

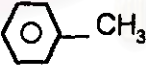
## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. โทลูอิน (toluene)

โทลูอิน เป็นตัวทำละลายประเภท Aromatic Hydrocarbon ที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีคุณสมบัติเป็นสารไวไฟที่เสี่ยงต่อการติดไฟ และระเบิด (WHO,1985 ;CEPA,1992) โดยอยู่ใน hazard class : 3.2 ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน มีกลิ่นหอมจุนเล็กน้อยคล้ายกลิ่นของเบนซีน แต่ความเป็นพิษน้อยกว่า จัดเป็นสารที่มีอันตรายปานกลางซึ่งอยู่ใน packing group II : substance presenting medium danger ตามการจำแนกชั้นของ United Nations (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ให้บทนิยามของโทลูอินสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมไว้ว่า "โทลูอิน" หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีสูตรเคมี  $C_6H_5CH_3$  เป็นของเหลวไวไฟ มีกลิ่นเฉพาะตัวมีจุดเดือด  $110.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  จุดวาบไฟ  $4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ละลายได้ในแอลกอฮอล์ เบนซีน และอีเทอร์ แต่ไม่ละลายในน้ำ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2535)

#### 1.1 การบ่งลักษณะ

สูตรโมเลกุล	: $C_6H_5CH_3$
สูตรโครงสร้าง	: 
สูตรเคมี	: $C_7H_8$
น้ำหนักโมเลกุล	: 92.13
CAS registry number	: 108 - 88 - 3
RTECS registry number	: XS 5250000
CAS chemical name	: Phenylmethane
Common synonyms	: Methylbenzene
Common trade names	: Methacide ,Methylbenzol ,Toluol

## 1.2 คุณสมบัติทางทางเคมี และฟิสิกส์

ความหนาแน่น (g/ml, 20 °C)	: 0.8669
ความต้งจำเพาะ (20 °C)	: 0.8623
จุดหลอมเหลว	: -95 °C (-139 °F)
จุดเดือด (760 mm Hg)	: 110.6 °C (231 °F)
ความดันไอ (25 °C)	: 28.7 mm Hg
ความหนาแน่นไอ (air = 1)	: 3.2
จุดวาบไฟ (closed cup)	: 4.4 °C
อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง	: 552 °C ( 896 °F)
การละลาย (solubility)	: ละลายน้ำได้น้อยมาก (535 mg/l ที่ 25 °C) แต่ละลายได้ดีใน alcohol, chloroform, ether, acetone, glacial acetic acid, carbon disulfide
สารปนเปื้อน	: เบนซีน
reagent grade	: ปริมาณเบนซีนปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01%
industrial grade (ความบริสุทธิ์ 98%)	: ปริมาณเบนซีนและไซลีนปนเปื้อน 2% ( CEPA,1992)
Percent in saturated air (760 mm, 26°C )	: 3.94
Density of saturated air-vapour mixture (760 mm ;air = 1, 26°C)	: 1.09
Flammable limits (percent by volume in air)	: 1.17-7.10
Saturation in Air (25 °C)	: 112 g/m <sup>3</sup>
Evaporation rate (butyl acetate = 1)	: 2.24
Evaporation half life in water (depth = 1 m., 25°C )	: 5.18 hours (Mackay and Leinonen,1975)
Extinguishant	: carbon dioxide, dry chemical, foam
Toluene 1 ppm เท่ากับ	3.77 mg/ m <sup>3</sup> (ที่ 25°C และ 760 mm Hg)



ปริมาณการผลิตโทลูอีนในประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดา สรุปไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตโทลูอีนในประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดา

ประเทศ	ปริมาณการผลิตโทลูอีน		
	พ.ศ. 2520	พ.ศ. 2536	พ.ศ. 2538
แคนาดา	-	-	0.28 ล้านตัน
สหรัฐอเมริกา	3.51 ล้านตัน	2.89 ล้านตัน	3.05 ล้านตัน

ที่มา : Wittcoff and Reuben, 1996 ;Hocking, 1998.

ส่วนการใช้โทลูอีนทั่วโลกมีปริมาณ  $0.5-1 \times 10^7$  ตันต่อปี รูปแบบที่นิยมใช้ คือ mixed form และ isolated form โดย mixed form ใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วน isolated form ใช้ในการผลิตสารเคมีตัวอื่นๆ และใช้เป็นสารละลายใน สี หมึกพิมพ์ ทินเนอร์ น้ำมันเคลือบสี ยา ตลอดจนใช้เป็นสารเติมแต่งในเครื่องสำอางค์

สำหรับประเทศไทยนั้น การผลิต การนำเข้า การส่งออก และการมีโทลูอีนไว้ในครอบครอง จะต้องได้รับใบอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งได้กำหนดให้โทลูอีนเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ.2535 โทลูอีนที่ใช้ในประเทศไทย ส่วนใหญ่ได้จากการนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น มาเลเซีย สิงคโปร์ ไต้หวัน สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐประชาชนจีน เนเธอร์แลนด์ อิตาลี ออสเตรเลีย ฮองกง ปากีสถาน สวิสเซอร์แลนด์ และเบลเยียม ซึ่งปริมาณนำเข้าโดยรวมตั้งแต่ ปี พ.ศ.2521 - 2541 มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น โดยมีปริมาณการนำเข้าสูงสุดในปี พ.ศ. 2537 และเมื่อพิจารณาในช่วงหลังปี พ.ศ.2537 พบว่าปริมาณนำเข้าโทลูอีนมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากประเทศไทยประสบกับภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ ส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ลดการผลิตลง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

#### 1.4 ประโยชน์

- ใช้เป็นสารตัวทำละลาย (solvent) หรือ ทินเนอร์ (thinner) ในอุตสาหกรรม สีพ่นรถยนต์ สีทาบ้าน สีเคลือบ สีย้อมผ้า น้ำมันเคลือบสี น้ำมันขัดเงา แลกเกอร์ เรซิน วาร์นิช กาว ยา เคมี ยาง พลาสติก พรมน้ำมัน และการทำเครื่องเรือน
- ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น และเป็น intermediate ในอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมี

อุตสาหกรรมการสังเคราะห์เคมี และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น ใช้ผลิตเบนซีน ฟีนอล กรดเบนโซอิก ไซคลนิน โทลูอินไดไอโซไซยานาท หัวน้ำหอม ยาฆ่าแมลง และวัตถุระเบิด โดยเฉพาะ TNT (Trinitrotoluene) ดังแสดงเป็นแผนผังไว้ใน รูปที่ 2.2

- 3) ใช้ในอุตสาหกรรมหนังเทียม เส้นใย การเคลือบกระดาษ และหมึกพิมพ์
- 4) ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรผสมน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องบิน และเครื่องยนต์บางชนิด

ตารางที่ 2.2 สถิติปริมาณการนำเข้าโทลูอิน ปี พ.ศ.2521 - 2541

ปี พ.ศ.	ปริมาณนำเข้า (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2521	14,852,362	58,873,870
2522	20,475,957	146,452,248
2523	11,579,483	116,153,099
2524	17,416,437	198,263,255
2525	15,724,422	160,019,928
2526	23,201,484	217,748,684
2527	21,005,950	291,184,461
2528	22,486,847	237,711,245
2529	29,374,714	206,620,104
2530	41,753,549	281,247,354
2531	37,738,676	287,791,067
2532	51,601,661	497,491,923
2533	64,413,098	662,954,146
2534	51,043,646	500,988,252
2535	69,563,783	551,063,133
2536	81,946,855	617,827,147
2537	84,786,626	672,593,521
2538	69,936,904	541,534,070
2539	64,006,764	474,051,946
2540	35,239,962	307,112,424
2541	25,955,598	247,975,838

ที่มา : กรมศุลกากร, 2521-2541.

- 5) ใช้เป็นสารกำจัดหรือล้างสี (paint remover)
- 6) ใช้เป็นสารเติมแต่ง (additive) ในเครื่องสำอางค์
- 7) ใช้สกัดสารจากพืช
- 8) ใช้ทำความสะอาดในโรงงานอุตสาหกรรม

### 1.5 การเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

พืชบางชนิดเป็นแหล่งปล่อยโทลูอินออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ แต่แหล่งสำคัญที่แพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่

- 1) ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ ท่อไอเสียของเครื่องบิน การระเหยออกจากสถานีบริการในระหว่างการเติมน้ำมัน การทกรด และควีนบูทรี ประมาณ 65%
- 2) การระเหยจากแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้โทลูอิน 33%
- 3) การระเหยจากแหล่งผลิตโทลูอิน 2% (WHO, 1985)

แหล่งต่างๆ เหล่านี้ทำให้โทลูอิน ฟู่งกระจายอยู่ในบรรยากาศ บางส่วนก็ปนเปื้อนออกมากับน้ำที่ปะปนอยู่ในแหล่งน้ำ บางส่วนตกค้างในดิน และบางส่วนสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร

### 1.6 ปริมาณความเข้มข้นที่พบในสิ่งแวดล้อม

โทลูอินแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม ดังต่อไปนี้

#### 1.6.1 อากาศ

โทลูอินเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยการระเหยเข้าสู่บรรยากาศ เป็นปริมาณมากที่สุด เนื่องจากโทลูอินมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ประมาณ 12.8 ชั่วโมง เมื่อโทลูอินเข้าสู่บรรยากาศจึงเปลี่ยนรูปได้ง่าย และอยู่ในบรรยากาศไม่นานเพียงพอที่จะกำจัดออกโดยวิธีกล เช่น การตกตะกอน (precipitation) หรือการตกตะกอนแห้ง (dry deposition) ส่วนช่วงชีวิต (life time) ของโทลูอินจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล คือ มีค่าชีวิต 4 วันในฤดูร้อน และ 1 เดือนในฤดูหนาว ซึ่งส่งผลให้ความเข้มข้นของโทลูอินในบรรยากาศมีค่าสูงในฤดูหนาว ดังที่มีการศึกษาในประเทศอินเดียพบว่าค่าเฉลี่ยของโทลูอินในฤดูหนาวสูงถึง  $1,133.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Chattopadhyay *et al.*, 1997) ส่วนความเข้มข้นของโทลูอินในฤดูใบไม้ร่วงซึ่งทำการศึกษาใน Los Angeles มีค่าเฉลี่ยประมาณ  $0.037 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Lonneman, Bellar and Altshuller, 1968)



นอกจากนี้ความเข้มข้นของโทลูอีนในบรรยากาศ ยังเกี่ยวข้องกับการปล่อย ไอเสียของรถยนต์ กล่าวคือ จากการศึกษาในเมือง Toronto แสดงว่าความหนาแน่นของการจราจร มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโทลูอีนในบรรยากาศ โดยมีความเข้มข้นของโทลูอีนในย่านธุรกิจ  $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Pilar and Graydon, 1973) สำหรับใน Los Angeles ความเข้มข้นของโทลูอีนในย่านธุรกิจ มีค่าประมาณ 30 ppb ( $1.13 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Altshuller et al., 1971) ส่วนความเข้มข้นของโทลูอีนในบรรยากาศภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลกมีค่าเฉลี่ยประมาณ  $0-0.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Rasmussen and Khalil, 1983)

คนที่อาศัยในเขตต่างๆ จะได้รับโทลูอีนเข้าสู่ร่างกายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.3 จากข้อมูลในตารางที่ 2.3 แสดงว่ากลุ่มผู้ประกอบการอาชีพ อาทิเช่น คนงาน ในโรงพิมพ์ ช่างทำรองเท้า จะได้รับโทลูอีนในปริมาณความเข้มข้นที่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

ตารางที่ 2.3 การรับโทลูอีนเข้าสู่ร่างกายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

การเข้าสู่ร่างกาย	ความเข้มข้น	ปริมาณของการได้รับโทลูอีน	ปริมาณโทลูอีนที่ได้รับ (mg/week)
<b>กลุ่มประชาชนทั่วไป</b>			
-ทางการหายใจ			
พื้นที่ในเขตเมือง	$0.1 - 204 \mu\text{g}/\text{m}^3$	168 hours/week	0.02 - 32
พื้นที่ในเขตชนบท	น้อย - $3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$	168 hours/week	น้อย - 0.6
พื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแหล่งผลิต และใช้โทลูอีน	$0.1 - 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$	168 hours/week	0.02 - 94
-ทางปาก			
น้ำดื่ม	0 - $19 \mu\text{g}/\text{l}$	2 litre/day	0 - 0.3
อาหาร (ปลา)	0 - $1 \text{ mg}/\text{kg}$	6.5 g/day	0 - 0.45
<b>กลุ่มผู้ประกอบการอาชีพ</b>			
-ทางการหายใจ	$377 \text{ mg}/\text{m}^3$	40 hours/week	18,100
-ทางผิวหนัง	0 - $170 \mu\text{g}/\text{l}$	0 - 30 min/week	0 - 1.0
<b>กลุ่มผู้สูบบุหรี่</b>			
-ทางการหายใจ	$0.1 \text{ mg}/\text{cigarette}$	20 cigarettes/day	14

ที่มา : WHO, 1985.



สำหรับการศึกษาความเข้มข้นของโทลูอีนในบรรยากาศ ของสถานประกอบการต่างๆ ในประเทศไทยนั้น นับว่ามีพอสมควร แต่ส่วนใหญ่จะมีขอบเขตจำกัดในส่วนของวิธีการเก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่าง ในปี 2526 กองอาชีวอนามัย (กรมอนามัย, 2526) ได้ศึกษาปริมาณโทลูอีนในห้องพิมพ์ที่เรียบ กองการพิมพ์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตั้งกับพื้นที่ โดยใช้ charcoal tube จำนวน 18 ตัวอย่าง พบว่า ความเข้มข้นของโทลูอีนในห้องพิมพ์ช่วงเวลาก่อนทำงาน มีค่าระหว่าง 1-3 ppm ค่าเฉลี่ย 2 ppm ส่วนในช่วงเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง มีค่าระหว่าง 12-30 ppm ค่าเฉลี่ย 24 ppm

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2521) ศึกษากลิ่นในอากาศที่เกิดจากการใช้สีในการพ่นสีรถยนต์ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บโดยใช้ syringes ดูดอากาศจากปล่องเหนือห้องพ่นสีพบว่า กลิ่นในอากาศเกิดจากสาร 3 ตัวในทินเนอร์เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เอทิลอะซิเตต โทลูอีน และไซลีน ปริมาณโทลูอีนจากห้องพ่นสี ห้องพักรถ และห้องอบรถ เท่ากับ 167 ppm 23 ppm และ 8 ppm ตามลำดับ ซึ่งโทลูอีนจะมีความเข้มข้นสูงสุดในห้องพ่นสี

อวยชัย บุญมีพิพิธ (2530) ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของโทลูอีนในบรรยากาศของโรงพิมพ์ 2 แห่ง โดยใช้ charcoal tube ในการเก็บตัวอย่างแบบติดตั้งกับพื้นที่ จำนวน 40 ตัวอย่าง พบว่าความเข้มข้นของโทลูอีนในบรรยากาศตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงโดยเฉลี่ยของโรงพิมพ์ เอ. และโรงพิมพ์ บี. เท่ากับ 7.43 ppm และ 47.88 ppm ตามลำดับ

วิทยา บัวประเสริฐ (2534) ได้รายงานการศึกษาความเข้มข้นของโทลูอีนในโรงงานทำรองเท้า และโรงงานทำพื้นรองเท้า พบว่าความเข้มข้นของโทลูอีนในโรงงานทำรองเท้า บริเวณจุดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 11.8 ppm และ 17.7 ppm ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโทลูอีนในโรงงานทำพื้นรองเท้า บริเวณจุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 296.7 ppm และ 206.4 ppm ตามลำดับ

อัจฉรา ทองภู (2541) ศึกษาการสัมผัสโทลูอีนของพนักงานในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ ความเข้มข้นของโทลูอีนในบรรยากาศบริเวณสำนักงาน บริเวณที่ทำการเคลือบเงา และบริเวณที่ทำการพ่นสีเคลือบ มีค่าเท่ากับ 4.29 mg/m<sup>3</sup> 15.90 mg/m<sup>3</sup> 45.90 mg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ

สมศักดิ์ ฟองสุภา (2542) ศึกษาปริมาณของโทลูอีนในโรงงานผลิตลูกบอลพลาสติก พบว่าปริมาณของโทลูอีนในบรรยากาศบริเวณที่ทำงาน มีค่าอยู่ระหว่าง 51.71-293 ppm

Pagnotto และ Lieheromen (1967) ทำการศึกษาความเข้มข้นของโทลูอินในโรงงานผลิตหนัง และแผ่นยาง ซึ่งมีระบบระบายอากาศในขณะปฏิบัติงาน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 19-85 ppm ค่าเฉลี่ย 53 ppm

Ikeda และ Ohtsuji (1969) ได้รายงานการศึกษาความเข้มข้นของโทลูอินในห้องเครื่องของโรงพิมพ์ 8 แห่งในประเทศญี่ปุ่นว่ามีค่าอยู่ในช่วง 4-240 ppm

ในประเทศอิตาลี Forni, Pacifico และ Limonta (1971) ได้ศึกษาความเข้มข้นของโทลูอินในบรรยากาศของโรงพิมพ์ที่ใช้โทลูอินแทนเบนซิน เนื่องจากเกิดการระเหยของพิษเบนซิน พบว่าในปี 1954-1956 ปริมาณความเข้มข้นเป็น 0-240 ppm และในปี 1957-1965 ได้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโทลูอินสูงสุดที่บริเวณระหว่างเครื่องพิมพ์แต่ละเครื่องเท่ากับ 431 ppm (range 306-824) ส่วนบริเวณกลางห้องมีค่าเฉลี่ย 203 ppm (range 140-239) และบริเวณใกล้กับเครื่องพิมพ์มีค่าเฉลี่ย 203 ppm (range 56-277) ในปี 1967 ความเข้มข้นของโทลูอินบริเวณใกล้กับเครื่องพิมพ์ และระหว่างเครื่องพิมพ์แต่ละเครื่องมีค่าลดลงเหลือ 156 ppm และ 265 ppm ตามลำดับ เนื่องจากในปี 1966 โรงพิมพ์ได้ย้ายไปยังสถานที่ใหม่ซึ่งมีการปรับปรุงระบบระบายอากาศ

Lundberg และ Håkansson (1985) ได้ศึกษาการได้รับโทลูอินเข้าสู่ร่างกายของคณงานในโรงงานผลิตสี 7 แห่งในประเทศสวีเดน โดยใช้ syringes เก็บตัวอย่างอากาศในตำแหน่งเขตของการหายใจ พบว่ามีปริมาณโทลูอินอยู่ในช่วง 1-1,260 mg/m<sup>3</sup> และปริมาณโทลูอินที่สูงเป็นลำดับที่ 1-5 เมื่อทำการเก็บตัวอย่างพร้อมกับไซลีน มีค่าอยู่ระหว่าง 111-1,260 mg/m<sup>3</sup>

สำหรับในประเทศไต้หวัน Chen และคณะ (1991) รายงานการศึกษาความเข้มข้นของโทลูอินในโรงงานทั้งหมด 24 แห่ง ได้แก่ โรงงานผลิตสี 2 แห่ง โรงงานพ่นสีรถยนต์ 16 แห่ง โรงงานพ่นสีเครื่องบิน 2 แห่ง โรงงานพ่นสี video terminal 3 แห่ง และโรงงานพ่นสีรถบรรทุก 1 แห่ง ทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดกับตัวบุคคล ได้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโทลูอิน 19 ppm (range 0-540) ส่วนความเข้มข้นของโทลูอินในห้องพ่นสี (painting booth) ของโรงงานพ่นสีรถยนต์พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงถึง 388 ppm (range 12-948) จากการศึกษาแสดงว่าคณงานที่ทำงานในห้องพ่นสีรถยนต์ที่มีการระบายอากาศไม่ดี มีโอกาสได้รับโทลูอินเข้าสู่ร่างกายสูง

Huang และคณะ (1994) รายงานการศึกษาปริมาณความเข้มข้นโทลูอิน

ในโรงพิมพ์ โรงงานผลิตสี และโรงงานผลิตพลาสติกสำหรับเคลือบเส้นลวดในประเทศจีน โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดกับตัวบุคคล พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโทลูอินในบรรยากาศการทำงาน มีค่าเฉลี่ย 2.7 ppm และมีค่าสูงสุด 203 ppm

Chattopadhyay, Chatterjee และ Chakraborti (1996) ศึกษาหาปริมาณโทลูอินภายในโรงงานผลิตเหล็กกล้า 3 แห่ง และบริเวณที่พิกอาศัยรอบ ๆ โรงงานในประเทศอินเดีย ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของโทลูอินภายในโรงงานเท่ากับ  $183 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $198 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของโทลูอินบริเวณ รอบ ๆ โรงงานเท่ากับ  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $412 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของโทลูอิน มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่บริเวณโรงเก็บเบนซีน (benzol plant) ของโรงงานผลิตเหล็กกล้า แสดงว่าโรงเก็บเบนซีนเป็นแหล่งสำคัญที่ปล่อยสารโทลูอินออกสู่อากาศของโรงงาน

### 1.6.2 น้ำ

จากการศึกษาปริมาณโทลูอินในน้ำชายฝั่งทะเล บริเวณฮาวเม็กซิโก สรุปได้ว่าโทลูอินจะมีระดับต่ำในน้ำทะเล คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-376 ng/l (Sauer, Sackett, and Jeffrey, 1978) และจากการตรวจบ่อน้ำในสหรัฐอเมริกา พบว่า 85% ของแหล่งน้ำตรวจพบโทลูอินที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า  $10 \mu\text{g}/\text{l}$  ส่วนน้ำผิวดินมีเพียง 17% ที่พบความเข้มข้นของโทลูอินสูงกว่า  $10 \mu\text{g}/\text{l}$  (WHO, 1985) นอกจากนี้ได้มีการตรวจพบโทลูอินในแหล่งน้ำดิบ และน้ำที่ผ่านการใช้แล้วในชุมชนหลายแห่งของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเกิดจากคลอรีนที่เติมลงไปใต้น้ำเสียไม่สามารถจับกับโทลูอินได้

### 1.6.3 ดิน

โทลูอินที่ตกค้างในดินจะเกิดปฏิกิริยาเคมี การย่อยสลายเปลี่ยนแปลง และกลับเข้าสู่อากาศและแหล่งน้ำ นอกจากนี้โทลูอินสามารถผ่านชั้นทรายไปปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งของน้ำดื่มได้ ดังที่มีการศึกษาพบโทลูอิน ที่ระดับความลึก 75-250 เซนติเมตรของดินในบริเวณสถานีบริการเติมน้ำมัน เป็นปริมาณ  $0.35 \text{ g}/\text{kg}$  (Morgan and Watkinson, 1990)

ปริมาณความเข้มข้นของโทลูอินที่พบในสิ่งแวดล้อมดังกล่าวข้างต้น ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สรุปความเข้มข้นของโทลูอีนที่พบในสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อม	ความเข้มข้นของโทลูอีน	Reference
<b>บรรยากาศ</b>		
เมือง Calcutta ประเทศอินเดีย	1,133.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Chattopadhyay <i>et al.</i> , 1997.
Los Angeles ในฤดูใบไม้ร่วง	0.037 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lonneman <i>et al.</i> , 1968.
ย่านธุรกิจของ Toronto	113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pilar and Graydon, 1973.
ย่านธุรกิจของ Los Angeles	30 ppb ( $1.13 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Altshuller <i>et al.</i> , 1971.
ภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก	0-0.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rasmussen and Khalil, 1983.
<b>สถานประกอบการ</b>		
ห้องพิมพ์พื้นเรียบ		
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย		
ช่วงเวลาก่อนทำงาน	2 ppm (range 1-3)	กรมอนามัย, 2526.
ช่วงเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง	24 ppm (range 12-30)	
โรงงานพันสีรถยนต์		
บริษัทสยามกลการ จำกัด		
ห้องพ่นสี	167 ppm	สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.
ห้องพักรด	23 ppm	
ห้องอบรด	8 ppm	
โรงพิมพ์		
โรงงานทำรองเท้า	7.43-47.88 ppm	อวยชัย บุญมีพิพิธ, 2530.
โรงงานทำพื้นรองเท้า	11.8-17.7 ppm	วิทยา บัวประเสริฐ, 2534.
โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้	206.4-296.7 ppm	อัจฉรา ทองภู, 2541.
บริเวณสำนักงาน	4.29 $\text{mg}/\text{m}^3$	
บริเวณที่ทำการเคลือบเงา	15.90 $\text{mg}/\text{m}^3$	
บริเวณที่ทำการพ่นสีเคลือบ	45.90 $\text{mg}/\text{m}^3$	สมศักดิ์ ฟองสุภา, 2542.
โรงงานผลิตลูกบอลพลาสติก	51.71-293 ppm	
โรงงานผลิตหนัง และแผ่นยาง	53 ppm (range 19-85)	Pagnotto and Lieheroman, 1967.
โรงพิมพ์ 8 แห่งในประเทศญี่ปุ่น	4-240 ppm	Ikeda and Ohtsuji, 1969.

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

สิ่งแวดล้อม	ความเข้มข้นของโทลูอีน	Reference
<b>สถานประกอบการ</b>		
โรงพิมพ์ในประเทศอิตาลี		Forni <i>et al.</i> , 1971.
ปี 1954-1956	0-240 ppm	
ปี 1957-1965		
บริเวณระหว่างเครื่องพิมพ์แต่ละเครื่อง	431 ppm (range 306-824)	
บริเวณกลางห้อง	203 ppm (range 140-239)	
บริเวณใกล้กับเครื่องพิมพ์	203 ppm (range 56-277)	
ปี 1967		
บริเวณระหว่างเครื่องพิมพ์แต่ละเครื่อง	265 ppm	
บริเวณใกล้กับเครื่องพิมพ์	156 ppm	
โรงงานผลิตสี 7 แห่งในประเทศสวีเดน	1-1,260 mg/m <sup>3</sup>	Lundberg and Håkansson, 1985.
โรงงานผลิตสี 2 แห่ง, โรงงานพ่นสีรถยนต์ 16 แห่ง, โรงงานพ่นสีเครื่องบิน 2 แห่ง, โรงงานพ่นสี video terminal 3 แห่ง และโรงงานพ่นสีรถบรรทุก 1 แห่ง ในประเทศไต้หวัน	19 ppm (range 0-540)	Chen <i>et al.</i> , 1991.
ห้องพ่นสีของโรงงานพ่นสีรถยนต์	388 ppm (range 12-948)	
โรงพิมพ์ โรงงานผลิตสี และโรงงานผลิตพลาสติกสำหรับเคลือบเส้นลวดในประเทศจีน	2.7 ppm	Huang <i>et al.</i> , 1994.
เมือง Ranchi ประเทศอินเดีย		Chattopadhyay <i>et al.</i> , 1996.
ภายในโรงงานผลิตเหล็กกล้า 3 แห่ง	183, 258 และ 198 µg/m <sup>3</sup>	
บริเวณรอบๆ โรงงาน 3 แห่ง	160, 412 และ 155 µg/m <sup>3</sup>	
<b>น้ำ</b>		
น้ำชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวเม็กซิโก	4.5-376 ng/l	Sauer <i>et al.</i> , 1978.
แหล่งน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกา		WHO, 1985.
85% ของบ่อน้ำ	< 10 µg/l	
17% ของน้ำผิวดิน	>10 µg/l	
<b>ดิน</b>		
ที่ระดับความลึก 75-250 เซนติเมตร ของดิน	0.35 g/kg	Morgan and Watkinson, 1990.
ในสถานีบริการเติมน้ำมัน ประเทศอังกฤษ		

## 1.7 การเข้าสู่ร่างกาย และกลไกในร่างกาย

โทลูอินเข้าสู่ร่างกาย ทางระบบทางเดินหายใจ ทางผิวหนังจากการสัมผัส และทางปาก ขณะกินอาหารหรือสูบบุหรี่ โดยใช้มือที่ปนเปื้อน แต่ส่วนใหญ่จะได้รับโดยการหายใจเอาไอระเหยเข้าไป เป็นทางหลัก เมื่อร่างกายหายใจเอาโทลูอินเข้าไป จะถูกดูดซึมไว้ประมาณร้อยละ 40 ที่เหลืออีกร้อยละ 60 จะถูกกำจัดออกจากร่างกายทางลมหายใจออก (Gartzke and Weigmann, 1979) โทลูอินส่วนที่หายใจเข้าไปจะถูกดูดซึม และปรากฏในเลือดภายใน 10-15 นาที ส่วนจากการสัมผัส โทลูอินจะดูดซึมผ่านผิวหนังด้วยอัตรา 14-23 mg/cm<sup>2</sup>/hrs. หลังจากนั้นจะกระจายไปทั่วร่างกาย และมีระดับสูงในอวัยวะที่มีไขมัน และเลือดไปเลี้ยงมาก เช่น สมอง ไชกระดูก ตับ และไต โทลูอินส่วนที่ถูกดูดซึมเมื่อเข้าสู่ตับจะเปลี่ยนเป็น benzyl alcohol, benzaldehyd และ benzoic acid (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH) ตามลำดับ จากนั้น benzoic acid จะรวมกับ glycine เปลี่ยนเป็น metabolite ที่ขับออกมาทางปัสสาวะ ได้แก่ hippuric acid มากกว่า 80% ของโทลูอินที่ถูกดูดซึม ดังสมการ



และอีกประมาณ 0.4-1.1% ของโทลูอินที่ถูกดูดซึมจะถูกขับออกทางปัสสาวะในรูปของ o-cresol, p-cresol และ m-cresol (Yamazaki, Tanaka and Misawa, 1992)

สำหรับคนงานที่ต้องสัมผัสกับโทลูอินที่ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศการทำงาน ปริมาณ hippuric acid ที่ขับออกมากับปัสสาวะจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ (Ikeda และ Ohtsui, 1969 ; อัจฉรา ทองภู, 2541 ; สมศักดิ์ พงษ์สุภา, 2542)

## 1.8 กลิ่น

ปริมาณน้อยที่สุดของโทลูอินในอากาศที่คนเริ่มได้กลิ่น (The odor threshold) มีค่าประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (2.5 ppm) (Carpenter et al., 1976) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นปริมาณที่น้อยมาก

## 1.9 ความเป็นพิษ

### 1.9.1 ความเป็นพิษต่อสัตว์ทดลอง

พิษเฉียบพลันเป็นอาการที่เกิดภายหลังได้รับโทลูอีนระดับสูง ความเป็นพิษเฉียบพลันของโทลูอีนต่อสัตว์ทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

### 1.9.2 ความเป็นพิษต่อคน

โทลูอีนเป็นสารที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันรุนแรงกว่าเบนซีน (ศุภชัย รัตนเมณีจักร และจักรภพคุณ คิวะเคธาเทพ, 2534) ซึ่งความเป็นพิษเฉียบพลันที่มีต่อคน แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของโทลูอีนที่มีต่อสัตว์ทดลอง

ชนิดของสัตว์ทดลอง	ลักษณะความเป็นพิษ	ปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษ (dose)
หนู (rat)	oral LD <sub>50</sub>	5,000 mg/kg
หนู (rat)	ip LD <sub>50</sub>	1,640 mg/kg
กระต่าย (rabbit)	dermal LD <sub>50</sub>	14,000 mg/kg
หนู (rat)	inhal LC <sub>10</sub>	4,000 ppm ในเวลา 4 ชั่วโมง
หนู (mice)	inhal LC <sub>50</sub>	5,300 ppm ในเวลา 7 ชั่วโมง
หนู (rat)	ตายภายใน 30-50 นาที	20,000 ppm

ที่มา : NIDA, 1977 ; กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

หมายเหตุ oral LD<sub>50</sub> = ปริมาณสารพิษที่เข้าไปโดยทางปาก ซึ่งทำให้สัตว์ทดลองตายไป 50%

ip LD<sub>50</sub> = ปริมาณสารพิษที่เข้าไปโดยการฉีดเข้าช่องท้อง ซึ่งทำให้สัตว์ทดลองตายไป 50 %

dermal LD<sub>50</sub> = ปริมาณสารพิษที่เข้าไปโดยทางผิวหนังซึ่งทำให้สัตว์ทดลองตายไป 50%

inhal LD<sub>10</sub> = ปริมาณต่ำสุดของสารพิษ ซึ่งทำให้สัตว์ทดลองที่หายใจเข้าไปตาย

inhal LC<sub>50</sub> = ปริมาณสารพิษที่เข้าไปโดยการหายใจ ซึ่งทำให้สัตว์ทดลองตายไป 50%

ส่วนพิษเรื้อรัง เป็นอาการที่เกิดขึ้นภายหลังจากที่ได้รับโทลูอีนเป็นระยะเวลาานาน ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการทางระบบประสาทเสื่อมอย่างถาวร ได้แก่ อาการผิดปกติของสมองน้อย มีอาการสั่น อารมณ์แปรเปลี่ยนไม่แน่นอน ปวดศีรษะตลอดเวลา ไม่มีสมาธิ สูญเสียความทรงจำ ก่อให้เกิดความไม่สัมพันธ์ของการเคลื่อนไหว เดินไม่ตรง และระบบประสาทสัมผัสไม่ดี นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง ผิวหนังอักเสบ และไม่มีไขมัน โลหิตจาง ตับ และไตถูกทำลายอย่างถาวร

**ตารางที่ 2.6** ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของโทลูอีนที่มีต่อคน

ปริมาณความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาที่สัมผัส (ชั่วโมง)	ผลที่เกิดขึ้น
40	6	ไม่พบความผิดปกติ
50-100	-	มีอาการเมื่อยล้า ว่าง เชื่องซึม
100	6-6.5	มีอาการอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ ว่างนอน คลื่นไส้ การมองเห็น และการมองเห็นแยกสีไม่ชัด ไม่สามารถทำงานที่ต้องการความถนัด และคำนวณเลขง่ายๆ ได้
200	8	เกิดอาการระคายเคืองคอ และตา มีอาการชาที่ผิวหนัง ปวดหัว มึนงง เหนื่อยล้า อ่อนเพลีย เกิดอาการนอนไม่หลับ และกระวนกระวาย
300	8	เกิดอาการข้างต้น และเกิดความไม่สัมพันธ์ของการเคลื่อนไหว
400	8	เกิดอาการข้างต้นเด่นชัดขึ้น และมีอาการจิตใจฟุ้งซ่าน สับสน
500-600	-	เกิดอาการทางประสาท สูญเสียความจำชั่วคราว ระบบประสาทสัมผัสไม่ดี เดินเซ เบื่ออาหาร และคลื่นไส้
800	-	หลังจากได้รับสารเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะเกิดอาการคลื่นไส้อย่างเห็นได้ชัด จิตใจสับสน ขาดการควบคุมตัวเอง มีอาการทางประสาทรุนแรง กล้ามเนื้ออ่อนแรง นอนไม่หลับ ต่อเนื่องกันหลายวัน
มากกว่า 800	-	มีอาการข้างต้น และยังมีอาการอื่น เช่น โลหิตจาง และตับโต

ที่มา : WHO, 1985 ; ทรงศักดิ์ ศรีอนุชาติ, 2535 ; วิไลลักษณ์ อิมอุตม, 2536 ; วิชัย เอกพลากร, 2538 ; กรมควบคุมมลพิษ, 2541.



## โรคพิษโทลูอีน

1.9.2.1 สาเหตุ โรคพิษโทลูอีน เป็นโรคที่เกิดจากร่างกายได้รับโทลูอีนเข้าสู่ร่างกายแล้วเกิดพิษ

### 1.9.2.2 อาชีพหรือลักษณะงานที่เสี่ยง

- 1) คนงานผลิตเบนซิน
- 2) คนงานผลิตแลกเกอร์ สี ทินเนอร์
- 3) คนงานผลิต rubber cement
- 4) คนงานผลิต saccharin, toluene diisocyanate และ vinyl toluene
- 5) คนงานผลิตน้ำหอม
- 6) คนงานเผาถ่านหิน
- 7) คนงานผสมน้ำมันรถยนต์
- 8) คนงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการผสมน้ำมันสำหรับใช้กับเครื่องบิน
- 9) คนงานที่ทำงานในห้องปฏิบัติการที่ใช้สารเคมี
- 10) คนงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสารเคมีพวก petrochemical agent

### 1.9.2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ และลักษณะทางคลินิก

อวัยวะที่ได้รับผลกระทบจากโทลูอีน ได้แก่

1. ระบบประสาท ภายหลังจากที่ได้รับโทลูอีนเข้าสู่ร่างกาย เป็นปริมาณสูงอย่างเฉียบพลัน (เช่น คนที่ติดคอกาว หรือเกิดอุบัติเหตุโทลูอีนรั่วไหลในโรงงานอุตสาหกรรม) จะมีอาการทางระบบประสาทเป็นหลัก ได้แก่ การกุดการทำงานของสมองใหญ่ เคลิ้ม มึนเมา และหมดสติ ถ้าได้รับปริมาณสูง จะมีความผิดปกติของการทำงานของสมองมากขึ้น จนถึงเสียชีวิต การได้รับสารโทลูอีนเป็นเวลานานจะทำลายสมองอย่างถาวร มีคลื่นสมองผิดปกติ เดินไม่ตรง ลั่น ขากระตุก สมองฝ่อ หูดไม้ขีด ประสาทหูเสื่อม และตามองภาพไม่ชัด จากการตรวจพิเศษโดย magnetic resonance imaging พบความผิดปกติ ในโครงสร้างสมอง และก้านสมองส่วนที่เป็น white matter มีมากขึ้น และส่วนที่เป็น grey matter มีลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับอาการทางสมองที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ทั้งสมองใหญ่ สมองน้อย และก้านสมองฝ่อลง เป็นการสนับสนุนว่า การได้รับโทลูอีนเป็นเวลานานจะทำลายสมองอย่างถาวร ดังนั้น อาการทางสมองในระยะแรกผู้ที่ได้รับสารโทลูอีนเข้าสู่ร่างกายจะรู้สึกผืนหวาน (euphoria) ปวดศีรษะ มึนงง วิงเวียน และเดินเซ หลังจากนั้นโทลูอีนจะกดระบบประสาท มีอาการต่าง ๆ ตามที่กล่าวข้างต้นโดยสรุปจะทำลายสมอง และมีอาการของ organic brain syndrome นอกจากนี้ยังพบภาวะจิตเภท (Schizophrenia) ซึ่งเป็นกลุ่มอาการโรคจิตที่มีอาการแปรปรวนทางบุคลิกภาพ เช่น หูแว่ว ในคนงานที่ทำงานสัมผัสกับโทลูอีนเป็นเวลานาน

2. ระบบหายใจ การได้รับโทลูอีนจากการสูดดมมีผลระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ทำให้หลอดลมอักเสบ และหืดเกร็ง อาจทำให้เกิดน้ำท่วมปอด และเสียชีวิตจากระบบหายใจล้มเหลวได้ กรณีที่สูดดมโทลูอีนเข้าสู่ปอดจะทำให้เกิดปอดอักเสบได้

3. ระบบหัวใจ โทลูอีนทำให้การเต้นของหัวใจไม่สม่ำเสมอ (arrhythmia) นอกจากนี้ ในคนที่ดื่มกาแฟ มีรายงานว่า โทลูอีนทำให้หัวใจวายได้

4. ตับ และไต มีรายงานว่า การได้รับโทลูอีนจากการสูดดมในอุตสาหกรรม ทำให้มีการทำลายตับ เกิดภาวะ fatty liver และตับวาย ส่วนทางไตพบว่า การได้รับโทลูอีนเป็นระยะเวลาสั้นทำให้เกิดภาวะ renal tubula acidosis กล้ามเนื้ออ่อนแรงจากภาวะโปแตสเซียมในเลือดต่ำ นอกจากนี้ยังพบภาวะกรวยไตอักเสบ และไตวายในที่สุด

5. ระบบเลือด จากการทดลองในหนู พบว่าโทลูอีนทำให้เกิด granulocytopenia ส่วนในคนที่มีความผิดปกติของไขกระดูก เช่น aplastic anemia ในคนงานที่ทำงานสัมผัสกับโทลูอีนมานาน เชื่อว่า น่าจะเกิดจาก benzene ที่ปนเปื้อนอยู่ในตัวทำละลาย

6. ทารกในครรภ์ มีรายงานพบทารกที่มีความผิดปกติของสมองแต่แรกเกิด ได้แก่ microcephaly, CNS dysfunction และ minor craniofacial and limb anomalies ในแม่ที่ได้รับโทลูอีนขนาดสูงจากการสูดดมตลอดระยะเวลาที่ตั้งครรภ์ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเด็กที่เกิดจากแม่ที่ได้รับโทลูอีนขณะตั้งครรภ์มีพัฒนาการที่ช้ากว่าปกติ

7. ผิวหนังและตา โทลูอีนมีผลระคายเคืองต่อผิวหนังที่สัมผัส การสัมผัสบ่อย ๆ ทำให้ผิวหนังอักเสบ (fissured dermatitis) เมื่อสารโทลูอีนกระเด็นเข้าตา ทำให้เยื่อหุ้มตาอักเสบ

8. ระบบอื่น ๆ ได้แก่ ระบบภูมิคุ้มกัน มีรายงานว่า คนงานที่ทำงานเกี่ยวข้องการใช้ตัวทำละลายมีอัตราการเกิดโรคมะเร็งสูง แต่ยังไม่มีการศึกษายืนยันว่า เป็นผลโทลูอีนโดยตรง

สำหรับผลทางด้าน genotoxicity ยังไม่มีการศึกษาทั้งในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองยืนยันว่า โทลูอีนมีพิษต่อพันธุกรรม ส่วนผลต่อการเป็นมะเร็ง จากการศึกษาทั้งในมนุษย์ และสัตว์ยังไม่ยืนยันว่า โทลูอีนมีผลต่อการเกิดมะเร็ง ซึ่ง IARC (International Agency for Research on Cancer) ได้กำหนดให้โทลูอีนเป็นสารกลุ่มที่ 3 คือ ไม่สามารถจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งสำหรับคน (IARC,1989)

#### 1.9.2.4 การตรวจการสัมผัส

การตรวจหาการสัมผัสโทลูอีน สามารถตรวจจาก ลมหายใจ และจากเลือด วิธีที่สะดวกกว่า และนิยม คือ การตรวจ hippuric acid ในปัสสาวะ ภายหลังจากเลิกงานทันที (end of shift) การแปลผล hippuric acid ในปัสสาวะต่ำกว่า 1.5 g/g Creatinine แสดงว่า ไม่น่ามีการสัมผัส แต่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ถือว่ายังไม่มียาผลกระทบบต่อร่างกาย สำหรับ ACGIH ( American

Conference of Governmental Industrial Hygienists ) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่ามาตรฐาน ปริมาณ hippuric acid ในปัสสาวะภายหลังเลิกงานทันทีไว้ไม่เกิน 2.5 g/g creatinine (ACGIH,1995)

#### 1.9.2.5 เกณฑ์การวินิจฉัย

1. ประวัติการทำงานที่สัมผัสกับโทลูอีน
2. อาการ หรืออาการแสดงที่เข้าได้กับพิษจากโทลูอีน
3. การตรวจทางชีวภาพ พบ hippuric acid สูงในปัสสาวะ (>2.5 g/g

Creatinine ) และ/หรือตรวจพบความผิดปกติทางระบบประสาท

#### 1.9.2.6 การรักษา

ผู้ป่วยจากพิษโทลูอีน ไม่มียาต้านฤทธิ์โดยเฉพาะ เป็นการรักษาตามอาการเท่านั้น

#### 1.9.2.7 การป้องกัน

คนงานที่ทำงานสัมผัสกับโทลูอีน ควรมีมาตรการในการป้องกัน ดังต่อไปนี้

1. สิ่งแวดล้อมในที่ทำงานที่มีการใช้โทลูอีน ต้องมีมาตรการควบคุมทางวิศวกรรมที่ถูกต้องเหมาะสม ได้แก่ การแยกกระบวนการผลิตให้มีขีด ระบบระบายอากาศทั่วไป ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ เช่น hood เพื่อที่จะดูดไอระเหยของโทลูอีนออกจากบริเวณที่ทำงาน

2. การเฝ้าระวังสิ่งแวดล้อมในการทำงาน และสถานประกอบการ ต้องมีการควบคุมมิให้มีระดับเฉลี่ยของโทลูอีนในอากาศในที่ทำงานเกินค่ามาตรฐาน ตลอดจนควรมีการตรวจวัดระดับโทลูอีนเป็นระยะ ๆ

3. การตรวจสุขภาพคนงาน ต้องมีการตรวจสุขภาพก่อนเข้าทำงาน และตรวจสุขภาพเป็นระยะ

4. แหล่งเก็บโทลูอีนควรอยู่ในที่ปลอดภัย มีการติดป้ายชื่อ และป้ายเตือนว่าเป็นสารโทลูอีน (เช่น โทลูอีน ระวัง ! สารไวไฟ) ควรปิดภาชนะเมื่อเลิกใช้ หลีกเลี่ยงการสูดดม หรือสัมผัสผิวหนัง

5. การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น หน้ากากหรือชุดแต่งกายที่ป้องกันสารเคมี ภายหลังจากที่มีการควบคุมทางวิศวกรรมแล้ว ยังตรวจพบมีโทลูอีนในบรรยากาศการทำงาน คนงานจะต้องสวมหน้ากากป้องกันขณะทำงาน ในกรณีที่ต้องสัมผัสกับสารโทลูอีนโดยตรง คนงานจะต้องสวมใส่เสื้อผ้า ถุงมือ

6. การให้สุศึกษาแก่คนงาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องมีความรู้เกี่ยวกับพิษโทลูอีน วิธีป้องกัน และการมีอนามัยส่วนบุคคลที่ดี ได้แก่ การเปลี่ยนชุดปฏิบัติงาน ล้างมือ อาบน้ำ สระผม กรณีทำงานหรือสัมผัสกับโทลูอีน

## 1.10 การวิเคราะห์โทลูอีนในอากาศ

การเก็บตัวอย่างโทลูอีนมาวิเคราะห์ จะเก็บในรูปไอเคมี (vapor) หากมีความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศมากเพียงพอ สามารถใช้ aluminized plastic bags, tedlar bags, glass containers หรือ syringes ในการเก็บตัวอย่าง (Lonneman *et al.*, 1968 ;Altshuller *et al.*, 1971 ;Pilar and Graydon, 1973 ;Schneider *et al.*, 1978 ;สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521 ;Lundberg and Håkansson, 1985 ) และนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง gas chromatography ชนิด Flame Ionization Detector แต่ถ้าหากมีความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศน้อย อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจะต้องประกอบด้วยวัสดุที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับ เช่น ผงถ่าน (charcoal), carbon cloth KF-1500 และ Tenax GC ซึ่งโดยทั่วไปนั้นจะใช้ charcoal tubes เก็บตัวอย่าง สำหรับการเก็บตัวอย่างโทลูอีนโดยใช้ charcoal tubes และ carbon cloth KF-1500 นั้น จะใช้ carbon disulfide ( $CS_2$ ) ในการสกัดโทลูอีนจากวัสดุที่ดูดซับ และนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง gas chromatography ชนิด Flame Ionization Detector (NIOSH, 1994 ;Huang *et al.*, 1994 ;อวยชัย บุญมีพิพิธ, 2530 ;อัจราทองภู, 2541) ส่วนการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Tenax GC (poly(2,6-diphenylphenylene oxide)) เป็นวัสดุดูดซับ จะใช้ gas chromatography / mass spectrometry ในการวิเคราะห์ (Riggin, 1985) นอกจากนี้ยังสามารถเก็บตัวอย่างโทลูอีนในอากาศโดยใช้ Portable Ambient Air Analyzer และใช้ Infrared Spectrometry ในการวิเคราะห์ (วิทยา บัวประเสริฐ, 2534)

## 1.11 ค่ามาตรฐานของโทลูอีนในอากาศ

### 1.11.1 มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน

สำหรับประเทศไทย ปริมาณความเข้มข้นของโทลูอีน ในสถานประกอบการ เป็นไปตามประกาศ กระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติได้ไม่เกิน 200 ppm ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาที่จำกัด คือ ระยะเวลาทำงาน 10 นาที ไม่เกิน 500 ppm ส่วนปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้กำหนดไว้เท่ากับ 300 ppm

ส่วนในต่างประเทศได้กำหนดค่ามาตรฐานของโทลูอีนในอากาศ ไว้ดังนี้

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน (Time Weighted Average) เท่ากับ 100 ppm และค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (Short Term Exposure Limit) 15 นาที เท่ากับ 150 ppm

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้ 100 ppm ( $375 \text{ mg/m}^3$ ) และค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL) 15 นาที เท่ากับ 150 ppm ( $560 \text{ mg/m}^3$ )

OSHA (Occupational Safety and Health Acts) ได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) เท่ากับ 200 ppm และค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL) 15 นาที เท่ากับ 300 ppm

#### 1.11.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

ประเทศ บัลแกเรีย ฮังการี ยูโกสลาเวีย และรัสเซีย ได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง (long-term standard) และค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง 30 นาที (short-term standard) ไว้เท่ากัน คือ ไม่เกิน  $0.6 \text{ mg/m}^3$  (0.16 ppm)

#### 1.11.3 มาตรฐานอากาศเสีย

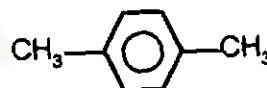
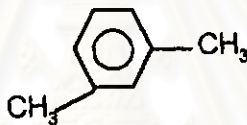
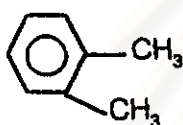
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ได้กำหนดค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของไอลูอินที่ยอมให้ปล่อยจากปล่องโรงงาน (emission limit) ไว้เท่ากับ  $150 \text{ mg/m}^3$  โดยที่ mass flow rate มากกว่า หรือเท่ากับ  $3 \text{ kg / hour}$

## 2. ไชลีน (Xylene)

ไชลีน เป็น aromatic hydrocarbon ที่มีสถานะเป็นของเหลวไม่มีสีที่อุณหภูมิห้อง (สำหรับ p-xylene ที่บริสุทธิ์ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12.7 °C) มีคุณสมบัติเป็นของเหลวไวไฟ โดยจัดอยู่ใน class 3 ตามระบบของ United Nations (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) และมีกลิ่นหอมจุนเล็กน้อย ไชลีน ในทางการค้าจากแหล่งปิโตรเลียมจะเป็นสารผสมของไชลีน 3 isomer คือ m-xylene 44%, o-xylene 20%, p-xylene 20% และ ethylbenzene 15 % ส่วนไชลีนในทางการค้าจากแหล่ง coal-tar จะประกอบด้วย m-xylene, 45-70%, p-xylene 23%, o-xylene 10-15% และ ethylbenzene 6-10 %

### 2.1 การบ่งลักษณะ

#### สูตรโครงสร้าง



#### ชื่อสารเคมี

o-xylene หรือ  
ortho-xylene

m-xylene หรือ  
meta-xylene

p-xylene หรือ  
para-xylene

#### CAS registry number

95-47-6

108-38-3

106-42-3

#### สูตรเคมี

$C_8H_{10}$

$C_8H_{10}$

$C_8H_{10}$

#### สูตรโมเลกุล

$C_6H_4(CH_3)_2$

$C_6H_4(CH_3)_2$

$C_6H_4(CH_3)_2$

#### น้ำหนักโมเลกุล

106.16

106.16

106.16

ชื่ออื่น	1,2-xylene o-xylol	1,3-xylene m-xylol	1,4-xylene p-xylol
	1,2-dimethylbenzene	1,3-dimethylbenzene	1,4-dimethylbenzene
	o-methyltoluene	m-methyltoluene	p-methyltoluene

RTECS registry number

ZE 2450000

ZE 2275000

ZE 2625000

CAS registry number (mixed xylenes) : 1330-20-7

RTECS registry number (mixed xylenes) : ZE 210000

## 2.2 คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของไซลีนแต่ละ isomer

คุณสมบัติ	o-xylene	m-xylene	p-xylene	mixed xylenes
จุดหลอมละลาย, °C	-25.2	-47.9	13.3	25.0
จุดวาบไฟ, °C	17	31	30	29
ความหนาแน่น, g/cm <sup>3</sup>	0.876	0.860	0.857	0.867-0.869
จุดเดือด, °C	144.4	139.1	138.3	140.5
ความหนาแน่นไอ	3.66	3.66	3.66	3.66
ความดันไอ (ที่ 20°C)	5 mm Hg	6 mm Hg	6.5 mm Hg	-
การละลายน้ำ ที่ 20°C	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	-
การละลายใน ethyl alcohol	ละลายได้ดี	ละลายได้ดี	ละลายได้ดี	-
อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง, °C	465	525	525	-
Evaporative half-life in water of depth 1 m., at 25°C (hours)	-	-	-	5.61

ที่มา : Mackay and Leinonen, 1975 ;WHO, 1997 ;กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

สารปนเปื้อนในไซลีน ได้แก่ thiophene, ethylbenzene และ trimethylbenzene (pseudocumene)

ไซลีน 1 ppm จะเท่ากับ 4.34 mg/m<sup>3</sup> (ที่ 25 °C และ 760 mm Hg)

## 2.3 การผลิต และการค้า

ในช่วงก่อนปี 1940 ไซลีนผลิตจากอุตสาหกรรมถ่านหิน แต่หลังจากนั้นก็เริ่มมีการผลิตจากแหล่งปิโตรเลียม และเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ pyrolysis ใน Olefins plants นอกจากนี้ mixed xylenes จำนวนหนึ่งได้จากกระบวนการ disproportionation โทลูอีน

สำหรับการผลิต p-xylene ทั่วโลก ในปี 1983 มีปริมาณ 3.9 ล้านตัน โดยมีการผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นจำนวนมากถึง 48% ยุโรป 23 % และญี่ปุ่น 16% ส่วนปี 1984 สหรัฐอเมริกาผลิต mixed xylenes, p-xylene และ o-xylene ประมาณ 2.78, 1.94 และ 0.316 ล้านตัน ตามลำดับ ต่อมาในปี 1994 สหรัฐอเมริกาผลิต mixed xylenes และ p-xylene เพิ่มขึ้นเป็น 4.1 และ 2.8 ล้านตัน ตามลำดับ

ไซลีนในรูป mixed xylenes ประมาณ 92 % ของการผลิต ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตน้ำหอม สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ยา สี หมึกพิมพ์ ยาง และพลาสติก ส่วน o-xylene นั้นส่วนใหญ่ใช้ผลิต phthalicanhydride

สำหรับไซลีนในรูป m-xylene จะใช้ในการผลิต isophthalic acid และเรซิน ส่วน p-xylene ใช้ในการผลิต dimethylterephthalate, terephthalic acid, สารลดความหนืดน้ำมัน และเส้นใยสังเคราะห์ต่างๆ

ไซลีนที่ใช้ภายในประเทศไทยได้จากการนำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ญี่ปุ่น สิงคโปร์ อิตาลี ปากีสถาน ไต้หวัน สวิสเซอร์แลนด์ ออสเตรเลีย และสหพันธ์สาธารณรัฐเกาหลี ซึ่งปริมาณนำเข้าโดยรวมตั้งแต่ปี 2521-2541 มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น โดยมีปริมาณการนำเข้าสูงสุดในปี 2539 และเมื่อพิจารณาในช่วงหลังปี 2539 พบว่าปริมาณการนำเข้ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

## 2.4 ประโยชน์

- 1) ใช้เป็น intermediate ในอุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์



- 2) ใช้เป็นหินเนอร์ หรือตัวทำละลายในหมึก ยาง กาว สี สีเคลือบ สีย้อม เรซิน วาไรนซ์ แล็กเกอร์ ซีเมนต์ asphalt ยา naphtha และน้ำยาทำความสะอาด
- 3) ใช้เป็นสารกำจัดสี ในอุตสาหกรรมเคลือบกระดาษ
- 4) ใช้เป็นสารทำละลาย และ emulsifiers ในการผลิตปุ๋ย และสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ตารางที่ 2.8 สถิติปริมาณการนำเข้าไธลีน ปี 2521 - 2541

ปีพ.ศ.	ปริมาณนำเข้า (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2521	5,136,835	20,565,369
2522	7,528,984	55,159,912
2523	4,750,038	49,505,308
2524	5,934,780	68,559,516
2525	6,813,449	85,124,739
2526	5,864,980	54,415,019
2527	4,030,216	35,481,834
2528	6,480,897	61,822,010
2529	8,594,493	64,002,615
2530	8,166,965	62,497,321
2531	14,302,485	114,840,161
2532	18,533,408	196,269,914
2533	25,349,733	303,350,709
2534	23,199,949	309,509,285
2535	17,380,101	193,980,170
2536	11,415,002	113,972,280
2537	27,023,719	283,979,428
2538	106,480,645	3,285,710,735
2539	247,348,569	3,922,175,388
2540	57,384,276	711,040,819
2541	40,595,206	550,725,439

ที่มา : กรมศุลกากร, 2521-2541.

- 5) ใช้เป็นสารลดความหนืดในอุตสาหกรรมพลาสติก และอิเล็กทรอนิกส์
- 6) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต benzoic acid, phthalic anhydride, isophthalic, terephthalic acid และ dimethylterephthalate
- 7) ใช้ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

## 2.5 การเข้าสู่สิ่งแวดล้อม และปริมาณความเข้มข้นที่พบในสิ่งแวดล้อม

### 2.5.1 อากาศ

ไอเสียรถยนต์ เป็นแหล่งสำคัญในการแพร่กระจายไฮโดรคาร์บอนออกสู่อากาศ จากการศึกษาใน Florida ความเข้มข้นของ m-xylene มีค่าอยู่ระหว่าง  $< 0.09-5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ p-xylene เท่ากับ  $< 0.09-2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Lonneman, Sella, and Bufalini, 1978)

ส่วน Chattopadhyay *et al.* (1997) ได้ทำการตรวจวัดระดับไฮโดรคาร์บอนในเขตเมือง Calcutta ประเทศอินเดียตลอดช่วงฤดูหนาวของปี 1992-1994 ค่าเฉลี่ยของไฮโดรคาร์บอนในแต่ละปีมีค่า  $50.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $283.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $63.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

สำหรับความเข้มข้นของ o-xylene, m-xylene และ p-xylene ใน Los Angeles เมื่อปี 1968 มีค่าเฉลี่ย 0.008 ppm, 0.016 ppm และ 0.006 ppm ตามลำดับ (Lonneman *et al.*, 1968) ต่อมาในปี 1971 ความเข้มข้นของ o-xylene, m-xylene และ p-xylene มีค่าลดลง คือ 6.5 ppb, 12 ppb และ 5 ppb ตามลำดับ (Altshuller *et al.*, 1971)

นอกจากไอเสียรถยนต์แล้ว โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีการใช้ไฮโดรคาร์บอนในการผลิตก็เป็นแหล่งสำคัญอีกแหล่งหนึ่งในการแพร่กระจายไฮโดรคาร์บอนออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังจะเห็นได้จากความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งมีการใช้ไฮโดรคาร์บอนในการผลิต สรุปไว้ในตารางที่ 2.9

ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไฮโดรคาร์บอน และสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ

- 1) โรงงานทำกิจการเกี่ยวกับ สี แล็กเกอร์ และพลาสติก
- 2) โรงงานพิมพ์สี เคลือบเงาบนแผ่นโลหะ
- 3) โรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ จะมีการเคลือบเงา ซึ่งมีไฮโดรคาร์บอนอยู่ด้วย

ตารางที่ 2.9 ความเข้มข้นเฉลี่ยของไซลีนในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ m-xylene (%w/w)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ o/p-xylene (%w/w)
น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์	10.6	31.0
น้ำยาทำความสะอาดบ้านเรือน และ น้ำยาขัดเงา	1.4	-
สี และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เกี่ยวกับสี	4.2	2.8
น้ำยาทำความสะอาดเสื้อผ้า และ หนัง	-	0.1
น้ำมัน, จาระบี และน้ำมันหล่อลื่น	0.2	0.2
กาว และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	0.2	0.2

ที่มา : Sack *et al.*, 1992.

- 4) โรงซ่อมรถยนต์ (ตู้เคาะพ่นสี) จะมีการพ่นสี ซึ่งมีไซลีนประกอบอยู่ด้วย
- 5) โรงงานแบ่งบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ซึ่งใช้ไซลีนเป็นสารทำลายหรือ emulsifier

สำหรับในประเทศไทยนั้น การศึกษาความเข้มข้นของไซลีนในโรงงานอุตสาหกรรม นับว่ายังมีน้อย และการเผยแพร่ยังไม่กว้างขวางนัก ในปี 2521 สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2521) ได้ศึกษากลิ่นในอากาศที่เกิดจากสีพ่นสีรถยนต์ ผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างอากาศพบว่า กลิ่นในอากาศส่วนใหญ่ เกิดจากสาร 3 ตัวในทินเนอร์ ได้แก่ เอทิลอะซิเตต โทลูอีน และไซลีน โดยไซลีนจะมีความเข้มข้นสูงสุดในห้องพ่นสี คือเท่ากับ 194 ppm ส่วนปริมาณ ไซลีนจากห้องพักรถ และห้องอบรถ เท่ากับ 26 ppm และ 5 ppm ตามลำดับ

ในประเทศสวีเดน Lundberg และ Håkansson (1985) ได้ศึกษาการได้รับไซลีน เข้าสู่ร่างกายของคนงานในโรงงานผลิตสี 7 แห่ง พบว่ามีปริมาณไซลีนมีค่าอยู่ในช่วง 1-6,070 mg/m<sup>3</sup> ส่วนปริมาณไซลีนซึ่งทำการเก็บตัวอย่างพร้อมกับโทลูอีนที่สูงเป็นลำดับที่ 1-5 มีค่าระหว่าง 501-6,070 mg/m<sup>3</sup>

Chen และคณะ (1991) รายงานการศึกษาความเข้มข้นของไซลีนในโรงงานทั้งหมด

24 แห่ง ในประเทศไต้หวัน ได้แก่ โรงงานผลิตสี 2 แห่ง โรงงานพ่นสีรถยนต์ 16 แห่ง โรงงานพ่นสีเครื่องบิน 2 แห่ง โรงงานพ่นสี video terminal 3 แห่ง และโรงงานพ่นสีรถบรรทุก 1 แห่ง พบว่าไซลีนมีความเข้มข้นสูงสุดในห้องพ่นสีของโรงงานพ่นสีรถยนต์ คือ 231 ppm (range 25-511) และได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไซลีน เท่ากับ 30 ppm (range 0-365)

Huang และคณะ (1994) ทำการศึกษาปริมาณไซลีนในโรงพิมพ์ โรงงานผลิตสี และโรงงานผลิตพลาสติกสำหรับเคลือบเส้นลวด ในประเทศจีน โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดกับตัวบุคคล พบว่ามีปริมาณ total-xylenes, o-xylene, m-xylene และ p-xylene เท่ากับ 3.1 ppm, 0.2 ppm, 1.6 ppm และ 0.5 ppm ตามลำดับ และมีปริมาณสูงสุดของ mixed-xylene, o-xylene, m-xylene และ p-xylene เท่ากับ 103 ppm, 29 ppm, 52 ppm และ 23 ppm ตามลำดับ

Chattopadhyay และคณะ (1996) ศึกษาหาปริมาณไซลีน ภายในโรงงานผลิตเหล็กกล้า 3 แห่ง และบริเวณที่พักอาศัยรอบ ๆ โรงงานในประเทศอินเดีย ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของไซลีนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่บริเวณโรงเก็บเบนซินของโรงงานผลิตเหล็กกล้า โดยค่าเฉลี่ยของไซลีนภายในโรงงาน เท่ากับ  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของไซลีนบริเวณ รอบ ๆ โรงงาน เท่ากับ  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $265 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

## 2.5.2 น้ำ

จากการศึกษาความเข้มข้นของไซลีนในน้ำชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวเม็กซิโก สรุปได้ว่าในน้ำทะเลจะมีไซลีนอยู่น้อยมาก คือ m,p-xylene มีค่าอยู่ในช่วง 2.7-24.4 ng/l และ o-xylene มีค่าอยู่ระหว่าง 0.3-10.1 ng/l (Sauer *et al.*, 1978) ส่วนในประเทศญี่ปุ่นมีรายงานพบไซลีนอยู่ในน้ำประปาเป็นปริมาณ 0.32 ng/l (Akiyama *et al.*, 1980)

## 2.5.3 ดิน

ไซลีนสามารถซึมผ่าน และตกค้างในดิน ดังที่มีรายงานพบ m,p-xylene ปริมาณ 0.4 g/kg และ o-xylene จำนวน 0.15 g/kg ที่ระดับความลึก 75-250 เซนติเมตรของดิน ในบริเวณสถานีบริการเติมน้ำมัน ซึ่งเกิดจากถังเก็บน้ำมันรั่ว ไซลีนจึงซึมผ่านและตกค้างในดิน (Morgan and Watkison, 1990)

ปริมาณความเข้มข้นของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม ได้กล่าวสรุปไว้ในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สรุปความเข้มข้นของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อม	ความเข้มข้นของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	Reference
<b>บรรยากาศ</b>		
Florida ประเทศสหรัฐอเมริกา		Lonneman <i>et al.</i> , 1978.
m-xylene	< 0.09-5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
p-xylene	< 0.09-2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
ฤดูหนาวในเมือง Calcutta ประเทศอินเดีย		Chattopadhyay <i>et al.</i> , 1997.
ปี 1992	50.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
ปี 1993	283.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
ปี 1994	63.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Los Angeles ประเทศสหรัฐอเมริกา ปี 1968		Lonneman <i>et al.</i> , 1968.
o-xylene	0.008 ppm	
m-xylene	0.016 ppm	
p-xylene	0.006 ppm	
Los Angeles ประเทศสหรัฐอเมริกา		Altshuller <i>et al.</i> , 1971.
ปี 1971		
o-xylene	6.5 ppm	
m-xylene	12 ppm	
p-xylene	5 ppm	
<b>สถานประกอบการ</b>		
โรงงานฟอสฟอไรต์ บริษัทสยามกลการ จำกัด		สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
ห้องพ่นสี		จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.
ห้องพักรถ	194 ppm	
ห้องอบรถ	26 ppm	
โรงงานผลิตสี 7 แห่งในประเทศสวีเดน	5 ppm	
โรงงานผลิตสี 2 แห่ง, โรงงานฟอสฟอไรต์ 16 แห่ง,	1-6,070 $\text{mg}/\text{m}^3$	Lundberg and Håkansson,
โรงงานพ่นสีเครื่องบิน 2 แห่ง, โรงงานพ่นสี video		1985.
terminal 3 แห่ง และโรงงานฟอสฟอไรต์บรรทุก 1 แห่ง		Chen <i>et al.</i> , 1991.
ในประเทศไต้หวัน	30 ppm (range 0-365)	
ห้องพ่นสีของโรงงานฟอสฟอไรต์	231 ppm (range 25-511)	

## ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

สิ่งแวดล้อม	ความเข้มข้นของไซลีน	Reference
<b>สถานประกอบการ</b>		
โรงพิมพ์ โรงงานผลิตสี และโรงงานผลิตพลาสติกสำหรับเคลือบเส้นลวดในประเทศจีน		Huang <i>et al.</i> , 1994.
total xylenes	3.1 ppm	
o-xylene	0.2 ppm	
m-xylene	1.6 ppm	
p-xylene	0.5 ppm	
<b>เมือง Ranchi ประเทศอินเดีย</b>		Chattopadhyay <i>et al.</i> , 1996.
ภายในโรงงานผลิตเหล็กกล้า 3 แห่ง	6, 124 และ 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
บริเวณรอบๆ โรงงาน 3 แห่ง	9, 265 และ 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>น้ำ</b>		
<b>น้ำชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวเม็กซิโก</b>		Sauer <i>et al.</i> , 1978.
m,p-xylene	2.7-24.4 ng/l	
o-xylene	0.3-10.1 ng/l	
<b>น้ำประปา ในประเทศญี่ปุ่น</b>	0.32 ng/l	Akiyama <i>et al.</i> , 1980.
<b>ดิน</b>		
ที่ระดับความลึก 75-250 เซนติเมตร ของดินในสถานีบริการเติมน้ำมัน ประเทศอังกฤษ		Morgan and Watkinson, 1990.
m,p-xylene	0.4 g/kg	
o-xylene	0.15 g/kg	

## 2.6 การเข้าสู่ร่างกาย และกลไกในร่างกาย

ไซลีนเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ และทางผิวหนัง ซึ่งการดูดซึมผ่านผิวหนังของไซลีนนั้นมีน้อยมากจนแทบจะไม่มีผลสำคัญ แต่จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังมากกว่าเบนซีน และโทลูอีน (ศุภชัย รัตนมณีฉัตร และจักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2534)

ถ้าผิวหนังสัมผัสโรลีน จะถูกดูดซึมผ่านผิวหนังด้วยอัตรา  $2 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{minute}$  แต่ถ้าหายใจเอาไอระเหยเข้าไป ประมาณ 60% จะเข้าสู่ปอด แล้วส่งผ่านไปยังระบบหมุนเวียนโลหิต หลังจากนั้นจะกระจายไปทั่วร่างกาย และมีระดับสูงในไขมัน ตับ และสมอง ส่วนน้อยจะถูกกำจัดออกทางลมหายใจออก โรลีนส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายเมื่อเข้าสู่ตับจะเปลี่ยนเป็น o,m,p-toluic acid จากนั้น o,m,p-toluic acid จะรวมกับ glycine เปลี่ยนเป็น metabolite ที่ขับออกมาทางปัสสาวะ ได้แก่ methylhippuric acid ( $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{COONHCH}_2\text{COOH}$ ) อย่างน้อย 97% และ dimethylphenol (Bell *et al.*, 1992) ACGIH ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณ methylhippuric acid ในปัสสาวะ ภายหลังเลิกงานทันทีไว้ไม่เกิน  $1.5 \text{ g/g creatinine}$  (ACGIH, 1995)

## 2.7 กลิ่น

ปริมาณน้อยที่สุดของโรลีนในอากาศที่คนเริ่มได้กลิ่น (The odor threshold) มีค่าประมาณ 0.0045 มิลลิกรัมต่อลิตร (1 ppm) (Carpenter *et al.*, 1975) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก

## 2.8 ความเป็นพิษ

### 2.8.1 ความเป็นพิษต่อสัตว์ทดลอง

ความเป็นพิษเฉียบพลันของโรลีนต่อสัตว์ทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 2.11

### 2.8.2 ความเป็นพิษต่อคน

พิษเฉียบพลันของโรลีนมีลักษณะคล้ายกับพิษของโทลูอีน แต่จะมีความรุนแรงมากกว่า (คูราชัย รัตนมณีฉัตร และจักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2534) ซึ่งความเป็นพิษของโรลีนที่มีต่อคนแสดงไว้ในตารางที่ 2.12

ส่วนพิษเรื้อรัง เนื่องจากการได้รับโรลีนเข้าไปเป็นระยะเวลาานาน จะมีอาการคล้ายคลึงกับอาการที่เกิดขึ้นจากพิษแบบเฉียบพลัน แต่อาการที่เกิดขึ้นในบางระบบอาจรุนแรงมากกว่า โดยจะมีผลไปกระตุ้น และกดระบบประสาทส่วนกลาง เช่น เกิดอาการชา สันกระดูก หวาดกลัว ความจำเสื่อม อ่อนเพลีย จิตใจกระวนกระวาย ทรงตัวลำบาก ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร คลื่นเหียน ท้องอืด ผิวหนัง และจมูกแห้ง เป็นโรคผิวหนัง เนื้อเยื่อมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นมากผิดปกติ ตับโตขึ้นเล็กน้อย เนื้อเยื่อ หรือ

กลุ่มเซลล์บางส่วนตาย และเป็นโรคไต แต่ยังไม่มียางานว่าไซลีนมีผลต่อการเกิดมะเร็ง ซึ่ง IARC ได้กำหนดให้ไซลีนเป็นสารกลุ่มที่ 3 คือ ไม่สามารถจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งสำหรับคน (IARC,1989)

ตารางที่ 2.11 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของไซลีนที่มีต่อสัตว์ทดลอง

ชนิดของสาร	ชนิดของสัตว์ทดลอง	ลักษณะความเป็นพิษ	ปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษ
o-xylene	หนู (rat)	oral LD <sub>50</sub>	3,608 mg/kg
m-xylene	หนู (rat)	oral LD <sub>50</sub>	5,011 mg/kg
p-xylene	หนู (rat)	oral LD <sub>50</sub>	4,029 mg/kg
mixed xylenes	หนู (rat)	oral LD <sub>50</sub>	4,300 mg/kg
o-xylene	กระต่าย (rabbit)	dermal LD <sub>50</sub>	>20,000 mg/kg ในเวลา 24 hours.
m-xylene	กระต่าย (rabbit)	dermal LD <sub>50</sub>	12,180 mg/kg ในเวลา 24 hours.
o-xylene	หนู (rat)	inhal LC <sub>50</sub>	4,330 ppm ในเวลา 6 hours.
m-xylene	หนู (rat)	inhal LC <sub>50</sub>	5,984 ppm ในเวลา 6 hours.
p-xylene	หนู (rat)	inhal LC <sub>50</sub>	4,591 ppm ในเวลา 6 hours.
mixed xylene	หนู (rat)	inhal LC <sub>50</sub>	6,700 ppm

ที่มา : Fawell and Hunt, 1988 ;Bell et al., 1992.

ตารางที่ 2.12 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของไซลีนที่มีต่อคน

ปริมาณความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ผลที่เกิดขึ้น
138	4	ไม่มีผลกระทบต่อระบบประสาทสัมผัส
160	-	ไม่พบความผิดปกติ
200	-	ระคายเคือง ตา จมูก และคอเล็กน้อย
207	4	มีผลกระทบต่ออาการมองเห็น และการทำงานของคลื่นไฟฟ้าสมอง
691	1	เวียนศีรษะ มึนงง ตาลาย และระคายเคือง
10,000	-	มีอาการหลงลืม หมดสติ ร่างกายมีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ เลือดคั่งในปอดและสมอง มีผลกระทบต่อไต และเสียชีวิต

ที่มา : NIDA, 1977 ;WHO, 1997 ;กรมควบคุมมลพิษ, 2541.



## 2.9 การวิเคราะห์ไฮลิโนในอากาศ

การวิเคราะห์สารเคมีประเภท Aromatic Hydrocarbons ซึ่งรวมถึงโพลีไซคลิกไฮลิโนด้วย ตามวิธีการที่ NIOSH แนะนำไว้ นั้น จะต้องเก็บตัวอย่างของไฮลิโนในอากาศมาวิเคราะห์ในรูปไอเคมี (vapor) โดยมี coconut shell charcoal เป็นตัวดูดซับ และมี carbon disulfide (CS<sub>2</sub>) เป็นตัวสกัดไฮลิโนจากวัสดุที่ดูดซับ เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณไฮลิโนในตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่อง gas chromatography ชนิด Flame Ionization Detector (NIOSH, 1994) นอกจากนี้ยังสามารถเก็บไฮลิโนโดยใช้ Tenax GC (poly(2,6-diphenylphenylene oxide)) (Riggin, 1985) หรือ Tenax TA (Bevan et al., 1991) เป็นตัวดูดซับ และใช้ gas chromatography / mass spectrometry ในการวิเคราะห์

## 2.10 ค่ามาตรฐานของไฮลิโนในอากาศ

### 2.10.1 มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน

สำหรับประเทศไทยนั้น ปริมาณความเข้มข้นของไฮลิโนในสถานประกอบการ เป็นไปตามประกาศของ กระทรวงแรงงาน และสวัสดิการสังคม ซึ่งได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติไว้ไม่เกิน 100 ppm (435 mg/m<sup>3</sup>)

ส่วนในต่างประเทศได้กำหนดค่ามาตรฐานของไฮลิโนในอากาศ ไว้ดังนี้

NIOSH ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้ 100 ppm และค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL) 15 นาที ไว้ไม่เกิน 150 ppm

ACGIH ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้ 100 ppm (434 mg/m<sup>3</sup>) และค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL) 15 นาที เท่ากับ 150 ppm (651 mg/m<sup>3</sup>)

OSHA ได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) เท่ากับ 100 ppm (434 mg/m<sup>3</sup>)

สหราชอาณาจักร กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้ 100 ppm (435 mg/m<sup>3</sup>) และค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL) 15 นาที เท่ากับ 150 ppm (650 mg/m<sup>3</sup>)

ส่วนประเทศสวีเดน ได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้ 80 ppm (350 mg/m<sup>3</sup>) และค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL) 15 นาที เท่ากับ 100 ppm (450 mg/m<sup>3</sup>)

ประเทศญี่ปุ่น กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้ 100 ppm (440 mg/m<sup>3</sup>)

### 2.10.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

ประเทศ บัลแกเรีย ฮังการี ยูโกสลาเวีย และรัสเซีย ได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง (long-term standard) และค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง 30 นาที (short-term standard) ไว้เท่ากัน คือ ไม่เกิน 0.2 mg/m<sup>3</sup> (0.05 ppm)

### 2.10.3 มาตรฐานอากาศเสีย

สำหรับประเทศไทย ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโซลีนที่สามารถระบายออกจากโรงงาน เป็นไปตามประกาศของ กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ออกตามความใน พ.ร.บ.โรงงาน ฉบับที่ 2 เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ลงวันที่ 20 กรกฎาคม 2536 ซึ่งได้กำหนดไว้ไม่เกิน 200 ppm (870 mg/m<sup>3</sup>)

ส่วนในประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ได้กำหนดค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของโซลีนที่ยอมให้ปล่อยจากปล่องโรงงาน (emission limit) ไว้เท่ากับ 150 mg/m<sup>3</sup> โดยที่ mass flow rate มากกว่าหรือเท่ากับ 3 kg / hour

ค่ามาตรฐานของโทลูอีน และโซลีนในอากาศ สรุปไว้ในตารางที่ 2.13

**ตารางที่ 2.13 ค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของโทลูอีน และไซลีนในอากาศ**

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ยอมให้มีได้ในสถานประกอบการ (mg/m <sup>3</sup> )									ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีจากปล่อง		ปริมาณความเข้มข้นในบรรยากาศ ของประเทศ บัลแกเรีย อังกฤษ รัสเซีย และยูโกสลาเวีย (mg/m <sup>3</sup> )	
	ประกาศกระทรวงมหาดไทย			NIOSH		ACGIH		OSHA		ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ppm)	สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (mg/m <sup>3</sup> )	เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง	ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 30 นาที
	TWA	STEL	MAC	TWA	STEL	TWA	STEL	TWA	STEL				
1. โทลูอีน (1 ppm = 3.77 mg/m <sup>3</sup> )	754 (200 ppm)	1,885 (500 ppm) (10 นาที)	1,131 (300 ppm)	375 (100 ppm)	560 (150 ppm)	375 (100 ppm)	560 (150 ppm)	754 (200 ppm)	1,131 (300 ppm)	-	150 โดยที่ mass flow rate >= 3 kg/hour	0.6	0.6
2. ไซลีน (1 ppm = 4.34 mg/m <sup>3</sup> )	435 (100 ppm)	-	-	434 (100 ppm)	651 (150 ppm)	434 (100 ppm)	651 (150 ppm)	434 (100 ppm)	-	870 (200 ppm)	150 โดยที่ mass flow rate >= 3 kg/hour	0.2	0.2

ที่มา : NIOSH, 1994 ; กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

**หมายเหตุ** 1. TWA (Time Weighted Average) คือ ค่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน

2. STEL (Short Term Exposure Limit) คือ ค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด ซึ่งปกติในเวลา 15 นาที และไม่ควรเกิดขึ้นมากกว่า 4 ครั้งใน 1 วัน

3. MAC (Maximum Allowable Concentration) คือ ค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้

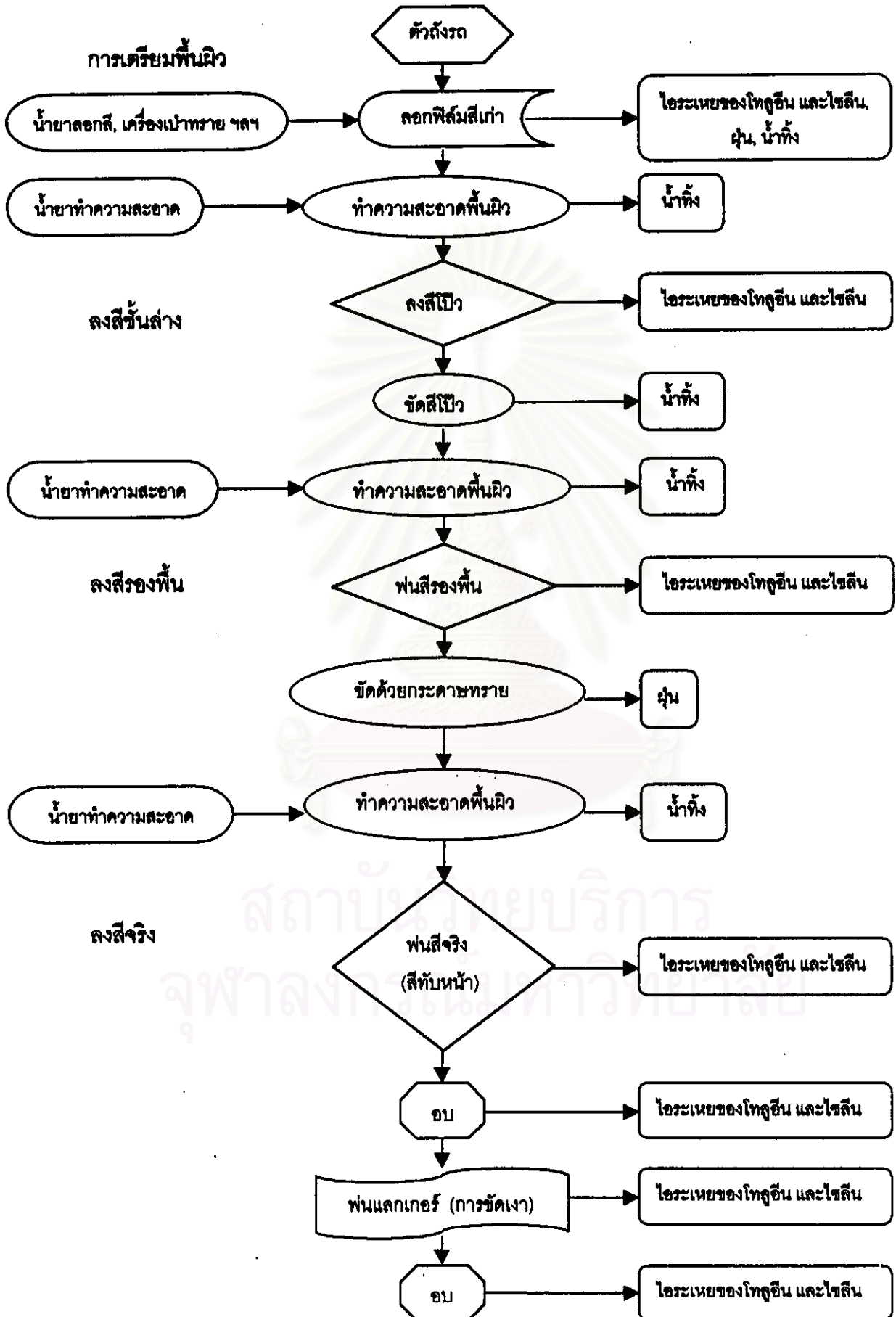


ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

**NO THIS PAGE IN ORIGINAL**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.3 กระบวนการฟันท่อมสิรดยนต์



2) การใช้ น้ำยาลอกสี (paint remover) เป็นวิธีที่ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก ทั้งนี้ เพราะมีราคาแพง ส่วนใหญ่มักใช้กับงานใหญ่ๆ หรือลอกสีทั้งคันรถ โดยทั่วไปจะใช้แปรงทาลอกสีทิ้งไว้ระยะหนึ่ง สีจะลอกได้ง่ายโดยใช้ putty knife ขูดออก และต้องล้างน้ำยานี้ออกให้หมดก่อนทาสีใหม่ น้ำยาลอกสีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ น้ำยาลอกสีชนิดเป็นด่าง (alkaline paint remover) ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้กันมานานแล้ว และมีราคาถูก กับ น้ำยาลอกสีชนิดตัวทำละลาย (solvent paint remover)

3) การใช้ เครื่องเป่าทราย (sand blasting) สามารถใช้ได้กับงานทุกชนิด ยกเว้นแผ่นอะลูมิเนียม เป็นวิธีที่รวดเร็ว และมีประโยชน์มากในการที่จะลอกสี และขจัดสนิมออกจากชิ้นงานนั้น โดยการใช้วัสดุพวกทรายปนใส่น้ำของชิ้นงานที่จะลอกฟิล์มสีออก ทำให้ฟิล์มสีหลุดออก และผิวชิ้นงานจะขรุขระเล็กน้อย ซึ่งทำให้สีที่จะทาใหม่ติดดีขึ้น วิธีนี้อาจทำให้เกิดการฟุ้งของฝุ่น และชิ้นงานเกิดสนิมได้ง่ายแม้จะรีบทาในทันที

4) การใช้ ด่างร้อนๆ (hot caustic paint stripper) โดยการพ่นสารละลาย ด่างร้อนๆ (โซดาไฟ) ที่มีส่วนผสมของตัวลอกฟิล์มสีไปยังผิวชิ้นงานเฉพาะส่วนที่ต้องการลอก หลังจากพ่นสารละลายต่างแล้ว ให้ทิ้งไว้สักระยะหนึ่งปฏิกิริยาของด่างจะทำให้ฟิล์มสีลอกออก แล้วจึงล้างกั้วด้วยไอน้ำร้อนเพื่อล้างสารเคมีออกให้หมด มิฉะนั้นสีที่ทาใหม่จะไม่ติด แล้วจึงทาสารปรับสภาพโลหะ เพื่อป้องกันสนิม

### 3.2.2 การลงสีโป๊ว

การลงสีโป๊วมีจุดประสงค์เพื่อปกปิด หรืออุดรอยบุบ รอยขีดข่วนเล็กๆ ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ทำให้ผิวงานเรียบ หากแบ่งตามลักษณะการใช้งาน สีโป๊วรถยนต์จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สีโป๊วพลาสติก (body filler) และสีโป๊วโพลีเอสเตอร์ (polyester putty) โดยสีโป๊วโพลีเอสเตอร์จะมีลักษณะเป็นสารชั้นเหนียวมีโพลีเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) เป็นหลัก ซึ่งจะถูกทำให้แข็งตัวด้วยสารช่วยแข็ง นอกจากนี้ยังองค์ประกอบของสารเคมีอื่นๆ อีก เช่น ฟิลเลอร์ ผงสี ฯลฯ

### 3.2.3 การพ่นสีรองพื้น

การพ่นสีรองพื้นจะทำก่อนการพ่นสีทับหน้า เพื่ออุด หรือกลบรอยเล็กๆ น้อยๆ ช่วยปรับสภาพผิวงานให้เรียบ และยังช่วยในการยึดเกาะระหว่างสีพื้น และสีทับหน้า (จริง)

### 3.2.4 ประเภทของสีพ่นซ่อมรถยนต์

งานพ่นสีตัวถังรถยนต์ และส่วนประกอบต่างๆ ของชิ้นงานที่เป็นโลหะมักใช้สีพ่นรถยนต์ อยู่ 2 ประเภท คือ

1) สีพ่นรถยนต์แห้งเร็ว หรือสีแล็กเกอร์ (Lacquer) เป็นสีที่มีทินเนอร์เป็นตัวทำละลาย สีจะแห้งภายหลังจากพ่นสี 2-3 ชั่วโมง โดยการระเหยของทินเนอร์ออกจากเนื้อสี สามารถแบ่งสีประเภทนี้ออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1) สีพ่นรถยนต์แห้งเร็วประเภทไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose Lacquer) จะมีส่วนผสมของไนโตรเซลลูโลสทำให้สีแห้งเร็ว ใช้งานได้ง่าย สีผิวทนทานสวยงาม และมีราคาถูก แต่มีความเงาต่ำ ดังนั้นถ้าต้องการให้มีความเงางามเท่าสีอีนามัลจะต้องพ่นหลายครั้ง และต้องทาเคลือบคลุมผิวในชั้นสุดท้าย ทำให้เสียเวลา และสิ้นเปลืองวัสดุในการขัดเพื่อให้ได้ความเงา ชิ้นงานที่พ่นด้วยสีประเภทนี้จะเป็นรอยขีดข่วนได้ง่าย ไม่ทนต่อ UV ในแสงแดดจึงทำให้สีอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน

1.2) สีพ่นรถยนต์แห้งเร็วประเภทอะคริลิก (Acrylic Lacquer) เป็นสีที่แห้งโดยการระเหยของตัวทำละลาย สีอะคริลิกเป็นสีที่นิยมใช้มากกว่าสีแห้งเร็วประเภทไนโตรเซลลูโลส เพราะทนต่อแสง UV ได้ดี มีความต้านทานต่อความชื้น ทำให้มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า และยังสามารถซ่อมสีได้กลมกลืนเป็นอย่างดี ได้ผิวหน้าของสีที่เรียบเนียนกว่าสีแห้งเร็วประเภทไนโตรเซลลูโลส สีประเภทนี้พ่น และใช้งานได้ง่าย แต่ชิ้นงานที่ได้จะไม่ทนทานต่อสารเคมี มีความแข็งแรง และความเงางามปานกลาง ดังนั้น หากต้องการได้ชิ้นงานที่มีความเงางามมากต้องพ่นสีหลายเที่ยว

2) สีพ่นรถยนต์แห้งช้า หรือสีอีนามัล (Enamel) สีประเภทนี้จะใช้ฮาร์ดเดนเนอร์ ซึ่งเป็นสารช่วยแข็ง กับตัวทำละลาย คือ ทินเนอร์ผสมให้เจือจาง ลักษณะการแห้งของสีจะใช้ปฏิกิริยาของตัวเร่ง หรือฮาร์ดเดนเนอร์ ซึ่งมีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก ตัวทำละลายหรือสารที่ลดรูปออกซิเจนจะระเหยออกจากเนื้อสี ขั้นตอนต่อมาสีที่เหลืออยู่จะเกิดการเพิ่มรูปออกซิเจน โดยการดูดซับออกซิเจนในอากาศเข้าไปในเนื้อสีทำให้เกิดเป็นฟิล์มสีเกาะติด และเคลือบชิ้นงาน สีจะแห้งหลังจากที่พ่น ประมาณ 24 ชั่วโมง แต่จะแห้งสนิทภายใน 3 เดือน หากจะให้สีแห้งเร็วจะต้องอบด้วยความร้อนนาน 30 นาที สีพ่นรถยนต์แห้งช้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ

2.1) สีพ่นรถยนต์แห้งช้าประเภทแอลคิค (Alkyd Enamel) เป็นสีที่เมื่อพ่นเสร็จแล้วจะเกิดความเงางาม (gloss) ขึ้นเอง ซึ่งคุณภาพทางกายภาพทั่วไปจะมีความทนทานอยู่ช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น คือ ประมาณ 2-4 ปี ดังนั้นสีแอลคิคจึงเป็น Non-oxidizing ที่จัดอยู่ในประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) การพ่นสีชนิดนี้จะต้องพ่นในห้องที่ปราศจากฝุ่นละอองต่างๆ

2.2) สีพ่นรถยนต์แห้งช้าประเภทอะคริลิค (Acrylic Enamel) เป็นสีที่เติมอะคริลิค ซึ่งเป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ลงไปในส่วนสีอะคริลิกอินทรีย์ งานหลังจากการพ่นจะมีความเงามัน ความทนทานสูง และทนต่อกรด แอลกอฮอล์ น้ำมัน และละอองสารเคมี ไม่มีโคลนจับเหมือนสีอะคริลิคแล็กเกอร์ นอกจากนี้สีแห้งช้าอะคริลิค สามารถซ่อมชิ้นงานเฉพาะจุดได้ และพ่นเป็นจำนวนชั้นที่น้อยกว่าสีอะคริลิคแล็กเกอร์ ซึ่งจะพ่นประมาณ 2-3 ชั้นเท่านั้น แต่มีข้อยุ่งยากเกี่ยวกับการพ่นสี คือ บริเวณห้องพ่นสีจะต้องปราศจากฝุ่น และจะต้องพ่นแล็กเกอร์ เพื่อเป็นการเคลือบเงาในขั้นสุดท้าย

2.3) สีพ่นรถยนต์แห้งช้าประเภทโพลียูรีเทน (Polyurethane Enamel) เป็นสีที่มีส่วนผสมของแล็กเกอร์ ทำให้ไม่ต้องพ่นแล็กเกอร์ เพื่อเคลือบเงาในขั้นสุดท้าย สีประเภทนี้นิยมใช้กับงานพ่นสีที่ต้องการฟิล์มสีที่แข็งแรงทนทาน ชัดจางยาก มีความเงาสูง ทนต่อสารเคมี น้ำมันเบรค ความร้อน และการกัดกร่อนได้ดี เนื่องจากสีชนิดนี้มีเนื้อสีมาก การปิดเกาะดี จึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น ใช้พ่นสีรถบรรทุกสิบล้อ และตู้คอนเทนเนอร์ ส่วนการพ่นสีต้องพ่นในห้องที่ปราศจากฝุ่น ซึ่งชิ้นงานที่ได้จะมีคุณภาพสูง และง่ายต่อการทำความสะอาด แต่มีข้อเสีย คือ การซ่อมชิ้นงาน จะต้องซ่อมทั้งชิ้นงาน ไม่สามารถซ่อมเฉพาะจุดได้ และมีราคาแพงกว่าสีพ่นรถยนต์แห้งช้าประเภทอะคริลิค

สีประเภทต่างๆ ดังกล่าวมาข้างต้น มีองค์ประกอบที่มีความสำคัญ ดังต่อไปนี้

1) ผงสี (Pigment) มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีคุณสมบัติเป็นตัวให้สี และมีความสามารถในการปิดบังหรือกำลัแสงพื้นผิวที่อยู่ใต้สี (hiding power) นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการทนทาน (Durability) แก่สีที่พ่นลงไป ผงสีอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ก็ได้

2) กาว หรือ สารยึด (Binder) สำหรับใช้ในงานพ่นสีรถยนต์นั้นจะมีสีต่างๆ กันตั้งแต่ของเหลวใสจนถึงสีเหลืองแก่เป็นยางเหนียว เป็นสารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสีเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นฟิล์มของสีเกาะติดแน่นกับพื้นผิวโลหะที่ถูกเคลือบ และยังทำให้



เกิดความเงางาม ความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพแวดล้อม ตัวอย่างของสารยึด ได้แก่ เรซินธรรมชาติ หรือเรซินสังเคราะห์ เช่น อะคริลิก โพลียูรีเทน (Polyurethane) และอีพอกซีเรซิน โดยอะคริลิก และ โพลียูรีเทนใช้กับขบวนการพาทนต่างๆ ส่วนอีพอกซีเรซินใช้กับการเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กที่ทำงานหนัก พาทนพาทน และ การต้านทานทางเคมี

3) สารละลาย (Solvent) มีหน้าที่ช่วยปรับความหนืดของสีเพื่อให้สะดวกต่อ การใช้ กล่าวคือ ช่วยให้เนื้อสี และ กาวผสมกันดี ได้รับความข้นเหลวของสีประเภทนั้นๆ ตามต้องการ หลังจากพ่นสีเสร็จแล้ว ตัวทำละลายจะระเหยกลายเป็นไอ ทั้งเนื้อสี และ กาวเกาะแข็งตัวติดกับชิ้นงาน กลายเป็นชั้นสีที่แห้ง ตัวทำละลายที่ใช้ผสมกับสีแล็กเกอร์ คือ ทินเนอร์ ส่วนฮาร์ดเดนเนอร์ และ ทินเนอร์ ใช้ผสมกับสีอีนาเมล ซึ่งตัวทำละลายที่สำคัญในทินเนอร์ และ ฮาร์ดเดนเนอร์ คือ โทลูอีน ไชลีน เอทิลอะซิเตต และ เอทิลเบนซีน

4) สารเติมแต่งพิเศษ (Additives) เป็นสารที่เติมเข้าไปในเนื้อสีเพียงเล็กน้อย เพื่อให้สีมีคุณสมบัติต่างๆ เพิ่มเติม เช่น สารป้องกันความชื้น และ เชื้อรา สารที่ทำให้สีแห้งเร็วขึ้น ตัวพลาสติกไซเซอร์ หรือ สารหน่วงเปลวไฟ และ สารป้องกันการตกตะกอน (antisetting agents)

### 3.2.5 การพ่นสี

การพ่นสีมักทำในห้องพ่นสีโดยเฉพาะ เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นเกาะติดผิวชิ้นงาน หรือ ไปยุ่งเกี่ยวกับงานอื่นๆ ในขณะที่สียังไม่แห้ง มักเป็นห้องมิดชิดที่ปิดโดยรอบ และ แยกจากงาน ส่วนอื่น โครงสร้างจะประกอบด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันอันตรายจากไฟไหม้ได้ เช่น เหล็กชุบสังกะสี เนื่องจากอุณหภูมิขณะพ่นสีประมาณ  $32^{\circ}\text{C}$  ไอระเหยที่เกิดมักจะติดไฟได้ดี ส่วนในห้องพ่นสีจะต้องมี ระบบควบคุมอากาศเสีย ได้แก่ พัดลมระบายอากาศและชุดกรองอากาศ เพื่อลดระบายนกลิ่นและไอระเหย ที่เกิดจากการพ่นสี การพ่นสีในที่โล่งอาจก่อให้เกิดไฟลุกไหม้ได้ง่าย ดังนั้นควรจะทำการพ่นสีในห้องพ่นสี เท่านั้น เพื่อเป็นการลดอันตรายที่เกิดจากไฟไหม้ ทำให้บรรยากาศในห้องพ่นสีดี ลดการเจ็บป่วย เนื่องจากการสูดหายใจเอาฝุ่น หรือ ไอระเหยของโทลูอีน และ ไชลีนเข้าสู่ร่างกาย การพ่นสีในห้องพ่นสี นอกจากจะช่วยให้สุขภาพของคนงานดีแล้ว ยังทำให้การทำงาน และ ชิ้นงานมีคุณภาพอีกด้วย

ห้องพ่นสีอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) Water-Wash Spray Booths อากาศที่ปนเปื้อนฝุ่น และละอองสีจะถูกดูดผ่านม่านน้ำก่อนปล่อยอากาศออกจากห้องพ่นสี โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น (particulate) ประมาณ 99% แม้ว่าห้องพ่นสีประเภทนี้จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้น้อย แต่จะต้องติดตั้งระบบ sprinkler เพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้ และหลังจากใช้ห้องพ่นสีนี้ไประยะหนึ่ง จะต้องมีการกำจัดน้ำ และ paint sludge ออกจากน้ำที่ผ่านการใช้แล้ว เพื่อเป็นการป้องกันท่อน้ำอุดตัน ทำให้ห้องพ่นสีประเภทนี้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และเดินระบบสูง

2) Dry Filter Spray Booths อากาศภายนอกจะถูกดูดเข้ามาในห้องพ่นสี โดยผ่านระบบกรองอากาศที่ดูดกรองอากาศที่ถูกดูดเข้า ส่วนอากาศที่ปนเปื้อนมลสาร เช่น ฝุ่น โทลูอิน และไซลีน จะถูกระบายผ่านชุดกรองอากาศที่ถูกดูดออก ก่อนปล่อยออกสู่ภายนอกห้องพ่นสี ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้น้อย สำหรับสารตัวกรองนั้นโดยทั่วไปจะเป็นพวก โยแคว์ กระดาษ หรือ ถ่านกรอง (Active charcoal filter) ประมาณ 80% ของสถานประกอบการเกี่ยวกับการพ่นสีรถยนต์ จะเป็นห้องพ่นสีประเภทนี้ เพราะในช่วงหลายปีที่ผ่านมาสถานประกอบการจำนวนมากได้เปลี่ยนมาใช้ห้องพ่นสีประเภทนี้แทนห้องพ่นสีประเภท Water-Wash Spray Booths เนื่องจาก ห้องพ่นสีประเภท Water-Wash Spray Booths มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และการจัดการของเสียอันตรายมากกว่า สำหรับห้องพ่นสีประเภท Dry Filter Booths นี้จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น (particulate) ประมาณ 95-99%

3) Baffle Booths บริเวณส่วนหลังของห้องพ่นสีประเภทนี้จะมีแผ่นเหล็ก ขนาดความกว้างหลายนิ้ววางซ้อนเหลื่อมกันตลอดความสูงของห้องพ่นสี เมื่ออากาศถูกดูดผ่านเข้าห้องพ่นสีจนกระทั่งไปถึงบริเวณส่วนหลังสุดของห้องพ่นสี ฝุ่น และละอองสีก็จะตกลงใส่รางเก็บ ซึ่งทางสถานประกอบการสามารถรวบรวมละอองสีเหล่านี้กลับไปใช้ใหม่ได้ สถานประกอบการต่างๆ จะมีการใช้ห้องพ่นสีประเภทนี้น้อยกว่าสองประเภทแรก เพราะหากว่าสถานประกอบการไม่ต้องการนำสีกลับไปใช้ใหม่ การใช้ห้องพ่นสีประเภทนี้ก็ไม่มีประโยชน์

โดยทั่วไปห้องพ่นสีควรมีขนาดที่เหมาะสม มีระบบระบายอากาศ แสงสว่าง และประตูทางเข้าทางออกเพียงพอ ควรมีพื้น ผนัง และเพดานที่เรียบร้อย และเลือกใช้วัสดุที่ป้องกันไม่ให้ฝุ่นเกาะติด ป้องกันการลุกติดไฟ เช่น ไฟเบอร์กลาสกันความร้อน นอกจากนี้อากาศในห้องพ่นสีควรผ่านชุดกรองอากาศ หรืออุปกรณ์ฟอกอากาศก่อนระบายออกสู่ภายนอก หรือหมุนเวียนเข้าสู่ห้องพ่นสี ชุดกรองอากาศควรทำความสะอาด และเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เพราะหากอุดตันจะทำให้พัดลมดูดอากาศทำงานหนักขึ้นอาจเป็นอันตรายจากไฟไหม้ พัดลมที่ใช้ควรทำความสะอาด และซ่อมบำรุงอยู่เสมอ

ระบบแสงสว่างควรใช้อุปกรณ์ที่ไม่ก่อให้เกิดการติดไฟ หรือการระเบิด เช่น ระบบไฟฟ้า และหลอด  
ประกายไฟ

### 3.2.6 การอบชิ้นงานที่พ่นสี

ก่อนจะนำชิ้นงานไปอบ ควรจะปล่อยให้ชิ้นงานที่ผ่านการพ่นสีพักตัวสักกระยะ  
หนึ่งประมาณ 10-15 นาที เพื่อช่วยให้ตัวทำละลายบางส่วนระเหยออกมา และช่วยให้การแห้งของสี  
เป็นไปอย่างรวดเร็ว

อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบมีหลายชนิด ตั้งแต่การใช้หลอดไฟอินฟราเรดที่เป็น  
หลอดเดี่ยวๆ หรือแผงหลอดไฟเป็นชุดๆ การอบอาจจะทำในห้องพ่นสีโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 60 °C  
หรือจะแยกไปทำในห้องที่ทำไว้เพื่อการอบสีโดยเฉพาะ ในบริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อจะได้ทำงานอย่าง  
ต่อเนื่องกัน เวลาที่ใช้ในการอบสีขึ้นอยู่กับชนิดของสีที่ใช้พ่น สัดส่วนในการผสมสี และขนาดของชิ้นงาน  
ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เวลาในการอบสีประมาณ 30-60 นาที

สีที่ใช้ในการพ่น เช่น สีแล็กเกอร์ มักจะอบแห้งโดยการระเหยของตัวทำ  
ละลายต่างๆ อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบดังกล่าวมักจะใช้การแผ่รังสีความร้อนโดยใช้ระบบไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ  
อินฟราเรด หรือการทำความร้อนโดยการหมุนเวียนอากาศที่มีความร้อนขณะอบสี เพื่อเป็นการประหยัด  
พลังงาน