับสารชีวโมเลกุลที่มีประจุเป็นลบได้ เมตาบอไลต์ดังกล่าวจะเข้าไปจับกับดีเอ็นเอที่ตำแหน่งต่าง ๆ อย่างแข็งแรง การเข้าจับกับดีเอ็นเอดังกล่าว เมื่อดีเอ็นเอเกิดการจำลองตัวเอง การเติมเบสมาเข้าคู่กับสารที่ถูกจับจะผิดไป ทำให้เกิดมิวเตชันที่ลำดับเบส อย่างไรก็ตาม โอกาสของการเกิดมิวเตชันขึ้นกับความสามารถของเซลล์ในการซ่อมแซมดีเอ็นเอที่ผิดปกติและระยะเวลาที่ได้รับสารก่อนการจำลองตัวเอง ถ้าเซลล์ซ่อมแซมได้ทัน การเกิดมิวเตชันจะลดลง เช่นการได้รับ BPDE ในระยะ S จะเกิดมิวเตชันมากกว่าระยะ G1



ภาพที่ 2.3 กระบวนการเมตาบอลิซึมของเบนโซเอไพรีนในร่างกาย

2. การรับสารของมนุษย์

โดยอาศัยหลักการของการประเมินความเสี่ยง (risk assessment) U.S. EPA (1999), อ้างถึงในกรมควบคุมมลพิษ (2547:32-33) รายงานค่า reference dose โดยการกิน (RfDo) และโดยการหายใจ (RfDi) ของสาร PAHs จำนวน 6 สาร ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และรายงานค่าความชันของการเกิดมะเร็ง (carcinogenic potency slope) โดยการกิน (CPSo) และโดยการหายใจ (CPSi) ของสาร PAHs จำนวน 7 สาร ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ค่า reference dose โดยการกิน (RfDo) และโดยการหายใจ (RfDi) ของสาร PAHs

PAHs	RfDo ^a	RfDi
Acenaphthene	6.00×10^{-2}	-
Anthracene	3.00×10^{-2}	-
Fluoranthene	4.00×10^{-2}	-
Fluorene	4.00×10^{-2}	-
Naphthalene	2.00×10^{-2}	9.00×10^{-4}
Pyrene	3.00×10^{-2}	-

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. 2547: 32

^a หน่วยของ RfDo และ RfDi คือ มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน

ตารางที่ 2.4 ค่าความชันของการเกิดมะเร็ง (Carcinogenic potency slope) โดยการกิน (CPSo) และโดยการหายใจ (CPSi) ของสาร PAHs

PAHs	CPSo ^a	CPSi
Benzo[a]anthracene	7.30×10^{-1}	-
Benzo[b]fluoranthene	7.30×10^{-1}	-
Benzo[k]fluoranthene	7.30×10^{-2}	-
Benzo[a]pyrene	7.30	3.1
Chrysene	7.30×10^{-3}	-
Didenzo[a,h]anthracene	7.30	-
Indeno[1,2,3-cd] pyrene	7.30×10^{-1}	-

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. 2547: 33

^a หน่วยของ CPSo และ CPSi คือ มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน

3. การเข้าสู่ร่างกาย

สารกลุ่ม PAHs มีความเป็นพิษสูง เข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี เช่น จากการบริโภคน้ำและอาหารที่ปนเปื้อนทางการหายใจ เช่น ควันท่อไอเสียรถยนต์ การสูบบุหรี่ การปรุงอาหาร การจูดรูปบูชาทั้งในที่อยู่อาศัย (Li, & Ro. 2000 : 611) และวัดหรือโบสถ์ และพบสาร PAHs ปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเทศกาล เช่น ตรุษจีน วันกำเนิดของสิ่งที่เคารพบูชา (Lin et al. 2007 : 4) พบสาร PAHs รวม ปริมาณเฉลี่ย 6,258 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 231 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ภายในและภายนอกวัดแห่งหนึ่งของไต้หวัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นว่าสาร PAHs ภายในวัดมีปริมาณสูงกว่าภายนอกวัดเป็น 27 เท่า ผลรวมสาร PAHs ที่พบในฝุ่นละอองและอากาศที่มีปริมาณสูงเป็น 5 อันดับแรก คือ Acenaphthylene (3,583 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) Naphthalene (1,264 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) Acenaphthene (349 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) Fluoranthene (243 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) Phenanthrene (181 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

สาร Benzo[a]pyrene หรือ BaP เป็นสารในกลุ่ม PAHs ที่มีความเป็นพิษสูงสุด มนุษย์ได้รับ BaP ทางการหายใจ การสูบบุหรี่ การบริโภคน้ำและอาหารที่ปนเปื้อน (Henner, et al. 1997 : 2) การปนเปื้อน BaP ในอาหารเกิดจากการสะสมของอนุภาค BaP ที่มาจากการปิ้ง ย่าง หรือทำแห้งด้วยไฟหรือควันไฟโดยตรง จากการซึมซับในระหว่างกระบวนการรมควันอาหารในกรณีที่ไม่ได้รมควันโดยตรง (Indirect smoking) จากการปรุงอาหารที่ใช้อุณหภูมิสูง และจากการเติมสารปรุงแต่งกลิ่นควัน (smoke flavoring) การให้ความร้อนในอาหารด้วยวิธีการ อบ รมควัน ปิ้ง และย่าง จะทำให้เกิด BaP และปนเปื้อนลงสู่อาหาร โดยเฉพาะการให้ความร้อนที่ทำให้อาหารสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง นอกจากนี้ยังเกิดจากควันที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำมันจากอาหารที่หยดลงบนแหล่งให้ความร้อน ดังนั้น อาหารที่มีไขมันมากจะมีหยดน้ำมันเกิดขึ้นมาก ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนทำให้ปริมาณ BaP สะสมในอาหารมากขึ้นด้วย

4. ความเสี่ยง

อาชีพที่มีความเสี่ยงที่ต้องสัมผัสกับ PAHs ได้แก่ กระบวนการผลิตโครเมียม การถลุงแร่ที่มีนิกเกิล อุตสาหกรรมอะลูมิเนียม การหลอมเหล็ก การผลิตถ่านหิน งานพิมพ์ที่สัมผัสกับหมึกพิมพ์ งานที่ต้องสัมผัสเขม่าไขมัน เช่น ช่างซ่อมถนน ช่างอุดรถ วัสดุในโรงงานที่มีไอระเหยของ PAHs ได้แก่ น้ำมันดิบจากถ่านหินหรือยางมะตอย น้ำมันแร่ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เขม่าจากการเผาไหม้ ควันไอเสีย อาชีพที่มีความเสี่ยงต่อมะเร็งปอดอย่างชัดเจน ได้แก่ อาชีพผลิตถ่านหินและแก๊สถ่านหินซึ่งมีผลพลอยได้ คือ ยางมะตอยใช้ทำถนน (นฤมล ศีลารักษ์ และ สมชัย บวรกิตติ. 2542 : 526-535)

การทบทวนวรรณกรรม

Hathairatana, et al. (2545 : ค57-ค73) ศึกษาการกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครในรูปแบบที่เป็นแก๊สและฝุ่นละออง ทำได้โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างที่ประกอบด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบแยกขนาด แบบ Cascade impactor (Anderen "low volume" sampler) ที่สามารถแยกขนาดของฝุ่นละอองได้ 8 ชั้น ต่อเข้ากับหลอดเก็บแก๊สที่บรรจุด้วย XAD-2 (XAD-2 adsorbent tube) เก็บตัวอย่าง PAHs ทั้งในรูปแบบของฝุ่นแยกขนาดและในรูปแบบของแก๊สได้อย่างต่อเนื่อง เป็นเวลาครั้งละ 24 ชั่วโมง สารประกอบ PAHs ที่ทำการวิเคราะห์มีจำนวน 9 ชนิด ทั้งที่เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) และสารร่วมก่อมะเร็ง (co-carcinogen) ได้แก่ Pyrene (Pyr), Benz[*a*]anthracene (BaA), Benzo[*e*]pyrene (BeP), Dibenz[*a,c*]anthracene (DBaA), Benzo[*k*]fluoranthene (BkF), Benzo[*a*]pyrene (BaP), Dibenz[*a,h*]anthracene (DBaH), Benzo[*ghi*]perylene (BghiP) และ Tri-methyl cholanthrene (3MC) ซึ่งตัวอย่างฝุ่นและแก๊สถูกสกัดด้วยวิธี ultrasonication กับตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) และ ไดคลอโรมีเทนต่ออะซิโตรไนไตรล์ (dichloromethane : acetronitrile) ในอัตราส่วน 1:1 ตามลำดับ และสารที่สกัดได้จะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) ที่ต่อกับตัวตรวจวัด (Detector) ชนิดฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) ผลการศึกษาพบว่า สารประกอบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น Pyr, BeP และ BaA จะอยู่ในรูปของแก๊สเป็นส่วนใหญ่ คือ 80 % 40 % และ 24 % ตามลำดับ ในขณะที่สารประกอบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะอยู่ในรูปของฝุ่นละอองเกือบทั้งหมด 30% ถึง 60 % โดยน้ำหนักของสารประกอบ PAHs ที่ศึกษา พบอยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.43 ไมครอน และกว่า 70 % พบอยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.1 ไมครอน นอกจากนี้ การศึกษายังได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของสัดส่วนการกระจายตัวในรูปแบบของฝุ่นละอองและในรูปแบบของแก๊ส (K_p) กับค่าความดันไอ (P^0) ของสารประกอบ PAHs แต่ละตัวในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อเป็นตัวแทนของการเกิดการกระจายตัวของสารดังกล่าวในรูปแบบของฝุ่นและแก๊สในบรรยากาศเขตเมืองร้อนและในการ ศึกษา พบว่าเทคนิคในการเก็บตัวอย่างครั้งนี้เหมาะสมในการสำรวจสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 202 ขึ้นไปในบรรยากาศเขตร้อนเนื่องจากไม่มีสาร PAHs ใด ๆ ใน 9 ชนิดนี้ปรากฏในชั้นที่ 2 ของตัวดูดซับแก๊ส (XAD-2) ที่บรรจุในหลอดเก็บแก๊ส ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในบรรยากาศจะสูงถึง 35 องศาเซลเซียส

วนิดา จินศาสตร์, และปจรรย์ ทองสนธิ (2544 : 23) ในการทำวิจัยตรวจสอบหาสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้และมีองค์ประกอบที่เป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศทั่วไป บริเวณเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้เครื่อง High

Volume เก็บตัวอย่างฝุ่นใน 24 ชั่วโมง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2542 ถึง เมษายน 2543 เก็บตัวอย่างทั้งหมด 190 ตัวอย่าง จาก 6 จุดสถานี ได้แก่ โรงเรียนสิงหราช (ธนบุรี) มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (รังสิต) สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (พระราม 6) ดินแดง โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ และ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับสถานีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้เก็บตัวอย่างทั้งฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และแยกคัดขนาดต่าง ๆ ด้วย ผลการศึกษาระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2542 ถึง เมษายน 2543 ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มีค่าระหว่าง 20 ถึง 149 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สถานีดินแดงในเดือนมกราคม 2543 ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) มีค่าระหว่าง 86 ถึง 149 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หลังจากหาปริมาณฝุ่นโดยวิธีชั่งน้ำหนักแล้วนำตัวอย่างไปสกัดและวิเคราะห์หาสาร PAHs ด้วยเครื่อง HPLC ชนิดตัวตรวจวัดทั้ง UV-VIS และ Fluorescence วิเคราะห์สารประกอบ PAHs 20 ชนิด ได้แก่ Naphthalene (Nap), Acenaphthene (Ace), Acenaphthylene (Acy), Fluorene (Flu), Phenanthrene (Phen), Anthracene (Anth), Fluoranthene (Flt), Pyrene (Pyr), Benz[a]anthracene (BaA), Chrysene (Chr), Benzo[e]pyrene (BeP), Benzo[b]fluoranthene (BbF), Perylene (Per), Benzo[k]fluoranthene (BkF), Benzo[a]pyrene (BaP), Dibenz[a,h]anthracene (DBahA), Benzo[ghi]perylene (BghiP), Indeno[1,2,3-cd]pyrene (Ind), Anthanthrene (Ant) and Coronene (Cor) จากผลการศึกษาปริมาณ PAHs ดังกล่าวพบว่า มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 53.93 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่า ร้อยละ 97 ของ PAHs ในฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.95 ไมครอน และพบ BghiP และ BeP เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรถยนต์

Wu, et al. (2009 : 120-138) ทำการตรวจวัด Particulate *n-alkanes* และ PAHs จากอากาศภายในวัดในช่วงเวลาที่มีการสักการบูชาด้วยรูปชนิดมีก้านเป็นไม้ไผ่และเคลือบสี รวมทั้งมีการเผากระดาษเงินกระดาษทองด้วยเปรียบเทียบกับอากาศภายนอกวัดที่สถานีรถประจำทาง กับบริเวณมหาวิทยาลัยในเมือง Xiamen ประเทศจีน โดยการเก็บตัวอย่าง Total suspended particles (TSP) ด้วย annealed glass fiber filters (Waterman GF/F, เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ออบที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง) โดยใช้ TSP sampler ปริมาตรขนาดกลาง ดำเนินการวัดที่อัตราการไหลของอากาศ 100 ลิตรต่อนาที หลังจากการสุ่มเก็บตัวอย่าง ตัวกรองจะถูกพับครึ่งและเก็บไว้ในซองอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำกลับไปห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์โดยเร็วที่สุด จากนั้นตัวกรองจะถูกปรับสภาพที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % นาน 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะทำการชั่งตัวกรองหาปริมาณอนุภาค ด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิกรัม หลังจากชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างจะถูกปิดผนึกและเก็บไว้ในตู้เย็นที่ 20 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บไว้วิเคราะห์ *n-alkanes* และ PAHs ซึ่งการวิเคราะห์สารทั้งสอง ต้องเตรียมตัวอย่างด้วยการสกัดแบบ soxhlet กับตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน นาน

24 ชั่วโมง แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ และทำให้บริสุทธิ์ขึ้นในคอลัมน์ซิลิกาเจล จากนั้นนำสารที่ได้ไปวิเคราะห์ในเครื่อง GC-MS ผลการศึกษา พบว่ามีปริมาณ Particulate *n-alkanes* สูงมากที่ถูกปล่อยมาจากการจุดธูปภายในวัด เมื่อเทียบกับอากาศที่สถานีรถประจำทาง และบริเวณมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ อากาศภายในวัด มีสาร BaP ปริมาณ 7.1- 26.3 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สูงกว่าสถานีรถประจำทาง และสูงเกินเกณฑ์ที่ยอมให้มีภายในอาคาร (Indoor air) ที่กำหนดโดย Environmental Protection Administration ของจีน คือ 1 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงว่า การเผาไหม้ธูปสร้างมลพิษสารก่อมะเร็งได้มากกว่าการปล่อยควันแก๊สจากยานพาหนะ

Lin, et al (2002 : 1-12) ได้ศึกษาชนิดของสาร PAHs 21 ชนิด และ ฝุ่นรวม (Total suspended particles, TSP) ที่อยู่ในบรรยากาศบริเวณภายใน (indoor) และภายนอก (outdoor) ของวัดในไต้หวัน โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วย two high volume semivolatle sampler (PS-1) พร้อมกับปั๊มที่ใช้ดูดอากาศเข้าสู่ glass fiber filter เพื่อที่จะเก็บอนุภาคของ PAHs และ TSP ซึ่งตัวกรองนี้จะประกบอยู่กับ glass cartridge ที่ถูกต่อเข้ากับ XAD-2 resin เพื่อที่จะเก็บไอสาร PAHs สำหรับ glass fiber filter นี้มีการซั่งทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณอนุภาค หลังจากนั้น filter และ glass cartridge ได้ถูกแยกออกจากกัน เพื่อนำไปสกัดสาร PAHs ด้วยวิธี soxhlet กับตัวทำละลายผสม ไดคลอโรมีเทน:เฮกเซน (dichloromethane : n-hexane) ในอัตราส่วน 50:50 %(v/v) นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นภายใต้แก๊สไนโตรเจน จากนั้นทำให้บริสุทธิ์ขึ้น ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า สาร PAHs รวม 21 ชนิด จากตัวอย่างอากาศ ที่จับกับฝุ่นละออง (particle-bound PAH) และ TSP บริเวณภายในวัดมีปริมาณ 6528 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 490 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 1316 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งพบสูงกว่าตัวอย่างอากาศบริเวณนอกวัดที่มีปริมาณ 231 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 245 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 73 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณสาร PAHs รวมในฝุ่นและอากาศ (particle + gas phase) ที่มีปริมาณสูงที่สุด 5 อันดับ คือ Acy 3583 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร Nap 1264 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร Ace 349 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร Flu 243 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ Phe 181 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ Lin ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบสาร PAHs ในธูปที่ยังไม่มีการเผาไหม้กับขี้ธูปหรือเถ้า (ash) ของธูป 3 ชนิด ที่มีการใช้ภายในวัด คือ ธูปไม้กฤษณา (aloe wood incense) ธูปไต้หวันสีเหลืองและสีดำ ซึ่งพบว่าสาร PAHs รวม 21 ชนิด จากตัวอย่างธูปใน 744.5, 2523.0 และ 6189.3 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบสาร PAHs รวม 21 ชนิด ในเถ้า ปริมาณ 3482.3 นาโนกรัมต่อกรัม ซึ่งลักษณะธูปไต้หวันสีดำนั้นมีลักษณะสีดำของถ่าน (carbon black) ทำให้มีผลให้พบสาร PAHs มากกว่าชนิดอื่น อีกทั้งธูปทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างของส่วนประกอบของธูป เช่น ชนิดและขนาดก้านไม้ไผ่ ผงธูป ผงกาวหรือเรซิน (resin) ที่ใช้ในการผลิตธูปอีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสาร PAHs จากตัวอย่างรูปที่ยังไม่ได้ทำการเผาไหม้และเถ้าของรูปที่มีการเผาไหม้แล้ว พบว่ามีปริมาณต่ำกว่าสาร PAHs ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นที่บริเวณภายในวัด นอกวัด เขตชนบทและพื้นที่จราจรอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่ารูปที่ยังไม่ได้ถูกเผาไหม้ สามารถพบสาร PAHs ได้ และเมื่อรูปถูกเผาไหม้ จะพบสาร PAHs ได้ทั้งในสถานะแก๊สและฝุ่นอีกด้วย

Lin, et al. (2007 : 165-172) ได้ศึกษาปริมาณโลหะ (metallic contents) ในควันและเถ้าของรูปจำนวน 9 ชนิด โดยการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) และหาปริมาณธาตุแคลเซียม โพแทสเซียม อลูมิเนียม แมกนีเซียม เหล็ก โซเดียม แบเรียม สตรอนเทียม แมงกานีส ทองแดงและสังกะสีด้วยเครื่อง Inductive coupled plasma atomic emission spectrometer (ICP-AES) พบว่ารูปส่วนใหญ่มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าธาตุอื่น ซึ่งอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เนื่องจากผู้ผลิตได้ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อลดต้นทุนการผลิต Lin จึงเสนอแนะให้เลือกซื้อรูปที่ทำลายสุขภาพน้อย โดยพิจารณาจากรูปที่มีเถ้ามาก ๆ เพราะจะมีฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศน้อย เนื่องจากรูปที่มีปริมาณโลหะมากจะช่วยให้การลุกไหม้สูงและลดปริมาณฝุ่นในช่วงการเผาไหม้ได้ ซึ่งในแคลเซียมคาร์บอเนตมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้แคลเซียมคาร์บอเนตจะช่วยเจือจางและลดปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon content) ในส่วนประกอบของเนื้อรูป

Lin, et al. (2008 : 223-229) ได้ศึกษาชนิด PAHs ที่มีการแพร่กระจายในอากาศขณะที่มีการเผากระดาษเงินกระดาษทอง ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับในระหว่างที่มีเทศกาลพิธีสักการบูชา ตัวอย่างอากาศจะถูกเก็บไว้ในชุดสุ่มเก็บตัวอย่าง Anderson-Graseby Auto 5 ตัวอย่างที่ล่องลอยอยู่ในอากาศถูกสะสมด้วยชุดสุ่มเก็บตัวอย่าง 2 ชุด ที่ต่อเข้ากับปั๊ม เพื่อให้ particulate ถูกเก็บไว้ใน Quartz filter (2500 QAT-UP ขนาด 47 มิลลิเมตร) ส่วน glass cartridge จะบรรจุด้วย XAD-4 resin เพื่อดักจับสาร PAH ในสถานะไอ Quartz filter นี้จะต้องมีการซัฟฟ่อนและหลังการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณอนุภาค หลังจากนั้น filter และ glass cartridge จะถูกแยกเพื่อนำไปสกัดสาร PAHs ด้วยวิธี soxhlet กับสาร dichloromethane นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ และทำให้บริสุทธิ์ขึ้น จากนั้นนำสารที่ได้ไปวิเคราะห์ในเครื่อง GC เทียบกับสารมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด และทดสอบประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (% recovery) ของสาร PAHs ใน Coal Tar ที่เป็นวัสดุอ้างอิงมาตรฐาน NIST SRM-1597 ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับมีค่าระหว่าง 77 – 108

Tran, & Marriott. (2007 : 5756-5768) ศึกษาการสกัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้จากรูปที่ได้มีการขี้ให้แตกเป็นผงที่ทำให้ร้อนด้วยเทคนิค Headspace กับชนิดสารที่ได้จากการเผาไหม้รูป 4 แบบ แตกต่างที่ขนาด สี และกลิ่น โดยใช้ SPME ที่เส้นใยถูกเคลือบด้วย polydimethylsiloxane/divinylbenzene (PDMS/DVB) 65 ไมครอน เป็นตัวจับสารก่อนนำไปวิเคราะห์สารด้วย GC-FID,

GC x GC-FID และ GC-qMS พบว่าเทคนิค GC x GC-FID สามารถใช้เป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ รูปแบบของผงรูปและควันรูปทั้ง 4 ชนิด พบสารประกอบมากกว่า 100 และ 200 ชนิดในผงรูปและ ควันรูปโดยใช้ GC-qMS จากการเปรียบเทียบใน NIST Library ในควันรูปจะประกอบด้วยสารที่มี ในผงรูปและที่ได้จากการเผาไหม้ เช่น PAHs, N-herterocyclics และ Furans ทั้งนี้เทคนิค GC x GC สามารถแยกสารระเหยได้มากกว่า 1D-GC

Yang, et al. (2007 : 609-614) ได้ศึกษาธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนใน รูปชนิดที่มีไม้ไผ่เป็นแกนกลาง สำหรับให้ผงวัตถุคิบต่าง ๆ นำมาพอกนั้น ที่สภาวะของกระบวนการ เผาไหม้ที่เหมือนกัน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon content) กับ สาร PAHs ที่เกาะกับฝุ่น (S-PAHs) พบว่า รูปที่มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon content) มากจะมี สาร S-PAHs มากเช่นกัน ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon content) น้อยจะมีสาร S-PAHs น้อย เช่นกัน ดังนั้นจึงเสนอแนะว่า ในการผลิตรูปควรเลือกวัตถุดิบ ที่ให้ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดน้อย เพื่อ ลดการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่น ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพลดลง (Yang et al. 2007 : 613-614)

Roveri, et al. (1998 : 393) ศึกษาการวิเคราะห์สารก่อให้เกิดภูมิแพ้ nitromusks ในรูปจาก ประเทศอินเดีย จีน และทิเบต ด้วย GC-MS พบสาร musk ambrette, musk ketone และ musk xylene ในรูปจีน แต่ไม่สาร nitromusks ในรูปอินเดียและทิเบต