กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

# คู่มือ

## แนวปฏิบัติที่ดีและการควบคุม
## การระบายสารอินทรีย์ระเหย
## สำหรับอุตสาหกรรมการพิมพ์

# คำนำ

คู่มือแนวปฏิบัติที่ดีและการควบคุมการระบายสารอินทรีย์ระเหยสำหรับอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินโครงการจัดทำมาตรการควบคุมการระบายสารอินทรีย์จากโรงงานที่มีการใช้สารอินทรีย์ระเหยในปริมาณมาก (ภายใต้ค่าใช้จ่ายการจัดทำมาตรการควบคุมการระบายสารอินทรีย์ระเหยจากโรงงานที่มีการใช้สารอินทรีย์ระเหยในปริมาณมากของกรมโรงงานอุตสาหกรรม) ซึ่งได้มอบหมายให้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นผู้ดำเนินการศึกษาและจัดทำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมมีแนวทางในการควบคุมและลดการระบายสารอินทรีย์ระเหยออกสู่บรรยากาศอันจะนำไปสู่การลดและป้องกันความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยคู่มือฉบับนี้ครอบคลุมเนื้อหาในด้านต่างๆ ได้แก่ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารอินทรีย์ระเหย แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหย การควบคุมสารอินทรีย์ระเหยจากวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ระบบการจัดการที่ดี และระบบรวบรวม บำบัด และกำจัดสารอินทรีย์ระเหยจากโรงงานอุตสาหกรรมการพิมพ์

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้ประกอบการโรงงานจากกลุ่มอุตสาหกรรมการพิมพ์ต่างๆจะสามารถนำคู่มือฉบับนี้ไปปรับใช้เป็นแนวทางในการจัดการควบคุมและลดการระบายสารอินทรีย์ระเหยออกสู่บรรยากาศได้

**ทั้งนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำ ขออภัย ณ โอกาสนี้**

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ


**บทที่ 1 บทนำอุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ 3**

1.1 โครงสร้างอุตสาหกรรม 4

1.2 ประเภทของระบบการพิมพ์โดยใช้เกณฑ์หลักการการทำงาน 6

1.3 คำจำกัดความของสารอินทรีย์ระเหย 14

1.4 กระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหย 15

1.5 ความเป็นอันตรายและผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหย 18

**บทที่ 2 การป้องกันมลพิษด้วยการควบคุมและการจัดการที่ดี 39**

2.1 การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด 46

- การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ 42
- การปรับปรุงอุปกรณ์และเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต 56
- การจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี 64

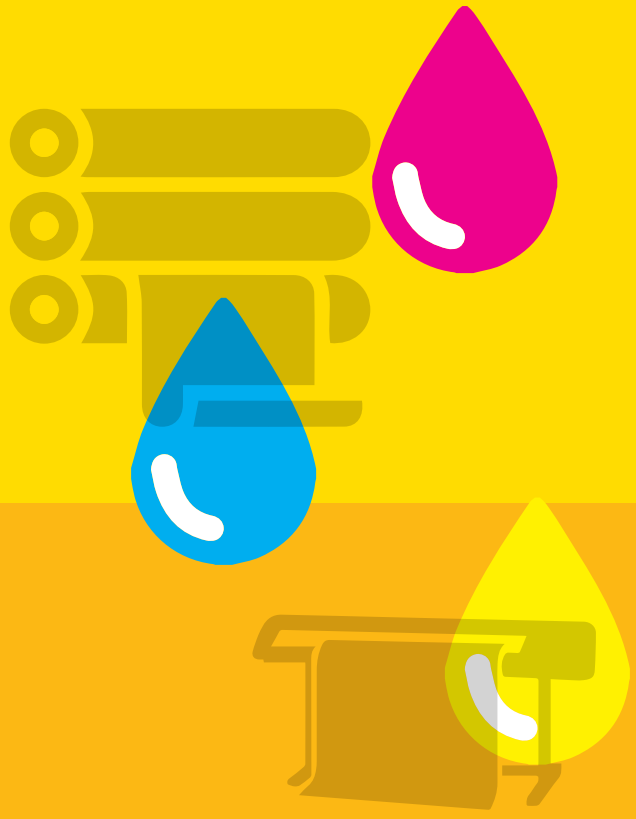
**บทที่ 3 ระบบรวบรวม บำบัด และกำจัดสารอินทรีย์ระเหย 67**

3.1 ระบบรวบรวมและบำบัดสารอินทรีย์ระเหย 68

3.2 ระบบกำจัดสารอินทรีย์ระเหย 71

บทที่ 1

# บทนำ : อุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์



อุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทย มีมูลค่าตลาดรวมกว่า 3 แสนล้านบาทต่อปี (เฉพาะบรรจุภัณฑ์กระดาษ) โดยแยกเป็นธุรกิจบรรจุภัณฑ์ประมาณ 1.8 แสนล้านบาท และธุรกิจสิ่งพิมพ์มูลค่าประมาณ 1.2 แสนล้านบาท[1]

## 1.1 โครงสร้างอุตสาหกรรม[2]

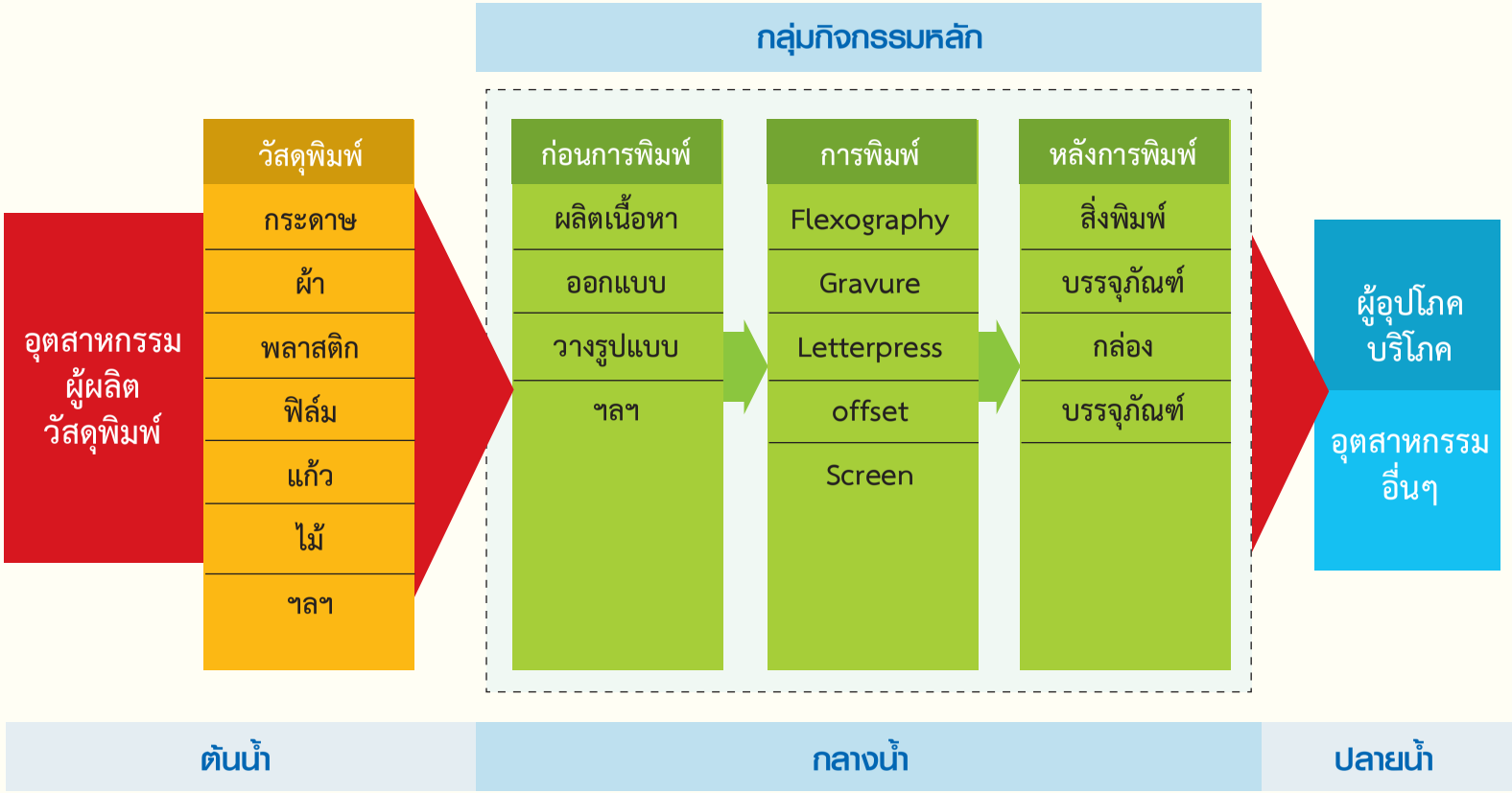
ในภาพรวมของอุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ มีห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) คือ อุตสาหกรรมการผลิตวัสดุพิมพ์ เช่น กระดาษ ผ้า พลาสติก ฟิล์ม แก้ว ฯลฯ เป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ ดังรูป 1-1

ส่วนอุตสาหกรรมกลางน้ำเป็นกลุ่มกิจกรรมหลักในอุตสาหกรรมการพิมพ์ แบ่งเป็น 3 กิจกรรม คือ

- **ก่อนการพิมพ์ (Pre-Press)** คือ ขั้นผลิตเนื้อหา ข้อมูล ออกแบบ วางรูปแบบของสิ่งพิมพ์
- **การพิมพ์ (Press)** แบ่งเป็นหลายระบบการพิมพ์ เช่น
  - การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography Printing)
  - การพิมพ์กราวัวร์ (Gravure Printing)
  - การพิมพ์เลตเตอร์เพรสส์ (Letterpress Printing)
  - การพิมพ์ออฟเซ็ท (Offset Printing)
  - การพิมพ์สกรีน (Screen Printing)
- **หลังการพิมพ์ (Post Press)** คือ ขั้นตอนการ Finishing เช่น การเคลือบสี ขัดเงา เข้าเล่ม จัดรูปเล่ม บรรจุหีบห่อ ได้ผลผลิตออกเป็น 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ คือ
  - สิ่งพิมพ์
  - บรรจุภัณฑ์
  - กล่องบรรจุภัณฑ์

1 บรรจุภัณฑ์และการพิมพ์ ปรับตัวไว รอดได้แน่. ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. [ออนไลน์]. มิถุนายน 2560. แหล่งที่มา: https://www.kasikornbank.com/th/business/sme/KSMEKnowledge/article/KSMEAnalysis/Documents/Packaging-Printing_FullPage.pdf. [15 มกราคม 2561]

2 กรมพัฒนาธุรกิจการค้า. การศึกษาโครงสร้างธุรกิจและโอกาสทางการตลาดธุรกิจการพิมพ์. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา: http://www.dbd.go.th/download/doc/9Business_p.doc [15 มกราคม 2561]




**รูปที่ 1-1** โครงสร้างอุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์[3]

3 (คัดแปลงจาก) กรมพัฒนาธุรกิจการค้า. การศึกษาโครงสร้างธุรกิจและโอกาสทางการตลาดธุรกิจการพิมพ์. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา: http://www.dbd.go.th/download/doc/9Business_p.doc [15 มกราคม 2561]

ส่วนอุตสาหกรรมปลายน้ำ คือการส่งต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกิจกรรมการพิมพ์หลัก ไปสู่ผู้อุปโภคโดยตรง (End Users) หรือส่งต่อให้กับภาคอุตสาหกรรมหรือธุรกิจอื่นๆ เพื่อนำไปใช้ต่อไป

## ประเภทของระบบการพิมพ์โดยใช้เกณฑ์หลักการการทำงาน

การแบ่งประเภทระบบการพิมพ์โดยใช้หลักการทำงานเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งประเภทการพิมพ์เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ระบบการพิมพ์คอนเวนชั่นแนล (Conventional printing system) และระบบการพิมพ์แบบไม่สัมผัส (Non-impact printing system)

### › ระบบการพิมพ์คอนเวนชั่นแนล (Conventional printing system)

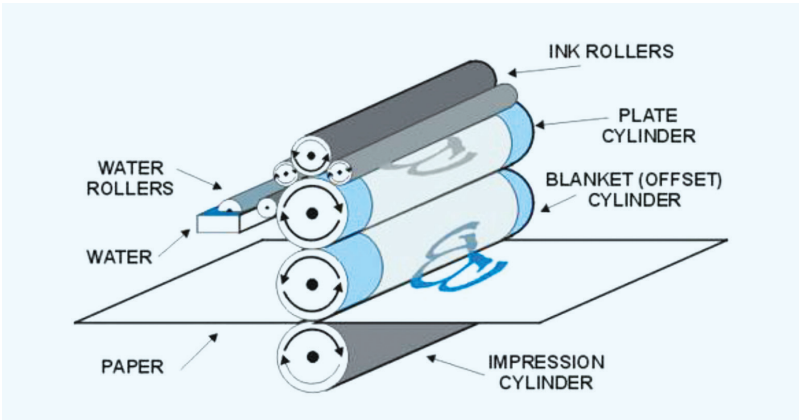
ระบบการพิมพ์คอนเวนชั่นแนลเป็นระบบการพิมพ์ที่ต้องมีแม่พิมพ์ และแรงกดพิมพ์ช่วยถ่ายโอนหมึก โดยตัวอย่างระบบพิมพ์คอนเวนชั่นแนล ได้แก่

- การพิมพ์แบบออฟเซต (Offset lithography)
- การพิมพ์แบบเล็ตเตอร์เพลส (Letterpress)
- การพิมพ์แบบดรายออฟเซต (Dry offset)
- การพิมพ์แบบเฟล็กโซกราฟี (Flexography)
- การพิมพ์แบบกราวัวร์ (Gravure)
- การพิมพ์แบบสกรีน (Screen)

#### 1) การพิมพ์แบบออฟเซต (Offset lithography)

ระบบการพิมพ์แบบออฟเซตเป็นระบบการพิมพ์ที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด เป็นระบบการพิมพ์ที่แม่พิมพ์ต้องถ่ายโอนภาพ (Image) ลงบนผ้ายางก่อน (Blanket) แล้วจึงถ่ายโอนต่อลงบนวัสดุใช้พิมพ์ด้วยแรงกดของโมลกดพิมพ์ (Impression cylinder) โดยแม่พิมพ์ในการพิมพ์แบบออฟเซตมีลักษณะนูน ซึ่งตัวอย่างงานพิมพ์แบบออฟเซต เช่น แผ่นพับ ใบปลิว หนังสือ วารสาร นิตยสาร และงานพิมพ์ในสำนักงาน เป็นต้น

โดยทั่วไปต้องทำความสะอาดลูกกลิ้งผ้ายางเพื่อขจัดคราบสกปรกต่างๆ เช่น ฝุ่นจากกระดาษ หมึกพิมพ์ ด้วยตัวทำละลายหลายชนิด นอกจากนี้เมื่อเสร็จสิ้นการพิมพ์ในแต่ละครั้งต้องทำความสะอาดลูกกลิ้งหมึก (Ink roller) ด้วยตัวทำละลาย เช่น ทินเนอร์




**รูปที่ 1-2** การพิมพ์แบบออฟเซต
*(ที่มา: Savanah Design, 2009)*

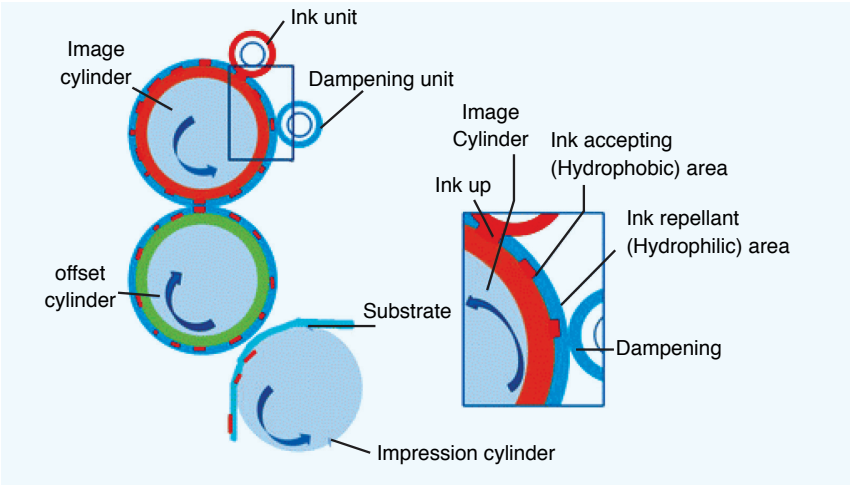
### 2) การพิมพ์แบบเล็ตเตอร์เพลส (Letterpress)

การพิมพ์แบบเล็ตเตอร์เพลสเป็นการพิมพ์มีการถ่ายทอดหมึกจากแม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นพื้นนูนและมีโลหะเป็นองค์ประกอบไปยังวัสดุที่ใช้พิมพ์โดยตรง ซึ่งต้องใช้แรงกดแท่นพิมพ์มาก โดยการพิมพ์แบบเล็ตเตอร์เพลสไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากการทำบล็อคแม่พิมพ์โลหะในขั้นตอนการกัดบล็อคมีความยุ่งยาก และนอกจากนี้ภาพพิมพ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงเลือกใช้การพิมพ์แบบออฟเซตซึ่งเป็นระบบที่มีความคล่องตัวและได้ภาพพิมพ์ที่มีคุณภาพดีกว่า แต่เนื่องจากการพิมพ์แบบเล็ตเตอร์เพลสมีต้นทุนต่ำสามารถดำเนินการด้วยระบบครอบครัวได้ ดังนั้นจึงยังมีความสำคัญในอุตสาหกรรมการพิมพ์ในประเทศไทย ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงแม่พิมพ์ โดยได้นำเทคโนโลยีแม่พิมพ์พอลิเมอร์ไวแสงเข้ามาใช้เพื่อทดแทนแม่พิมพ์โลหะ ซึ่งอาศัยหลักการฉายแสงผ่านฟิล์มต้นฉบับเนกาทีฟให้ส่วนถูกแสงแข็งตัว และล้างส่วนที่ไม่ถูกแสงออกไป ส่งผลให้งานพิมพ์มีคุณภาพสูงขึ้น โดยตัวอย่างงานพิมพ์แบบเล็ตเตอร์เพลส เช่น นามบัตร แบบฟอร์ม ฉลาก กล่อง ป้าย และงานพิมพ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการความละเอียดมาก

### 3) การพิมพ์แบบดรายออฟเซต (Dry offset)

การพิมพ์แบบดรายออฟเซตหรือออฟเซตแห้ง เป็นระบบการพิมพ์ที่รวมหลักการการพิมพ์แบบออฟเซตกับการพิมพ์แบบเล็ตเตอร์เข้าด้วยกัน โดยมีหลักการทำงานดังนี้ แม่พิมพ์นูนที่มีสมบัติหยุ่นตัวถ่ายทอดหมึกพิมพ์ผ่านผ้ายางแล้วจึงถ่ายโอนต่อลงบนวัสดุพิมพ์ และนอกจากนี้การพิมพ์ดรายออฟเซตไม่จำเป็นต้องมีระบบทำชื้น ซึ่งตัวอย่าง

งานพิมพ์แบบดรายออฟเซต เช่น กล่อง ฉลาก แบบฟอร์มคอมพิวเตอร์ และงานพิมพ์บนโลหะ



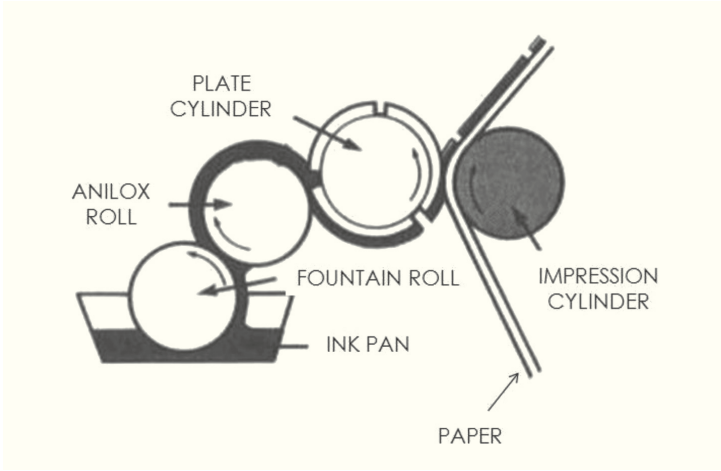

**รูปที่ 1-3** การพิมพ์แบบดรายออฟเซต

*(ที่มา: Karve, 2016)*

### 4) การพิมพ์แบบเฟล็กโซกราฟี (Flexography)

การพิมพ์แบบเฟล็กโซกราฟีประกอบด้วยระบบจ่ายและควบคุมหมึก โดยมีลูกกลิ้ง 2 ลูก (Two-roll system) คือลูกกลิ้งรางหมึกที่ผิวมีลักษณะเป็นร่องลึกทำมาจากยางและลูกกลิ้งแอนนิลอก (anilox roll) ที่ทำด้วยโลหะเคลือบด้วยโรมหรือเซรามิก โดยลูกกลิ้งแอนนิลอกจะถ่ายทอดหมึกไปให้ลูกกลิ้งที่มีแม่พิมพ์ยางหุ้ม ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นนูน ทำมาจากยางสังเคราะห์ ซึ่งมีความทนทานสามารถรองรับหมึกได้ดีทั้งหมึกพิมพ์ฐานน้ำและหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายจากนั้นแม่พิมพ์จะถ่ายทอดหมึกลงบนผิวของวัสดุที่ใช้พิมพ์ โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้ในการพิมพ์แบบเฟล็กโซกราฟีส่วนใหญ่ต้องมีคุณสมบัติที่แห้งเร็ว หรือเป็นชนิดที่มีส่วนผสมของตัวทำละลายสูง (Highly fluid quick drying) จึงสามารถพิมพ์บนพื้นผิวกระดาษบาง และพื้นผิวพลาสติกได้ ตัวอย่างงานพิมพ์แบบเฟล็กโซกราฟี เช่น กล่องกระดาษลูกฟูก ถุงกระดาษ กล่องนม ถุงและซองพลาสติก เป็นต้น

ภายหลังจากการพิมพ์ในแต่ละครั้งต้องทำความสะอาดลูกกลิ้งทั้งหมด ทั้งแอนนิลอกและแม่พิมพ์ยาง ด้วยตัวทำละลาย ที่มีคุณสมบัติในการทำละลายใกล้เคียงกับชนิดของหมึกที่ใช้

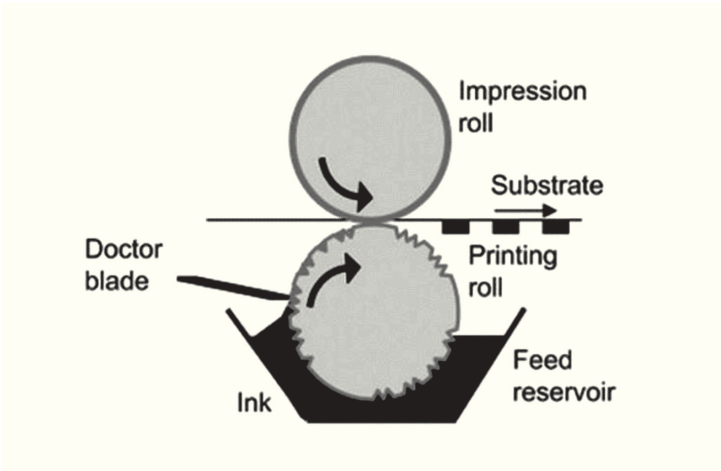



**รูปที่ 1-4** การพิมพ์แบบเฟล็กโซกราฟีแบบใช้ลูกกลิ้ง 2 ลูก

*(ที่มา: Uflex, 2017)*

### 5) การพิมพ์แบบกราวัวร์ (Gravure)

การพิมพ์แบบกราวัวร์เป็นการพิมพ์ร่องลึก โดยหน่วยการพิมพ์ประกอบด้วยแม่พิมพ์ทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นร่องลึกเพื่อเก็บหมึกแล้วถ่ายเทลงบนผิวของวัสดุที่ใช้พิมพ์โดยตรง ซึ่งแม่พิมพ์ทำมาจากเหล็กเคลือบผิวด้วยทองแดงและโครเมี่ยม และอาจมีมีดปาดหมึกส่วนเกินที่ผิวแม่พิมพ์ โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้เป็นหมึกพิมพ์เหลวฐานตัวทำละลาย ซึ่งสามารถพิมพ์ได้บนวัสดุหลายชนิด เช่น กระดาษ พลาสติก และฟอยล์ เป็นต้น




**รูปที่ 1-5** การพิมพ์แบบระบบกราวัวร์

*(ที่มา: Kopola et al., 2010)*

### 6) การพิมพ์แบบสกรีน (Screen)

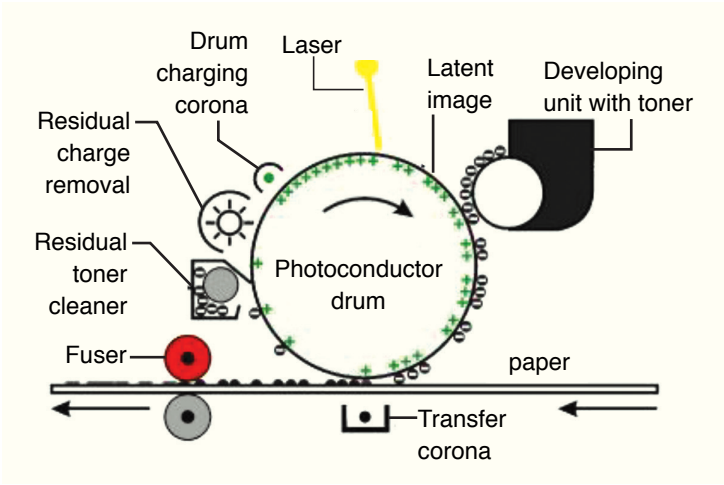
การพิมพ์แบบสกรีนใช้หลักการให้หมึกซึมทะลุผ่านแม่พิมพ์ โดยกำหนดให้ทะลุผ่านเฉพาะส่วนที่ต้องการให้เกิดภาพ ซึ่งแม่พิมพ์มีลักษณะเป็นฉลุซึ่งมีขนาดช่องว่างสม่ำเสมอ โดยแม่พิมพ์เป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญที่สุดของระบบการพิมพ์แบบสกรีน เนื่องจากทำหน้าที่ควบคุมการไหล การเกาะติด และปริมาณการถ่ายทอดของหมึกพิมพ์บนบล๊อกสกรีน ซึ่งหมึกจะไหลผ่านรู แม่พิมพ์สกรีนที่ดีสามารถช่วยควบคุมการพิมพ์เหลื่อม ความคมชัด น้ำหนักสีบนภาพ และความสม่ำเสมอของคุณภาพงาน

## ❯ ระบบการพิมพ์ไม่สัมผัส (Non-impact printing system)

ระบบการพิมพ์ไม่สัมผัสเป็นระบบการพิมพ์ที่ไม่จำเป็นต้องมีแม่พิมพ์ โดยการสร้างภาพใช้หลักการทางเคมี ไฟฟ้า แม่เหล็กหรือแสงแทนการใช้แรงกดพิมพ์ และนอกจากนี้การพิมพ์ไม่สัมผัสสามารถรับข้อมูลที่เป็นดิจิทัลได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการแก้ไขข้อมูลได้ตลอดเวลา โดยตัวอย่างของระบบการพิมพ์ไม่สัมผัส ได้แก่ การพิมพ์แบบอิเล็กทรอโฟโตกราฟี (Electrophotography) การพิมพ์แบบอิงค์เจ็ต (Ink jet) การพิมพ์แบบถ่ายโอนความร้อน (Thermal transfer process) การพิมพ์แบบแมกเนโทกราฟี (Magnetography) และการพิมพ์แบบอิเล็กทรอสตาติก (Electrostatic)

### 1) การพิมพ์แบบอิเล็กทรอโฟโตกราฟี (Electrophotography)

การพิมพ์แบบอิเล็กทรอโฟโตกราฟีมีหลักการทำงานดังนี้ ชาร์จประจุไฟฟ้าไปบนผิวโมลโฟโต้คอนดัคเตอร์ก่อน (Photo-conductor drum) แล้วฉายแสงกราดไปที่ผิวนั้นเพื่อให้เกิดภาพแฝง จากนั้นสร้างภาพด้วยการให้หมึกผง (Toner) ที่มีประจุไปเกาะบริเวณภาพ แล้วถ่ายโอนไปสู่กระดาษ ขั้นตอนสุดท้ายหมึกผงจะถูกทำให้ละลายติดแน่นบนผิวกระดาษด้วยการให้ความร้อนและแรงกด

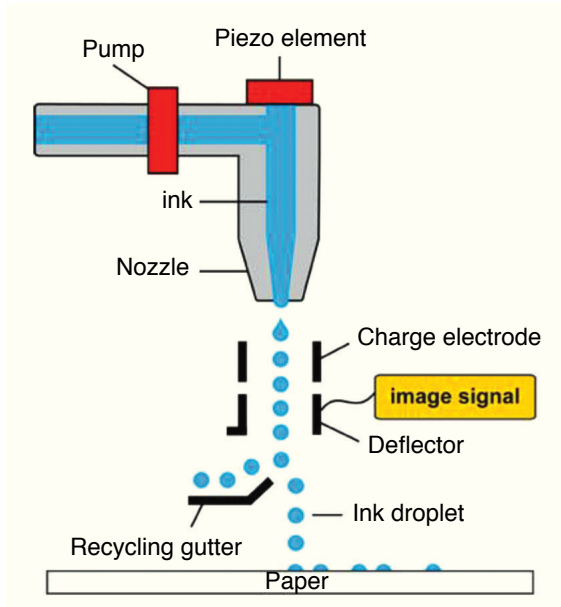



**รูปที่ 1-6** การพิมพ์แบบอิเล็กทรอโฟโตกราฟี

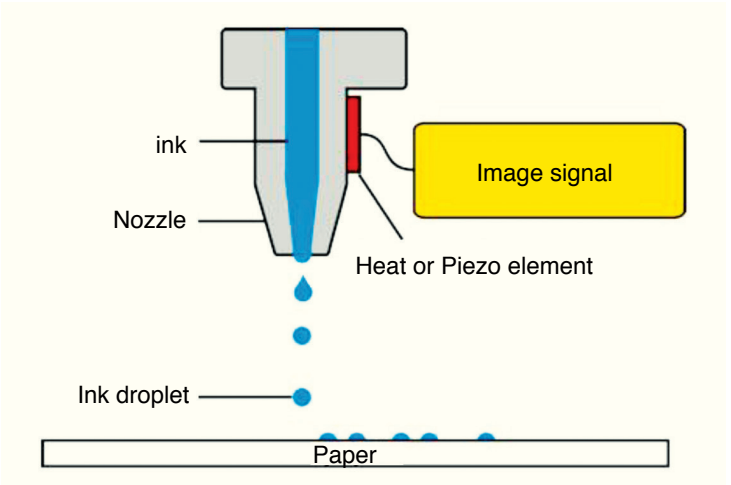
*(ที่มา: Image Permanence Institute and Rochester Institute of Technology, 2018)*

## 2) การพิมพ์แบบอิงค์เจ็ต (Ink jet)

การพิมพ์แบบอิงค์เจ็ตหรือแบบพ่นหมึกมีหลักการทำงานดังนี้ มีการพ่นหมึกหยดเล็กๆ ลงบนกระดาษ โดยหยดหมึกนี้จะมีขนาดเล็ก เมื่อนำมาประกอบกันจะทำให้ได้อักษรหรือภาพตามความต้องการ โดยรูปแบบการพ่นหมึกสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ การพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง (Continuous type) และการพ่นหมึกทีละหยด (Drop-on-demand หรือ DOD ink jet)




**รูปที่ 1-7** การพิมพ์แบบอิงค์เจ็ตโดยการพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง
*(ที่มา: Image Permanence Institute and Rochester Institute of Technology, 2018)*

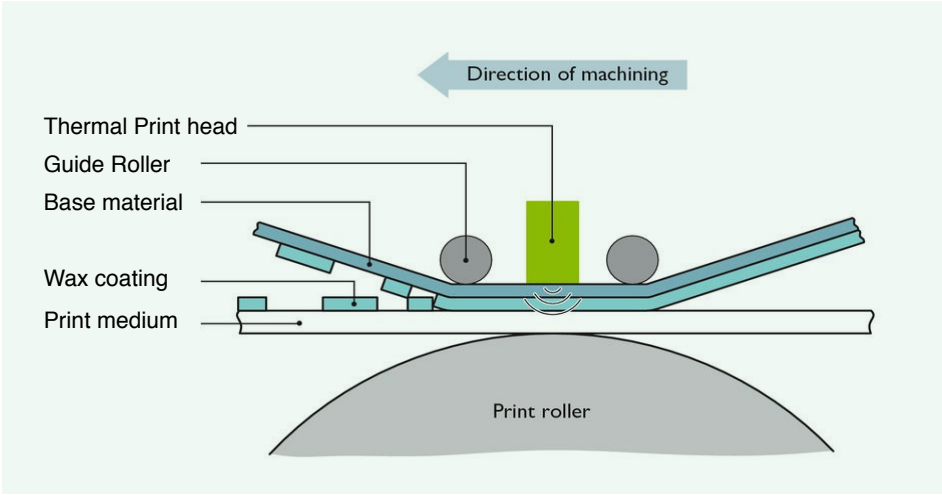



**รูปที่ 1-8** การพิมพ์แบบอิงค์เจ็ตโดยการพ่นหมึกแบบทีละหยด

*(ที่มา: Image Permanence Institute and Rochester Institute of Technology, 2018)*

### 3) การพิมพ์แบบถ่ายโอนความร้อน (Thermal transfer process)

เครื่องพิมพ์ที่ใช้พิมพ์แบบถ่ายโอนความร้อนถูกออกแบบให้หัวมีความร้อนลักษณะเป็นจุดภาพเรียงตัวกันเป็นแผง โดยความร้อนจะถ่ายโอนผ่านแถบหมึก (Ink ribbon) ซึ่งการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องพิมพ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบได้แก่ เครื่องพิมพ์ถ่ายโอนความร้อน (Thermal transfer printer) โดยความร้อนจะถูกถ่ายโอนผ่านสี หลังจากนั้นสีย้อมที่เคลือบอยู่จะละลายและเคลื่อนตัวไปเกาะติดที่ผิวกระดาษพิมพ์ และเครื่องพิมพ์แบบใช้ความร้อนระเหิดสีย้อม (Dry sublimation thermal printer) โดยถ่ายโอนความร้อนผ่านสี แต่สารสีไม่สามารถละลายได้ ดังนั้นจึงเกิดการระเหิดเป็นไอ สำหรับหมึกที่ใช้ในการพิมพ์แบบถ่ายโอนความร้อน ได้มีการนำหมึกชนิดแวกซ์มาใช้ ซึ่งเป็นหมึกที่มีสมบัติไวต่อความร้อนและถ่ายโอนไปติดบนผิวกระดาษทันที โดยไม่ซึมลงในผิวกระดาษ ส่งผลให้การพิมพ์ภาพมีคุณภาพสูง มีสีสัน แต่อัตราการพิมพ์ช้า




**รูปที่ 1-9** การพิมพ์แบบถ่ายโอนความร้อน

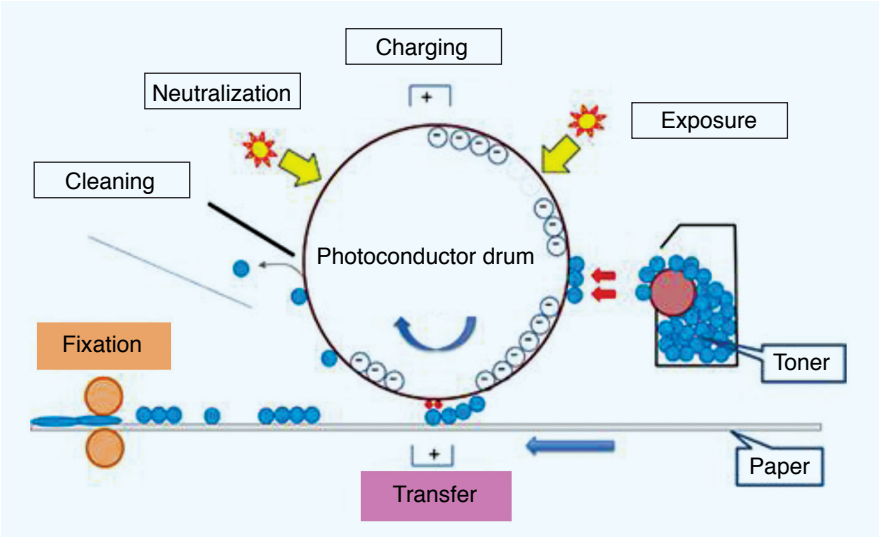
*(ที่มา: Phoenix contact)*

### 4) การพิมพ์แบบแมกเนโตกราฟี (Magnetography)

การพิมพ์แบบแมกโนโตกราฟีมีหลักการทำงานคล้ายกับการพิมพ์แบบอิเล็กทรอ-โฟโตกราฟี โดยชาร์จประจุไฟฟ้าไปบนผิวโมโฟโต้คอนดัคเตอร์ก่อน (Photo-conductor drum) แล้วฉายแสงกราดไปที่ผิวนั้น เพื่อให้เกิดภาพแฝงซึ่งภาพแฝงที่เกิดขึ้นจะเป็นภาพแฝงแม่เหล็ก จากนั้นสร้างภาพด้วยการให้หมึกผง (Toner) ที่มีประจุไปเกาะบริเวณภาพแล้วถ่ายโอนไปสู่กระดาษ ขั้นตอนสุดท้ายหมึกผงจะถูกทำให้ละลายติดแน่นบนผิวกระดาษด้วยการให้ความร้อนและแรงกด ซึ่งสารสีที่ใช้มีสมบัติเป็นแม่เหล็กด้วย

### 5) การพิมพ์แบบอิเล็กทรอสตาติก (Electrostatic)

การพิมพ์แบบอิเล็กทรอสตาติกมีหลักการดังนี้ จะมีการให้ประจุไฟฟ้าโดยตรงในบริเวณส่วนที่เป็นภาพบนกระดาษเคลือบผิวที่ถูกออกแบบให้สามารถนำไฟฟ้าได้ (Di-electric coated paper) จากนั้นสร้างภาพด้วยการให้โทนเนอร์หรือหมึกผงที่มีประจุไฟฟ้าไปเกาะติดบนผิวกระดาษบริเวณที่มีประจุ แล้วทำให้หมึกผงติดแน่น




**รูปที่ 1-10** การพิมพ์แบบอิเล็กทรอสตาติก

*(ที่มา: Konica Minolta, Inc.)*

## 1.3 คำจำกัดความของสารอินทรีย์ระเหย

ความรู้ทั่วไปของสารอินทรีย์ระเหยเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบกิจการควรรู้และให้ความสำคัญ โดยคู่มือเล่มนี้ได้ให้คำจำกัดความ ผลกระทบต่อสุขภาพ และแหล่งกำเนิดทั่วไปของสารอินทรีย์-ระเหยที่พบได้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ เพื่อที่ผู้ประกอบการจะได้มีความรู้ความเข้าใจถึงชนิดและประเภท และผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหย

สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs) เป็นสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน โดยเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ หรือเกิดจากกิจกรรมในภาคอุตสาหกรรม เช่น การผลิต การใช้พลังงาน และการขนส่ง และเนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยมีคุณสมบัติที่ระเหยได้ง่ายในอุณหภูมิปกติ จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่มีการใช้สี เช่นอุตสาหกรรมการพิมพ์ และอุตสาหกรรม-ยานยนต์

**ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยที่ใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ ได้แก่ หมึก สี ทินเนอร์ แลคเกอร์ กาว สารทำความสะอาด และน้ำยาชักแห้ง ซึ่งเมื่อระเหยสู่บรรยากาศ สามารถคงตัวอยู่ในอากาศได้เป็นระยะเวลานาน**

ประเทศไทยมีการกำหนดคำจำกัดความของสารอินทรีย์ระเหย ไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุมการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2555 ดังนี้

**"สารอินทรีย์ระเหย" หมายความว่า สารประกอบที่มีคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ยกเว้น มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ โลหะคาร์ไบด์ หรือคาร์บอเนต แอมโมเนียมคาร์บอเนต**[6]

## 1.4 กระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหย

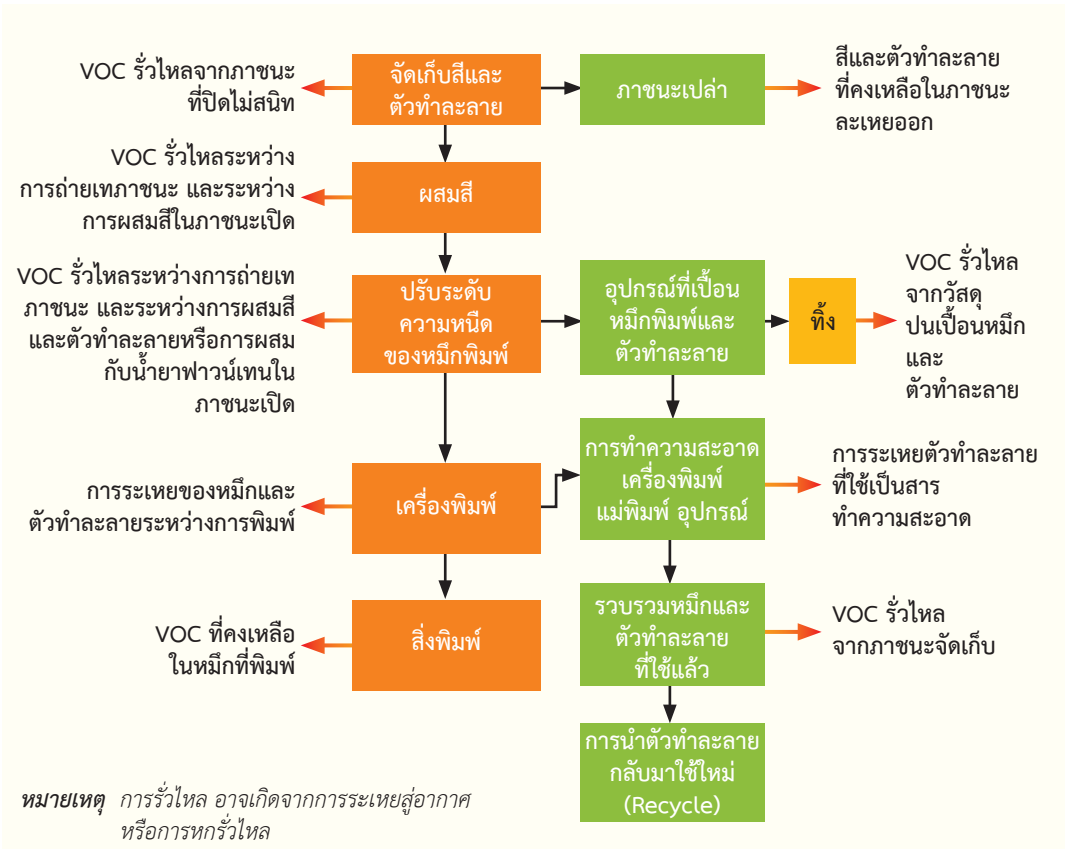
แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์[17, 7] ที่สำคัญคือวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ โดยวัตถุดิบที่เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญในกระบวนการผลิตคือ

1) **หมึกและตัวทำละลายในหมึก**
2) **น้ำยาทำความสะอาด**

ดังรูปที่ 1-11

6 กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุมการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโฌงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2555

7 Guidance on VOC Substitution and Reduction for Activities Covered by the VOC Solvents Emissions Directive (Directive 1999/13/EC). AEA Energy & Environment (2009)




**รูปที่ 1-11** แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์บรรจุภัณฑ์

## แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์

1) จากขั้นตอนการผสมสีหมึกพิมพ์ หรือการผสมหมึกพิมพ์กับตัวทำละลายเพื่อลดความหนืดของหมึกพิมพ์ สารอินทรีย์ระเหยรั่วไหลระหว่างการถ่ายเทภาชนะ หรือขั้นตอนการผสมในภาชนะเปิด
2) จากขั้นตอนการพิมพ์ มีการระเหยของหมึกและตัวทำละลาย โดยเฉพาะการพิมพ์ที่ใช้หมึกฐานตัวทำละลาย โดยสารอินทรีย์ระเหยรั่วไหลออกจากเครื่องพิมพ์ในขณะที่พิมพ์และระเหยออกจากภาชนะบรรจุหมึกพิมพ์/ถาดหมึก นอกจากนี้ในระบบการพิมพ์แบบออฟเซต ที่ส่วนใหญ่ใช้ Isopropyl alcohol (IPA) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหยผสมกับน้ำยาฟาวน์เทนในขั้นตอนการพิมพ์
3) จากขั้นตอนการทำความสะอาด มีการระเหยของน้ำยาทำความสะอาด ในกรณีที่ทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์ในระบบเปิดจะทำให้สารอินทรีย์ระเหยในน้ำยาทำความสะอาดปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

## ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย

สารอินทรีย์ระเหยที่ใช้ทั่วไปในระบบการพิมพ์แบบกราวัวร์ และเฟล็กโซกราฟี[8] และการพิมพ์แบบออฟเซต[9] ดังตารางที่ 1-1 ถึง 1-3 ตามลำดับ

**ตารางที่ 1-1** สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากสารฐานตัวทำละลาย (Solvent-bases) ในระบบการพิมพ์แบบกราวัวร์ และเฟล็กโซกราฟี

| ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย | การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ |
|---|---|
| • Ethanol<br>• Isopropyl alcohol (IPA) | - ตัวทำละลายผสมหมึกพิมพ์<br>- สารทำความสะอาด |
| • Isopropyl acetate | - สารปรับความหนืดหมึกพิมพ์ |
| • Ethyl acetate | - ทินเนอร์<br>- สารทำความสะอาด |
| • Methyl ethyl ketone (MEK) | - สารทำให้แห้งเร็ว (ส่วนประกอบในหมึก) |
| • n-Butanol<br>• n-Propanol | - สารชะลอการแห้ง (ส่วนประกอบในหมึก) |

**ตารางที่ 1-2** สารอินทรีย์ระเหยเกิดจากสารฐานน้ำ (Water-bases) ในระบบการพิมพ์แบบกราวัวร์ และเฟล็กโซกราฟี

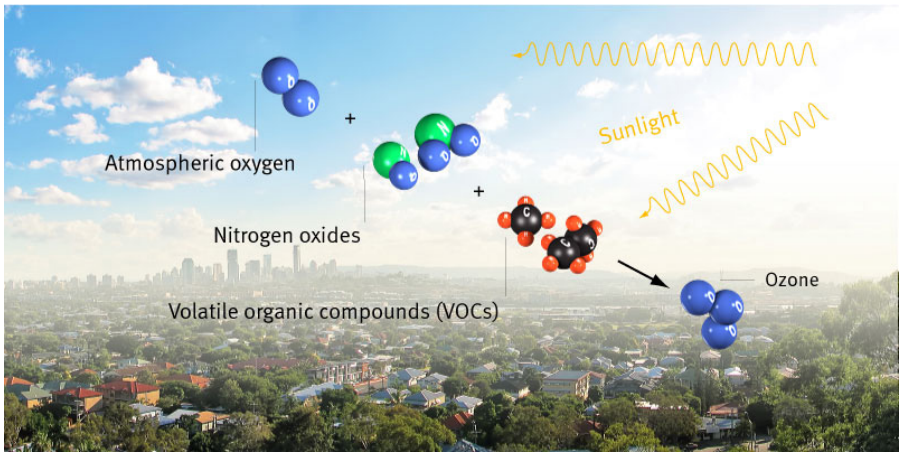
| ชนิดของสารอินทรีย์ระเหย | การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ |
|---|---|
| • Ethanol | - ตัวทำละลายผสมหมึกพิมพ์<br>- สารทำความสะอาด<br>- สารทำให้แห้งเร็ว (ส่วนประกอบในหมึก) |
| • Isopropyl alcohol (IPA) | - ตัวทำละลายผสมหมึกพิมพ์<br>- สารทำความสะอาด |
| • n-Propanol | - ตัวทำละลายผสมหมึกพิมพ์ |

**ตารางที่ 1-3** สารอินทรีย์ระเหยที่ใช้ในการพิมพ์แบบออฟเซต (Offset lithography)

| Solvent | |
|---|---|
| 1) Xylene | 9) Ethyl toluene |
| 2) Toluene | 10) Propyl benzene |
| 3) Benzene | 11) 1,2,3-Trimethylbenzene |
| 4) Ethylbenzene | 12) 1,2,4-Trimethylbenzene |
| 5) Methylhexane | 13) 1,3,5-Trimethylbenzene |
| 6) Decane | 14) Heptane |
| 7) Undecane | 15) Butene |
| 8) Hexane | 16) Butanone |

## 1.5 ความเป็นอันตรายและผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหย

ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหย เมื่อเข้าสู่ร่างกายทั้งทางการหายใจ การรับประทาน หรือทางผิวหนัง จะทำให้เกิดอาการต่างๆ ทั้งแบบฉับพลันและระยะยาว เช่น ระคายเคืองตา จมูก และลำคอ การระคายเคืองที่ผิวหนัง ปวดหัว คลื่นไส้ เป็นพิษต่อตับ ไตและระบบประสาทส่วนกลาง โดยสารอินทรีย์ระเหยหลายชนิด พบว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ และบางตัวสามารถก่อมะเร็งในมนุษยน์ได้ เช่น เบนซีน ที่เมื่อคนรับสัมผัสเป็นระยะเวลาต่อเนื่องอาจเกิดเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว ทั้งนี้ความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ระดับความเข้มข้นของสาร ระยะเวลาที่สัมผัส ความไวในการเกิดอาการของผู้สัมผัสสาร เป็นต้น นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยยังเป็นสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาเคมีเชิงแสง (Photochemical reaction) กับสารให้ออกซิเจน เช่น ออกไซต์ของไนโตรเจน คาร์บอนมอน-นอกไซต์ ทำให้เกิดโอโซนในระดับภาคพื้น ซึ่งถือว่าเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองตาและทางเดินหายใจ และก่อให้เกิดหมอกควันเชิงแสง (Smog) บดบังทัศนวิสัย และก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน ดังรูปที่ 1-11 และ 1-12




**รูปที่ 1-11** การเกิดหมอกควันจาก Photochemical reaction

*(ที่มา: https://www.qld.gov.au)*

**รูปที่ 1-12** หมอกควันเชิงแสง (Smog) ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีเชิงแสง ที่มีสารอินทรีย์ระเหยเป็นสารตั้งต้น

*(ที่มา: https://chem.libretexts.org)*

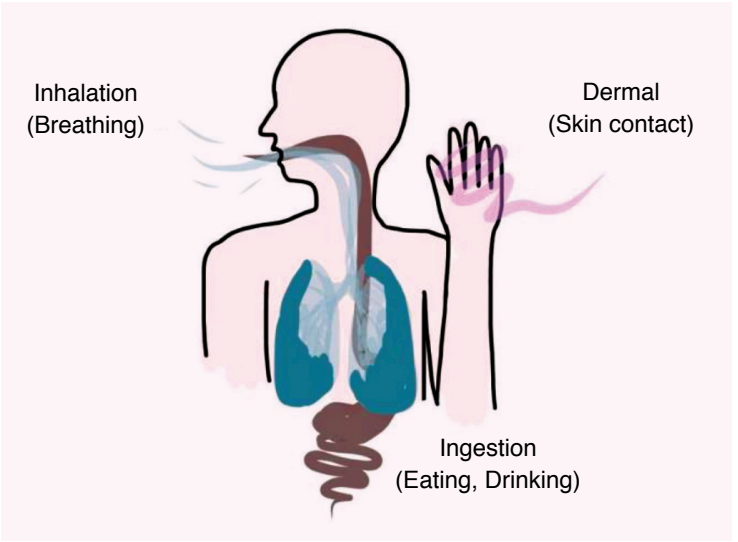
## › สารเคมีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ดังนี้

1) **ทางการหายใจ (Inhalation)**
สารเคมีในบรรยากาศสามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการหายใจผ่านจมูกหรือปาก

2) **ทางผิวหนัง/ตา (Dermal/Eyes Skin contact)**
เมื่อผิวหนังสัมผัสกับสารเคมี อาจเกิดอาการแพ้ หรือเกิดการระคายเคือง โดยในผิวหนังที่มีบาดแผลจะทำให้เกิดการดูดซึมสารเคมีได้มากขึ้น

3) **ทางปาก (Ingestion)**
การรับสัมผัสทางปากเกิดขึ้นได้จากการกลืนกินสารเคมีโดยตรง หรือการกินอาหารหรือสูบบุหรี่ในขณะที่มือปนเปื้อนสารเคมี

4) **ถูกฉีด/ทิ่มด้วยวัตถุมีคมปนเปื้อน (Injection)**
สารเคมีสามารถเข้าสู่ร่างกายจากการถูกทิ่มด้วยวัตถุมีคมที่ปนเปื้อนด้วยสารเคมี




**รูปที่ 1-13** การเข้าสู่ร่างกายของสารเคมี
*(ที่มา: Community Outreach and Engagement Core, Environmental Health Sciences Center)*

## ความเป็นพิษและผลกระทบต่อสุขภาพจากสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์

สารอินทรีย์ระเหยมีหลายชนิด โดยทั่วไปเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลกับผู้รับสัมผัสอย่างเฉียบพลัน หรือแบบเรื้อรังจากการสัมผัสในระยะยาว หากกล่าวโดยรวมสารอินทรีย์ระเหยสามารถส่งผลต่อการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย เช่น ระบบประสาท สมอง ระบบทางเดินหายใจ หัวใจ กระเพาะอาหาร ระบบสืบพันธ์ เป็นต้น ดังรูปที่ 1-14

**รูปที่ 1-14** ตัวอย่างผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย

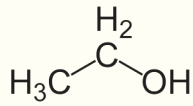
เมื่อผู้ประกอบการทราบถึงชนิดสารอินทรีย์ระเหย และกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการพิมพ์ที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากหัวข้อ 1.4 เรื่องกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหย ดังนั้นเพื่อความเข้าใจถึงความเป็นอันตรายของสารอินทรีย์ระเหยในหัวข้อนี้จึงจะกล่าวถึงความเป็นพิษของสารอินทรีย์ระเหยที่พบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรมการพิมพ์ดังนี้

1) **เอทธานอล (Ethanol)**
2) **ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol; IPA)**
3) **เมทธิล เอทธิล คีโตน (Methyl Ethyl Ketone; MEK)**
4) **เมทธิลีน คลอไรด์ (Methylene Chloride)**
5) **บิวทานอล (n-butanol)**
6) **โทลูอีน (Toluene)**
7) **เอทธิล เบนซีน (Ethyl Benzene)**
8) **อะซีโตน (Acetone)**
9) **เฮกเซน (Hexane)**
10) **ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane)**

## เอทธานอล (Ethanol)[10, 11]

**สูตรเคมี** $C_2H_6O$

**สูตรโครงสร้าง**



**ชื่อเรียกอื่น:** เอทิลแอลกอฮอล์ CAS Number: 64-17-5

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ตัวทำละลายหมึกพิมพ์ โดยเฉพาะหมึกพิมพ์ระบบ Flexography เป็นส่วนประกอบในหมึกหรือสี

**ความเป็นอันตราย:**

ของเหลวและไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | ระคายเคืองเล็กน้อย | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |
| เข้าตา | ระคายเคืองเล็กน้อย | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำ |
| กลืนกิน | กรณีที่กินเข้าไปในปริมาณมากอาจทำให้เกิดคลื่นไส้อาเจียน | ดื่มน้ำปริมาณมาก ทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม หรือถ่านที่ทำจากกระดูกสัตว์ |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำ ไม่ก่อให้เกิดผลต่อระบบนิเวศน์หากมีการใช้และการจัดการอย่างเหมาะสม

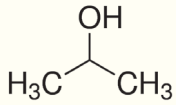
10 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=00847&NAME=Ethyl%20alcohol

11 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol; IPA)[12, 13]

**สูตรเคมี** $C_3H_8O$

**สูตรโครงสร้าง**




**ชื่อเรียกอื่น:** ไอพีเอ (IPA) ไอโซฮอล (Isohol)
โพรเพน-2-ออล (Propan-2-Ol) CAS Number: 67-63-0

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ใช้ผสมน้ำยาฟาวน์เทนเพื่อลดแรงตึงผิวในระบบพิมพ์ออฟเซ็ต เป็นตัวทำละลายหมึก ตัวทำละลายสำหรับน้ำมัน เรซิน เป็นส่วนประกอบในหมึกหรือสี

**ความเป็นอันตราย:**

1) **ของเหลวไวไฟ ของเหลวไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)**
2) **ระคายเคืองต่อดวงตาอย่างรุนแรง (Hazard code: H319) เมื่อ C ≥ 10%**
3) **ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว อาจทำให้ง่วงซึมหรือมึนงง (Hazard code: H336) เมื่อ C ≥ 5%**

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | ระคายเคือง ผิวหนังสูญเสียไขมัน อาจเกิดการอักเสบ | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |
| เข้าตา | ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำ |
| ดูดซึม/กลืนกิน | ปวดศีรษะ มึนงง หมดสติ ถ้ารับสารในปริมาณมากอาจทำให้ระบบหายใจล้มเหลว | ดื่มน้ำปริมาณมาก ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

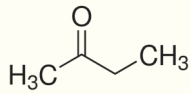
เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ แต่ไม่กระทบการบำบัดน้ำเสีย หากมีการใช้และการจัดการอย่างเหมาะสม

12 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=01149&NAME=2-Propanol
13 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999).
แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## เมทธิล เอทธิล คีโตน (Methyl Ethyl Ketone; MEK)[14, 15]

**สูตรเคมี** $C_4H_8O$

**สูตรโครงสร้าง**




**ชื่อเรียกอื่น:** 2-บิวทาโนน (2-Butanone) เอ็มอีเค (MEK)

CAS Number: 78-93-3

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ตัวทำละลายสำหรับน้ำมัน เรซิน ยาง และกาว เป็นส่วนประกอบในทินเนอร์ (โดยปกติมักจะผสมอยู่กับตัวทำละลายอื่นๆ)

**ความเป็นอันตราย:**

**1) ของเหลวไวไฟ ของเหลวไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)**
**2) ระคายเคืองต่อดวงตาอย่างรุนแรง (Hazard code: H319) เมื่อ C ≥ 10%**
**3) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว อาจทำให้ง่วงซึมหรือมึนงง (Hazard code: H336) เมื่อ C ≥ 5%**
**4) การสัมผัสสารซ้ำ อาจทำให้เกิดผิวหนังแห้งหรือแตก (EUH066)**

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| ผิวหนัง | ระคายเคือง ผิวหนังสูญเสียไขมัน อาจเกิดการอักเสบ | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |
| เข้าตา | ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำ |
| กลืนกิน | คลื่นไส้อาเจียน ถ้ารับสารในปริมาณมากอาจทำให้ระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ เวียนศีรษะ มึนงง ง่วงซึม ระบบทางเดินหายใจและหัวใจทำงานผิดปกติ | ดื่มน้ำปริมาณมาก ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม หากกลืนกินในปริมาณมาก ต้องนำส่งแพทย์เพื่อล้างท้อง |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำ ไม่ก่อให้เกิดผลต่อระบบนิเวศน์หากมีการใช้และการจัดการอย่างเหมาะสม

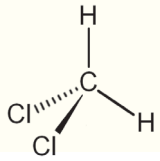
14 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=01324&NAME=Methyl%20ethyl%20ketone

15 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## เมทธิลีน คลอไรด์ (Methylene Chloride)[16, 17]

**สูตรเคมี** $CH_2Cl_2$

**สูตรโครงสร้าง**




**ชื่อเรียกอื่น:** ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)

CAS Number: 75-09-2

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ตัวทำละลายสำหรับน้ำมัน ไขมัน ตัวทำละลายสีส่วนประกอบในหมึกหรือสี

**ความเป็นอันตราย:**

| | |
|---|---|
| | **สารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง (Hazard code: H351) เมื่อ C ≥ 0,1%** |

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก มึนเมา ง่วงซึม หมดสติ | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | ระคายเคือง ผิวหนังสูญเสียไขมัน อาจเกิดการอักเสบ | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |
| เข้าตา | ระคายเคืองอย่างรุนแรง อาจก่อให้เกิดต้อในตา | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำ |
| กลืนกิน | คลื่นไส้อาเจียน อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อตับและไต | ดื่มน้ำปริมาณมาก ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้กินนม ห้ามให้ดื่มน้ำมันละหุ่ง ห้ามดื่มแอลกอฮอล์ |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

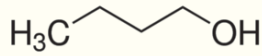
เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ไม่ควรทิ้งลงสู่ระบบน้ำ น้ำเสีย หรือดิน

16 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=00714&NAME=Dichloromethane

17 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## บิวทานอล (n-butanol)[18, 19]

สูตรเคมี $C_4H_{10}O$

สูตรโครงสร้าง 


**ชื่อเรียกอื่น:** บิวทิลแอลกอฮอล์ (Butyl Alcohol) CAS Number: 71-36-3

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ตัวทำละลายสำหรับน้ำมัน ไขมัน ตัวทำละลายสี ส่วนประกอบในหมึกหรือสี

**ความเป็นอันตราย:**

1) **ของเหลวไวไฟ ของเหลวและไอระเหยไวไฟ (Hazard code: H226)**
2) **ทำลายดวงตาอย่างรุนแรง (Hazard code: H318) เมื่อ C ≥ 30%**
3) **ความเป็นพิษเฉียบพลัน เป็นอันตรายเมื่อกลืนกินเข้าไป (H302)**
4) **การกัดกร่อน และการระคายเคืองต่อผิวหนังมาก (H315) เมื่อ C ≥ 1%**
5) **ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว อาจระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ (Hazard code: H335) และอาจทำให้ง่วงซึม มึนงง (Hazard code: H336) เมื่อ C ≥ 5%**

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก มึนงง ง่วงซึม หมดสติ | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | ระคายเคือง | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |
| เข้าตา | ระคายเคืองอย่างรุนแรง อาจก่อให้เกิดต้อในตา | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำและส่งจักษุแพทย์ |
| กลืนกิน | คลื่นไส้อาเจียน อาจอให้เกิดอันตรายต่อตับและไต | ดื่มน้ำปริมาณมาก ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม นำส่งแพทย์ |

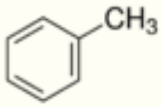
**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ เป็นพิษต่อปลาและแพลงก์ตอน แต่ไม่ส่งผลต่อระบบบำบัดน้ำทิ้ง หากมีการใช้และจัดการอย่างเหมาะสม

18 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=00379&NAME=n-Butanol
19 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## โทลูอีน (Toluene)[20, 21]

สูตรเคมี $C_6H_5CH_3$

สูตรโครงสร้าง 


**ชื่อเรียกอื่น:**
เมทธิลเบนซีน (Methylbenzene) CAS Number: 108-88-3

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:**
ส่วนประกอบในทินเนอร์ ตัวทำละลายของสารเคลือบหรือเป็นสารทำละลายและสารตัวกลาง ในอดีตอุตสาหกรรมการพิมพ์ประเภทกราวัวร์ใช้โทลูอีนที่มีความเข้มข้นสูงมากถึง 1710 ppm (ค.ศ. 1969) แต่ปัจจุบันลดลงเหลือต่ำกว่า 200 ppm ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980

**ความเป็นอันตราย:**

1) ของเหลวและไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)
2) ความเป็นอันตรายจากการสำลัก อาจเป็นอันตรายถึงตายได้ เมื่อกลืนกิน (Hazard code: H304)
3) ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ อาจเกิดอันตรายต่อทารกในครรภ์ (Hazard code: H361d) เมื่อ C ≥ 1%
4) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสเป็นเวลานานหรือรับสัมผัสซ้ำ (Hazard code: H373) เมื่อ C ≥ 0, 1%
5) การกัดกร่อน และการระคายเคืองต่อผิวหนังมาก (Hazard code: H315) เมื่อ C ≥ 1%
6) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว อาจทำให้ง่วงซึม มึนงง (Hazard code: H336) เมื่อ C ≥ 5%

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | ระคายเคือง กรณีได้รับสัมผัสเป็นเวลานาน ผิวหนังสูญเสียไขมัน อาจเกิดการอักเสบ | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |

20 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=02040&NAME=Toluene
21 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

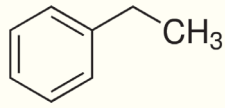
| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| เข้าตา | ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก | ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำและส่งจักษุแพทย์ |
| กลืนกิน | คลื่นไส้อาเจียน<br>อาจก่อให้เกิดการสำลัก | ดื่มน้ำปริมาณมาก<br>ให้ทานน้ำมันพาราฟิน (3 มล./กก.)<br>โซเดียมซัลเฟต (1 ช้อนโต๊ะ/<br>น้ำ 0.25 ลิตร) และนำส่งแพทย์<br>ห้ามให้ดื่มนม และน้ำมันละหุ่ง |
| สัมผัสในปริมาณมาก | ระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ<br>มึนงง ชัก หมดสติ หยุดหายใจ<br>หลอดเลือดเลี้ยงหัวใจตีบตัน | ส่งแพทย์ทันที |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

1) เป็นสารก่อมลพิษและเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำในระดับปานกลาง (ระดับ 2)
2) เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ เป็นต่อปลาและแพลงก์ตอน
   อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของโปรตีนในปลา
3) ไม่ควรทิ้งลงสู่ระบบน้ำ น้ำเสีย หรือดิน

## เอทธิล เบนซีน (Ethylbenzene)[22, 23]

สูตรเคมี $C_6H_5C_2H_5$

สูตรโครงสร้าง 

**ชื่อเรียกอื่น:** Phenylethane CAS Number: 100-41-4

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ตัวทำละลายสำหรับน้ำมัน ไขมัน

**ความเป็นอันตราย:**

1) ของเหลวและไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)
2) ความเป็นอันตรายจากการสำลัก อาจเป็นอันตรายถึงตายได้ เมื่อกลืนกิน (Hazard code: H304)
3) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสเป็นเวลานานหรือรับสัมผัสซ้ำ (Hazard code: H373) เมื่อ C ≥ 0, 1%
4) ความเป็นพิษเฉียบพลัน เป็นอันตรายเมื่อหายใจเข้าไป (Hazard code: H332)

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | อันตราย อาจเกิดการดูดซึม | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | ระคายเคือง ผิวหนังสูญเสียไขมัน อาจเกิจการอักเสบ | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |
| เข้าตา | ระคายเคือง | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำและส่งจักษุแพทย์ |
| กลืนกิน | คลื่นไส้อาเจียน อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อตับและไต | ดื่มน้ำปริมาณมาก ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม นำส่งแพทย์ |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

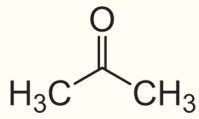
สามารถกระจายในสิ่งแวดล้อมได้ ไม่ควรทิ้งลงสู่ระบบน้ำ น้ำเสียหรือดิน

22 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=00856&NAME=Ethyl%20benzene

23 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## อะซีโตน (Acetone)[24, 25]

สูตรเคมี $CH_3COCH_3$

สูตรโครงสร้าง 

**ชื่อเรียกอื่น:** ไดเมทธิล คีโตน (Dimethyl ketone)

CAS Number: 67-64-1

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ตัวทำละลายสำหรับน้ำมัน ไขมัน ตัวทำละลายสีส่วนประกอบในหมึกหรือสี ส่วนประกอบในทินเนอร์

**ความเป็นอันตราย:**

1) ของเหลวและไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)
2) ระคายเคืองต่อดวงตาอย่างรุนแรง (Hazard code: H319) เมื่อ C ≥10%
3) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว
   อาจทำให้ง่วงซึม มึนงง (Hazard code: H336) เมื่อ C ≥5%
4) เมื่อสัมผัสซ้ำ อาจทำให้ผิวหนังแห้งหรือแตก (EUH066)

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก ได้รับปริมาณมากอาจเกิดอาการปวดศีรษะ น้ำลายไหล ง่วงซึม หรืออาจหมดสติ | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| เข้าตา | ระคายเคืองอย่างรุนแรง อาจก่อให้เกิดต้อในตา | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำและส่งจักษุแพทย์ |
| กลืนกิน | ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ คลื่นไส้ อาเจียน | ดื่มน้ำปริมาณมาก ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม นำส่งแพทย์ |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

สามารถกระจายในสิ่งแวดล้อมได้ ไม่ควรทิ้งลงสู่ระบบน้ำ น้ำเสียหรือดิน

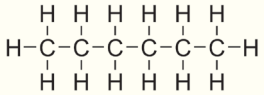
24 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=00014&NAME=Acetone

25 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## เฮกเซน (Hexane)[26, 27]

สูตรเคมี $C_6H_{14}$

สูตรโครงสร้าง



**ชื่อเรียกอื่น:** n-Hexane CAS Number: 110-54-3

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** เป็นสารทำละลาย โดยเฉพาะการใช้เป็นสารทำละลายกาว เรซิน

**ความเป็นอันตราย:**

1) ของเหลวไวไฟ ของเหลวและไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)
2) ความเป็นอันตรายจากการสำลัก อาจเป็นอันตรายถึงตายได้ เมื่อกลืนกิน (Hazard code: H304)
3) ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ อาจเกิดอันตรายต่อการเจริญพันธุ์ (Hazard code: H361f) เมื่อ C ≥1%
4) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสเป็นเวลานานหรือรับสัมผัสซ้ำ (Hazard code: H373) เมื่อ C ≥0, 1%
5) การกัดกร่อน และการระคายเคืองต่อผิวหนังมาก (Hazard code: H315) เมื่อ C ≥1%
6) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว อาจทำให้ง่วงซึม มึนงง (Hazard code: H336) เมื่อ C ≥5%
7) ความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีผลกระทบระยะยาว (Hazard code: H410)

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | อาจเกิดอันตรายจากการซึมผ่านผิวหนัง | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |
| เข้าตา | ระคายเคืองอย่างรุนแรง อาจก่อให้เกิดต้อในตา | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำและส่งจักษุแพทย์ |

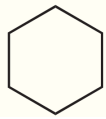
26 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=01030&NAME=Hexane
27 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| กลืนกิน | คลื่นไส้อาเจียน | ให้ทานคาร์บอนกัมมันต์ ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม ห้ามให้ดื่มน้ำมันละหุ่ง ห้ามล้างท้อง นำส่งแพทย์ |
| รับสัมผัสเป็นเวลานาน | ระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ อาจเกิดอัมพาต | |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

1) สารลอยอยู่เหนือผิวน้ำ ไม่รวมตัวกับน้ำ
2) เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
3) ไม่ควรทิ้งลงสู่ระบบน้ำ น้ำเสีย หรือดิน

## ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane)[28, 29]

สูตรเคมี $C_6H_{12}$ | สูตรโครงสร้าง 

**ชื่อเรียกอื่น:** เบนซีน เฮกซาไฮไดร์ (Benzene hexahydride)

CAS Number: 110-82-7

**กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง:** ตัวทำละลายสารเคลือบผิว เรซิน

**ความเป็นอันตราย:**

1) ของเหลวไวไฟ ของเหลวและไอระเหยไวไฟสูง (Hazard code: H225)
2) ความเป็นอันตรายจากการสำลัก อาจเป็นอันตรายถึงตายได้เมื่อกลืนกิน (Hazard code: H304)
3) การกัดกร่อน และการระคายเคืองต่อผิวหนังมาก (Hazard code: H315) เมื่อ C ≥1%
4) ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว อาจทำให้ง่วงซึม มึนงง (Hazard code: H336) เมื่อ C ≥5%
5) ความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Hazard code: H400) และมีผลกระทบระยะยาวต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Hazard code: H410)

**อันตรายจากการรับสัมผัสและคำแนะนำด้านการปฐมพยาบาล:**

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| สูดดม | ง่วงซึม เวียนศีรษะ ถ้ารับสัมผัสในปริมาณสูงอาจส่งผลให้ระบบหายใจล้มเหลว หมดสติ หมดแรง อาจเกิดอาการบวมน้ำในทางเดินหายใจ | ให้รับอากาศบริสุทธิ์ |
| ผิวหนัง | ระคายเคืองอย่างรุนแรง | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออก |

28 ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, [online] http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=00641&NAME=Cyclohexane

29 ข้อมูลความปลอดภัยและคำแนะนำความปลอดภัย, Merck Ltd., Thailand (1998-1999). แปลภาษาไทยโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

| ช่องทางการรับสัมผัส | อาการ | การปฐมพยาบาล |
|---|---|---|
| เข้าตา | ระคายเคืองอย่างรุนแรง | ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำและส่งจักษุแพทย์ |
| กลืนกิน | ปวดท้อง ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ | ไม่ควรทำให้อาเจียน ห้ามให้ดื่มนม ให้ดื่มน้ำมันพาราฟิน นำส่งแพทย์ |

**ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:**

1) มีแนวโน้มในการเกิดการสะสมเชิงชีวภาพสูง
2) เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของโปรตีนในปลา
3) ไม่ควรทิ้งลงน้ำหรือดิน
4) อาจทำให้แหล่งน้ำหรือดินเป็นพิษถ้าปล่อยสารเข้าสู่น้ำและดินในปริมาณมาก

เมื่อผู้ประกอบการทราบถึงผลกระทบต่อสุขภาพและผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของสารอินทรีย์ระเหยที่สามารถพบได้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์แล้วนั้น จะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์ระเหยนั้นมีความอันตรายและควรต้องเฝ้าระวัง โดยในปี พ.ศ. 2560 กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานได้ออกประกาศเรื่อง **“ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย”** นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานอื่นๆ ที่กำหนดค่าความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในบรรยากาศพื้นที่ทำงาน เพื่อเฝ้าระวังในการสัมผัสสาร และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อบุคคลากรของโรงงาน และสิ่งแวดล้อม ดังตารางที่ 1-4

**ตารางที่ 1-4** ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (สารอินทรีย์ระเหย) ที่พบได้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ (หน่วย: ส่วนในล้านส่วน, ppm)

| ชื่อสารเคมี | CAS No. | ขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ * | ขีดจำกัดความเข้มข้นสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ* | ขีดจำกัดความเข้มข้นสูงสุดไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่างทำงาน* | TLV ** (ACGIH) | IDLH** (NIOH) | Odor ** threshold | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Low | High |
| เอทธานอล | 64-17-5 | 1,000 | - | - | 1,000 | 3,300 | 49 | 716 |
| ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ | 67-63-0 | 400 | - | - | 200 | 2,000 | 1 | 610 |
| เมทธิล เอทธิล คีโตน | 78-93-3 | 200 | - | - | 200 | 3,000 | 2 | 85 |
| เมทธิลีน คลอไรด์ | 75-09-2 | 25 | 125 ppm ใน 15 นาที | - | 50 | 2,300 | 1.2 | 440 |
| บิวทานอล | 71-36-3 | 100 | - | - | 20 | 1,400 | 0.12 | 11 |
| โทลูอีน | 108-88-3 | 200 | 500 ppm ใน 10 นาที | 300 | 20 | 500 | 0.16 | 37 |
| เอทธิล เบนซีน | 100-41-4 | 100 | - | - | 100 | 800 | 0.09 | 0.6 |
| อะซีโตน | 67-64-1 | 1,000 | - | - | 500 | 2,500 | 3.6 | 653 |
| เฮกเซน | 110-54-3 | 500 | - | - | 50 | 1,100 | 65 | 248 |
| ไซโคลเฮกเซน | 110-82-7 | 300 | - | - | 100 | 1,300 | 0.52 | 784 |

อ้างอิง * ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานเรื่อง “ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย” พ.ศ.2560
** ข้อมูลจากฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี; ฐานข้อมูลโรคที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและสารเคมี (www.chemtrack.org)

**หมายเหตุ**

**1) ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย** คือ ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในบรรยากาศของสถานที่ทำงานและสถานที่เก็บรักษาสารเคมีอันตราย

- **"ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ"** หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติภายในสถานประกอบกิจการที่ลูกจ้างซึ่งมีสุขภาพปกติทำงานสามารถสัมผัสหรือได้รับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันตลอดเวลาที่ทำงานโดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- **"ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ"** หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่ลูกจ้างสัมผัสอย่างต่อเนื่องใน ระยะเวลาสั้นๆ ตามที่กำหนด โดยไม่มีอาการระคายเคือง เนื้อเยื่อถูกทำลายอย่างถาวร หรืออย่างเรื้อรัง มึนเมา หลับ หรือง่วงซึมจนอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุ หรือไม่สามารถช่วย ตนเองได้หรือประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก
- **"ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายสูงสุดไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่างทำงาน"** หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายสูงสุดซึ่งต้องไม่เกินกว่าค่าที่ กำหนดไว้ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่างทำงาน

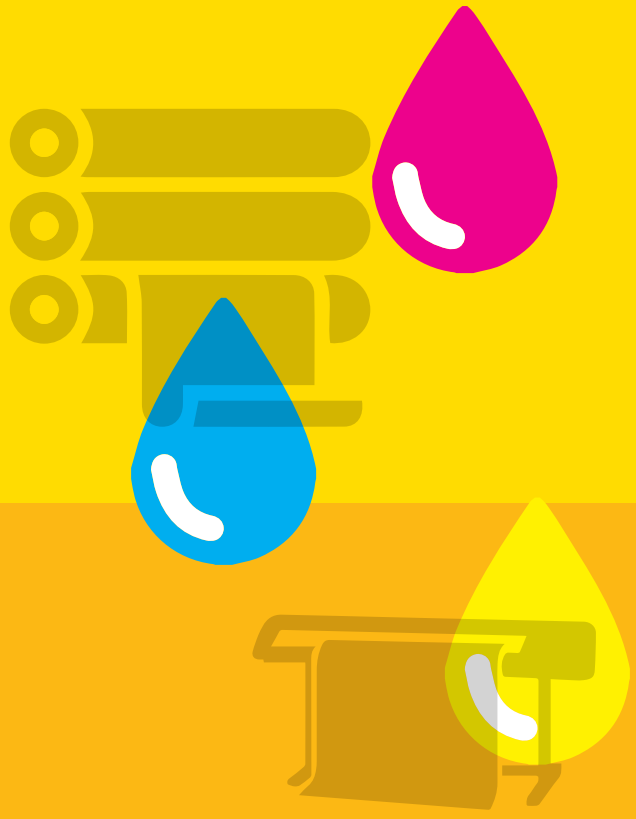
**2) Threshold limit value หรือ TLV** (กำหนดค่าโดย American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH) คือ ค่าจำกัดที่จะไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพคน หมายถึง ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ ซึ่งเมื่อเน้นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด เชื่อว่าคนงานเกือบทั้งหมดอาจสัมผัสสารเคมีดังกล่าวได้ซ้ำ ๆ วันแล้ววันเล่า โดยปราศจากผลกระทบทางลบต่อสุขภาพ แต่เนื่องจากแต่ละคนมีความไวต่อสารแตกต่างกัน จึงอาจมีคนงานบางคนได้รับผลกระทบจากการสัมผัสสารบางชนิดที่ความเข้มข้นต่ำกว่าหรือที่ระดับ TLV

**3) Immediately Dangerous to Life or Health หรือ IDLH** (กำหนดค่าโดย National Institute for Occupational Safety and Health; NIOSH) คือค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดอันตรายทันทีทันใดต่อชีวิตหรือสุขภาพ (NIOSH)

**4) Odor Threshold** คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุด (Low) หรือสูงสุด (High) ที่มนุษย์สามารถได้กลิ่นหรือจดจำสารนั้นได้

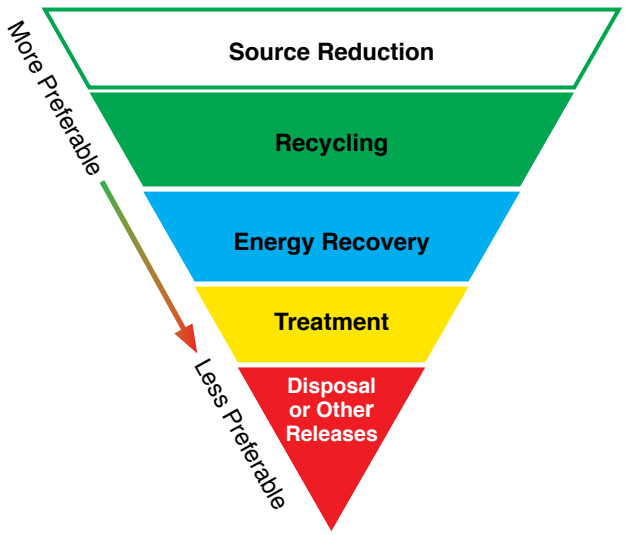
บทที่ 2

# การป้องกันมลพิษ ด้วยการควบคุมและการจัดการที่ดี



จากบทที่ 1 ผู้ประกอบการจะทราบถึงชนิดของวัตถุดิบและกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์ ตลอดจนทราบถึงความเป็นอันตรายทั้งต่อสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยแล้วนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางการป้องกันมลพิษ ด้วยการควบคุมและการจัดการที่ดีภายในโรงพิมพ์ พร้อมตัวอย่างการจัดการที่ดี เพื่อเป็นประโยชน์ให้ผู้ประกอบพิจารณาในการดำเนินการภายในโรงพิมพ์ เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยของท่านเอง

การป้องกันการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต้องดำเนินการทั้งในรูปแบบการจัดการที่ดี การควบคุม และการกำจัด โดยการดำเนินงานเพื่อป้องกันการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย สามารถนำหลักการในการจัดลำดับการดำเนินงานในการจัดการมลพิษตามหลักการป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention หรือ P2) ดังรูปที่ 2-1 เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งกับผู้ผลิต ประชาชน และสิ่งแวดล้อม




**รูปที่ 2-1** ลำดับความสำคัญในการจัดการมลพิษตามหลักการป้องกันมลพิษ (P2)

*(ที่มา: www.epa.gov)*

จากรูปที่ 2-1 จะเห็นได้ว่าการดำเนินการที่สำคัญที่สุดและควรดำเนินการก่อนคือการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด (Source Reduction) เช่น การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต วัตถุดิบ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทที่ 2 นี้ และการดำเนินการที่สำคัญรองลงมาสำหรับการจัดการสารอินทรีย์ระเหยคือการบำบัดและกำจัด (Treatment) เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศเพิ่มเติมเพื่อกำจัดหรือลดการปลดปล่อยมลพิษอากาศออกสู่บรรยากาศ (รายละเอียดกล่าวในบทที่ 3) โดยเนื้อหาในคู่มือฉบับนี้จะคัดเลือกและนำเสนอการดำเนินการที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์

**รูปที่ 2-2** การลำดับการจัดการตามความสำคัญของการดำเนินการที่สอดคล้องกับการป้องกันมลพิษชนิดสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์

## 2.1 การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด

การลดมลพิษสารอินทรีย์ระเหยที่แหล่งกำเนิดในอุตสาหกรรมการพิมพ์ โดยการปรับเปลี่ยนที่กระบวนการผลิต โดยแบ่งเป็น 3 วิธี คือ

1) **การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ**
2) **การปรับปรุงเทคโนโลยี**
3) **การบริหารจัดการระบบการทำงานที่ดี**

### › การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ

การปรับเปลี่ยนที่วัตถุดิบเป็นการเลือกใช้วัตถุดิบที่สะอาด หรือเลือกใช้วัตถุดิบที่มีสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณน้อย (Low VOC) หรือไม่มีเลย (Non VOC)

**หมึกพิมพ์ โดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ**

1) สารสี (Colorant หรือ Pigment)
2) ตัวนำ (Vehicle หรือ Vanish) เป็นตัวเชื่อมให้สารสีติดกับวัสดุต่างๆ

3) ตัวทำละลาย (Solvent) เป็นตัวทำละลายและปรับความข้น ความหนืดของหมึก โดยตัวทำละลายมักจะเป็นสารอินทรีย์ระเหยที่ระเหยออกเมื่อสารสียึดติดกับวัสดุพิมพ์แล้ว
4) สารเติมแต่ง (Additive) ช่วยให้หมึกมีสมบัติตามต้องการ เช่น สารทำให้แห้งเร็ว สารชะลอการแห้ง เป็นต้น

จากบทที่ 1 จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการพิมพ์มีระบบการพิมพ์ที่หลากหลาย เช่น ระบบการพิมพ์แบบออฟเซ็ต เฟล็กโซกราฟี กราวัวร์ เป็นต้น ซึ่งประเภทของหมึกและตัวทำละลายก็ต้องมีความแตกต่างในแต่ละระบบการพิมพ์ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีความแตกต่างกันในสัดส่วนของตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์

| ชนิดหมึกพิมพ์ | สัดส่วนของตัวทำละลายอินทรีย์ |
|---|---|
| High solvent | 30 - 90% |
| Low solvent | 5 – 30 % |
| Water based | น้อยกว่า 5 – 20% |

ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบในหมึกจะระเหยสู่สิ่งแวดล้อมได้ที่อุณหภูมิปกติ หรืออาจระเหยในขั้นตอนการทำหมึกให้แห้งด้วยการเป่าลมร้อน หรือการบ่มด้วยรังสีอัลตรา-ไวโอเลต (UV)

อุตสาหกรรมการพิมพ์ในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำมันปิโตรเลียม (petroleum oil based ink) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารอินทรีย์ระเหย เนื่องจากมีส่วนผสมที่เป็นตัวทำละลายและสารสี โดยตัวทำละลายในหมึกพิมพ์ชนิดนี้มักจะเป็นกลุ่มสารอินทรีย์ระเหย และเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการพิมพ์ เพราะนอกจากจะทำละลายแล้วยังช่วยให้หมึกพิมพ์แห้งเร็ว ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ผู้ประกอบการสามารถเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานได้ โดยตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกพิมพ์มีหลายชนิด เช่น เบนซีน โทลูอีน ไซลีน อะซิโตน นอกจากนี้สารที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องพิมพ์ และล้างหมึกพิมพ์ที่แห้งติดแน่นออกจากแท่นพิมพ์และอุปกรณ์ต่างๆ ก็มีส่วนผสมของสารอินทรีย์ระเหยเช่นกัน

## การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ (แนวทางที่ 1-การเปลี่ยนหมึกพิมพ์)

การเปลี่ยนวัตถุดิบโดยการเลือกใช้หมึกพิมพ์ทางเลือก (Alternative Ink) เช่น หมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลือง หมึกพิมพ์ฐานน้ำ เป็นต้น มีข้อดีคือนอกจากจะสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม แล้วยังลดปริมาณการใช้หมึกได้ ทั้งนี้การเลือกใช้หมึกทางเลือกนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เทคโนโลยี และชนิดสิ่งพิมพ์ของแต่ละโรงงานด้วย

### 1) การเลือกใช้หมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil ink) และหมึกพิมพ์น้ำมันพืช (Vegetable oil ink)

ในอดีตมีวิกฤตการณ์น้ำมันปิโตรเลียมแพง ทำให้อุตสาหกรรมการพิมพ์มองหาวัตถุดิบที่ใช้ทำหมึกพิมพ์แทนน้ำมันปิโตรเลียม โดยการทดลองนำน้ำมันพืชกว่า 2,000 ชนิดมาทดลองเป็นส่วนผสมของหมึกพิมพ์สูตรต่างๆ ในที่สุดก็พบว่าหมึกพิมพ์ที่นำน้ำมันพืชมาเป็นส่วนผสมที่ดีที่สุดคือน้ำมันถั่วเหลือง โดยในปี พ.ศ. 2530 เริ่มมีการใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil ink หรือ Soy ink) ในประเทศต่างๆ โดยเฉพาะที่ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และไต้หวัน และปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมการพิมพ์ของสหรัฐอเมริกา

**รูปที่ 2-3** ตัวอย่างสัญลักษณ์ติดบรรจุภัณฑ์หมึกพิมพ์ฐานน้ำมันถั่วเหลือง

หมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลืองผลิตจากการผสมสีของเม็ดสี (เป็นสารสี) น้ำมันถั่วเหลือง (เป็นตัวทำละลาย) เรซิน (เป็นตัวนำ) และแวกซ์ (เป็นสารเติมแต่ง) โดยที่สัดส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผสมอยู่ในหมึกพิมพ์อาจมากน้อยแตกต่างกันไปตามประเภทการพิมพ์ ทั่วไปมีสัดส่วนน้ำมันถั่วเหลืองอยู่ที่ร้อยละ 20–100 ซึ่งหากหมึกพิมพ์ที่ไม่ได้มีน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 100 หมายถึงยังคงมีส่วนผสมของน้ำมันปิโตรเลียมอยู่ได้สูงถึงร้อยละ 80

ข้อดี[30] ของการใช้หมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลืองสามารถลดการเกิดสารอินทรีย์ระเหยได้ เนื่องจากหมึกมีส่วนประกอบหรือสัดส่วนของน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งเป็นตัวปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยน้อยลง ตลอดจนการทำความสะอาดหมึกพิมพ์และแท่นพิมพ์สามารถเลือกใช้น้ำหรือสารทำความสะอาดอื่นแทนการใช้ตัวทำละลายที่มีสารอินทรีย์ระเหยสูง เช่น ทินเนอร์ โทลูอีน เป็นต้น นอกจากนี้หมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการกักเก็บเม็ดสีได้ดีกว่าทำให้ชิ้นงานมีสีสันที่สด และมีสีดำที่ดำกว่าหมึกพิมพ์น้ำมันปิโตรเลียม

ข้อจำกัด ในการใช้หมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลือง คือหมึกพิมพ์แห้งตัวช้ากว่าหมึกฐานน้ำมันปิโตรเลียม เนื่องจากไม่มีตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยเป็นส่วนผสม การแห้งตัวช้าไม่เป็นปัญหากับกระดาษที่หมึกซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษได้ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ แต่เป็นอุปสรรคกับงานพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิว เช่น กระดาษนิตยสาร ทั้งนี้โรงพิมพ์อาจต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนเพิ่มเติม เช่น สเปร์พ่นลมร้อน

**รูปที่ 2-4** ตัวอย่างสัญลักษณ์ติดบรรจุภัณฑ์หมึกพิมพ์ฐานน้ำมันพืช

30 Illinois Waste Management and Research Center (WMRC), Pollution prevention for the Printing Industry, 1997

ปัจจุบันนอกจากหมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลืองแล้ว ยังมีการพัฒนาหมึกพิมพ์จากน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ด้วย เช่น ปาล์ม สบู่ดำ ทานตะวัน คาโนลา แทนการใช้น้ำมันถั่วเหลืองอย่างเดียว ซึ่งการใช้หมึกพิมพ์น้ำมันพืชเป็นที่นิยมในประเทศแถบทวีปยุโรป

### 2) การเลือกใช้หมึกฐานน้ำ (Water-based inks)

หมึกฐานน้ำ มีการใช้ตัวทำละลายผสมในปริมาณที่น้อย ทำให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณที่น้อยเช่นกัน โดยหมึกฐานน้ำเหมาะสมในการพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์กระดาษ พลาสติก หรือกระดาษแข็ง เนื่องจากไม่มีตัวทำละลาย ทำให้ต้องเพิ่มการอบแห้งหรือสัดส่วนตัวทำละลายในกรณีที่ต้องการพิมพ์หมึกฐานน้ำลงในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นกระดาษบางๆ เช่น ถุงขนมปัง เป็นต้น โดยปัจจุบันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้หมึกฐานน้ำในอุตสาหกรรมการพิมพ์ประเภท Gravure, Flexography และ Screen printing

ข้อดี[31] ของหมึกฐานน้ำที่ทราบกันดีคือเป็นหมึกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ส่งต่อสุขภาพของบุคลากรที่ทำงานภายในโรงพิมพ์ เนื่องจากไม่มีส่วนผสมของตัวทำละลายหรือส่วนผสมที่มีสารอินทรีย์ระเหย และสามารถทำความสะอาดหมึกและอุปกรณ์ด้วยน้ำได้ นอกจากนี้โรงพิมพ์สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นจากการผลิตที่ใช้หมึกฐานน้ำ เช่น ภาชนะบรรจุหมึก ผ้าเช็ดทำความสะอาด เนื่องจากโดยส่วนใหญ่จะเป็นของเสียที่ไม่อันตราย แต่หมึกพิมพ์ยังคงมีส่วนผสมของโลหะหนักอยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติของของเสียกับผู้รับกำจัดก่อน

ข้อจำกัดในการใช้หมึกฐานน้ำที่เป็นปัญหาหลักคือความยุ่งยากในการใช้ เนื่องจากหมึกฐานน้ำมีแรงตึงผิวที่สูงทำให้ความสามารถในการเกาะติดลงบนพื้นผิวของวัสดุพิมพ์ได้น้อยลง ดังนั้นการใช้หมึกฐานน้ำจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีหรือส่วนผสมอื่น (Chemical Additives) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพิมพ์ โดยชนิดและอัตราส่วนของสารเคมีที่ผสมนั้นจะต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับพื้นผิวของวัสดุพิมพ์ และประเภทการพิมพ์ ซึ่งปัญหาที่พบโดยทั่วไปคือบุคลากรประจำโรงพิมพ์ต้องมีความรู้ความเข้าใจทางด้านการผสมสารเคมีให้ถูกต้อง เนื่องจากหากเกิดการผสมสารที่ไม่ตรงตามอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ชิ้นงานมีหมึกพิมพ์ที่ไม่สม่ำเสมอ และอาจสูญเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

31 Illinois Waste Management and Research Center (WMRC), Pollution prevention for the Printing Industry, 1997

เนื่องจากต้องเริ่มผสมหมึกใหม่ ข้อจำกัดที่สำคัญอีกเรื่องของหมึกพิมพ์ฐานน้ำคือ ผู้ประกอบการต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อน (Heat-set) เพื่อให้น้ำหมึกระเหยและแห้ง ซึ่งเป็นค่าใช่จ่ายทางด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้น

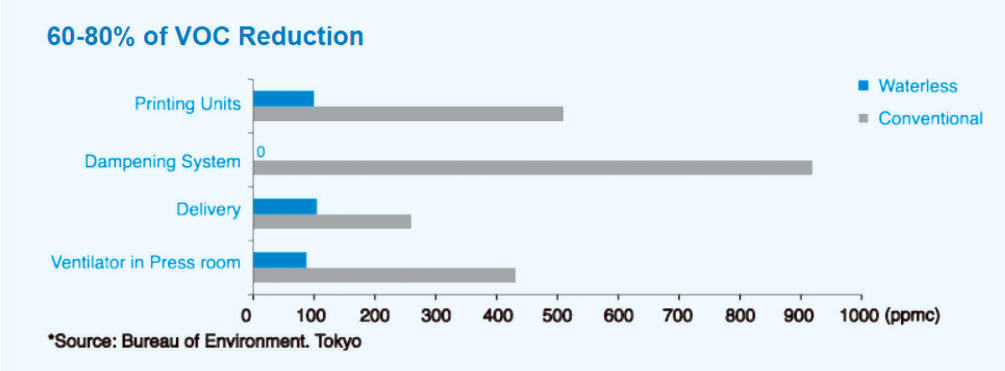
**รูปที่ 2-5** ตัวอย่างสัญลักษณ์ติดบรรจุภัณฑ์หมึกพิมพ์ฐานน้ำ
*(ที่มา: https://magnetips.co/ และ http://www.trackclubco.com)*

### 3) การเลือกใช้หมึกพิมพ์แบบไม่ใช้น้ำสำหรับการพิมพ์ออฟเซ็ต (Waterless offset inks)

ระบบการพิมพ์แบบออฟเซ็ตโดยทั่วไป ซึ่งอาจเรียกระบบการพิมพ์แบบนี้ว่า “Wet-Offset” กระบวนการผลิตมีระบบทำเปียก (Dampening system) ที่ต้องใช้น้ำยาฟาวน์เทนและสารเคมีต่างๆ เพื่อให้หมึกพิมพ์ไม่เกาะในพื้นที่ที่ไม่ต้องการพิมพ์ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยที่สำคัญ จึงได้มีการพัฒนาหมึกพิมพ์แบบไม่ใช้น้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเกาะติดพื้นผิวได้ดี แต่มีความหนืดและความแข็งตัวที่สูงกว่าหมึกพิมพ์ในระบบออฟเซ็ตทั่วไป ทำให้ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิขณะพิมพ์อย่างเคร่งครัด เพื่อรักษาคุณสมบัติของน้ำหมึก และคุณภาพของชิ้นงานพิมพ์

ข้อดี[32] ของการใช้ระบบการพิมพ์ออฟเซ็ตโดยหมึกพิมพ์แบบไม่ใช้น้ำ ที่เห็นได้ชัด คือ กระบวนการผลิตไม่มีระบบทำเปียก หรือไม่ต้องใช้น้ำยาฟาวน์เทนและสารเพิ่มเติมอื่นๆ เช่น IPA ทำให้โรงพิมพ์สามารถลดปริมาณการใช้น้ำ ลดค่าใช้จ่ายในการจัดการน้ำเสีย น้ำปนเปื้อน และข้อดีที่สำคัญคือสามารถลดการเกิดสารอินทรีย์ระเหยในกระบวนการพิมพ์ได้สูงถึงร้อยละ 60-80 (ดังรูป 2-6) ซึ่งส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของบุคลากรในโรงงาน นอกจากนี้ภาพหรือชิ้นงานที่ได้จะมีความคมชัดและสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากหมึกชนิดไม่ใช้น้ำมีความหนาแน่นของหมึกต่อจุดการพิมพ์ที่สูงกว่า

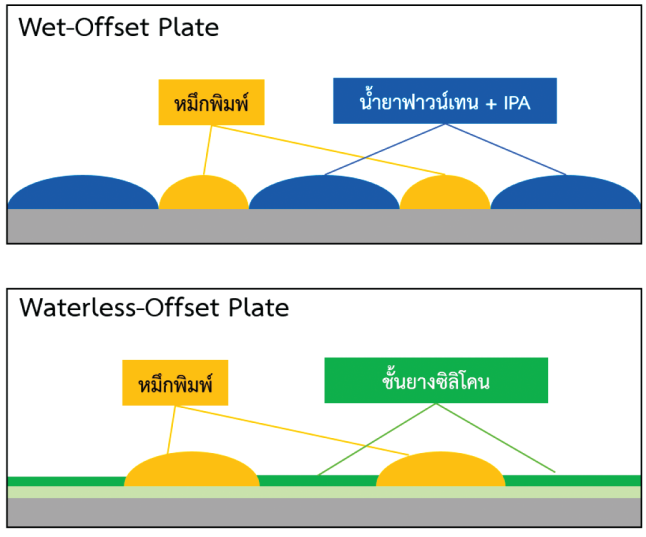
32 International Waterless Printing Association




**รูปที่ 2-6** ปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย (VOC) จากหมึกพิมพ์แบบไม่ใช้น้ำ เทียบกับหมึกพิมพ์ทั่วไป

*(ที่มา: http://www.toraywaterless.com/)*

ข้อจำกัดของการเลือกใช้หมึกพิมพ์แบบไม่ใช้น้ำ คือการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีและต้องลงทุนสูง เนื่องจากแผ่นแม่พิมพ์ (plate) ของระบบนี้จะต่างจากระบบทั่วไป คือใช้ซิลิโคน หรือเรซินในการเคลือบพื้นผิวที่ไม่ต้องการให้หมึกเกาะแทนการเคลือบด้วยน้ำยาฟาวน์เทน ดังรูปที่ 2-7

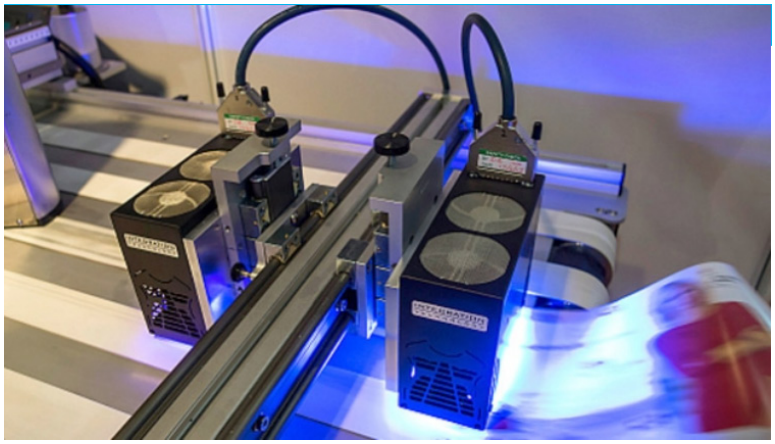



**รูปที่ 2-7** ลักษณะของแผ่นแม่พิมพ์ (plate) สำหรับหมึกพิมพ์แบบไม่ใช้น้ำ เทียบกับหมึกพิมพ์ทั่วไป

*(ดัดแปลงจาก International Waterless Printing Association)*

### 4) การเลือกใช้หมึกพิมพ์ยูวี (UV Curing Ink)

หมึกพิมพ์ยูวีต่างกับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันปิโตรเลียมและหมึกพิมพ์ฐานอื่นตรงที่หมึกพิมพ์ยูวีจะต้องได้รับรังสีในช่วงคลื่นความถี่ที่เหมาะสม อย่างเช่น รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) หรือยูวี (UV) ฉายลงบนชั้นหมึกหลังจากที่พิมพ์หมึกลงบนวัสดุชิ้นงานพิมพ์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Polymerization ซึ่งทำให้หมึกพิมพ์ยูวีเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวเป็นของแข็งทันที หรือที่เรียกว่าเกิดการ Curing[33] ด้วยคุณสมบัติที่แห้งทันทีเมื่อผ่านรังสียูวี ทำให้หมึกพิมพ์ยูวีเป็นที่นิยมในการพิมพ์ลงบนพื้นวัสดุอื่นที่มีผิวมันนอกจากกระดาษ เช่น พลาสติก ไวนิล โลหะ เป็นต้น โดยเป็นที่นิยมอย่างมากในระบบการพิมพ์แบบ Flexography เพื่อพิมพ์บรรจุภัณฑ์พลาสติกหรือป้ายแบรนด์สินค้าพลาสติกต่างๆ



**รูปที่ 2-8** ชิ้นงานพิมพ์ผ่านแท่นฉายแสงยูวีเพื่อทำให้หมึกแห้ง
*(ที่มา: https://www.fespa.com)*

ข้อดีของการใช้หมึกพิมพ์ยูวีที่ทราบกันดีคือแห้งทันทีเมื่อผ่านแสงยูวี ทำให้สามารถพิมพ์ชิ้นงานระดับความเร็วที่สูงได้ และด้วยคุณสมบัติที่จะไม่แห้งถ้าไม่ผ่านรังสียูวี ทำให้หมึกพิมพ์ไม่ติดกับแม่พิมพ์หรือเครื่องพิมพ์ สามารถพิมพ์ต่อเนื่องได้มากขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องทำความสะอาดแม่พิมพ์หรือเครื่องพิมพ์บ่อย ข้อดีที่สำคัญอีกข้อคือหมึกพิมพ์ยูวี คือ มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยที่น้อยลงเมื่อเทียบกับหมึกฐานน้ำมันปิโตรเลียม เนื่องจากไม่มีน้ำมันเป็นตัวทำละลายในหมึก

33 http://kanokwanchonlapoom.blogspot.com/2017/01/blog-post_18.html

ข้อจำกัดของหมึกพิมพ์ยูวีที่พบคือไม่เหมาะกับการพิมพ์ลงพื้นผิวที่มีร่องหรือมีความลึก เพราะหมึกจะแห้งไม่ทั่วถึง หากรังสียูวีฉายลงไปไม่ถึงหมึกด้านล่าง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดในการพิมพ์แบบ Screen หมึกพิมพ์ยูวีลงบนเนื้อผ้า ข้อจำกัดด้านอื่นๆ คือราคาของหมึกพิมพ์สูงกว่าหมึกพิมพ์ชนิดอื่นๆ และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบการพิมพ์ค่อนข้างสูง

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีหมึกพิมพ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณที่น้อยกว่าหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันปิโตรเลียมที่ใช้กันโดยทั่วไปแล้ว แต่โรงงานส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ภายในประเทศไทยยังคงใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำมันฯ อยู่ซึ่งมีเพียงร้อยละ 30 ที่ใช้หมึกพิมพ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น มีการบังคับให้ใช้หมึกพิมพ์น้ำมันพืชชนิด 100% แต่แนวโน้มของอุตสาหกรรมการพิมพ์ที่ใช้หมึกพิมพ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของคู่ค้า ลูกค้า ที่อยู่ในประเทศที่มีการบังคับให้ใช้ผลิตภัณฑ์สิ่งพิมพ์ที่ทำจากหมึกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้น เช่น กฎหมาย Vegetable ink printing Act. ของสหรัฐอเมริกาที่บังคับให้ใช้หมึกฐานน้ำมันพืช ทั้งนี้ผู้ประกอบสามารถดูสรุปข้อดีและข้อจำกัดของหมึกพิมพ์ทางเลือกได้ในตารางที่ 2-1 เพื่อประกอบการพิจารณาตามความเหมาะสมกับอุตสาหกรรมต่อไป

**ตารางที่ 2-1** เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของหมึกพิมพ์ชนิดต่างๆ

| ชนิดหมึกพิมพ์ | นิยมใช้ในประเภทการพิมพ์ | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|---|
| **หมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil ink) และ หมึกพิมพ์น้ำมันพืช (Vegetable oil ink)** | Off-set | ● ลดการเกิดสารอินทรีย์ระเหย<br>● มีคุณสมบัติกักเก็บเม็ดสีที่ดี ทำให้ชิ้นงานมีสีสันที่สด และมีสีดำที่ดำกว่าหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันปิโตรเลียม | ● หมึกแห้งช้ากว่าหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันปิโตรเลียม<br>● ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่มีลักษณะผิวมัน หรือมีการเคลือบผิว เช่น พลาสติก<br>● อาจต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น เครื่องพ่นลมร้อน |

| ชนิดหมึกพิมพ์ | นิยมใช้ในประเภทการพิมพ์ | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|---|
| **การเลือกใช้หมึกฐานน้ำ (Water-based inks)** | Flexography<br>Gravure<br>Screen printing | • เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของบุคลากรในโรงพิมพ์<br>• ไม่มีส่วนผสมของตัวทำละลายหรือสารอินทรีย์ระเหย<br>• สามารถทำความสะอาดหมึก หรือวัสดุอุปกรณ์การพิมพ์ด้วยน้ำเปล่าได้<br>• ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวทำละลาย | • ต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญเนื่องจากมีความยุ่งยากในการใช้งานเพราะต้องเติมสารเคมีอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อลดแรงตึงผิวของน้ำ<br>• อาจต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น เครื่องพ่นลมร้อน |
| **หมึกพิมพ์แบบไม่ใช้น้ำสำหรับการพิมพ์ออฟเซ็ต (Waterless offset inks)** | Off-set | • เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของบุคลากรในโรงพิมพ์<br>• ไม่มีส่วนผสมของตัวทำละลายหรือสารอินทรีย์ระเหย<br>• ไม่ต้องมีระบบทำเปียกหรือไม่ต้องใช้น้ำยาฟาวน์เทนและสารเคมีอื่นๆ เช่น IPA เพื่อลดแรงตึงผิวของหมึก<br>• ลดค่าใช้จ่ายในการจัดการน้ำเสีย<br>• ชิ้นงานมีความคมชัดและสม่ำเสมอมากขึ้น | • ต้องมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องพิมพ์โดยเฉพาะแผ่นแม่พิมพ์ (Plate) ที่มีชั้นยางซิลิโคนเพิ่มขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่แทนน้ำยาฟาวน์เทน |
| **หมึกพิมพ์ยูวี (UV Curing Ink)** | Flexography | • พิมพ์ชิ้นงานได้ในระดับความเร็วสูงเพราะหมึกพิมพ์แห้งทันทีเมื่อผ่านแสงยูวี<br>• มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยที่น้อยลงเมื่อเทียบกับหมึกฐานน้ำมันปิโตรเลียม | • ไม่เหมาะกับการพิมพ์ลงบนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ มีร่อง หรือความลึกที่ต่างกัน เนื่องจากรังสียูวีอาจส่องไม่ถึงหมึกด้านล่างทำให้หมึกไม่แห้ง |

## การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ (แนวทางที่ 2 -การเปลี่ยนสารเคมีอื่นๆ)

นอกจากหมึกพิมพ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการพิมพ์ ยังมีสารเคมีอื่นๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญในกระบวนการผลิต เช่น การผสมไอโซโพลพิลแอลกอฮอล์ (IPA) กับน้ำยาฟาวน์เทน และการใช้ตัวทำละลายในขั้นตอนการทำความสะอาดแม่พิมพ์และล้างอุปกรณ์

### 1) การเลือกใช้น้ำยาฟาวน์เทน (Fountain solution)

น้ำยาฟาวน์เทน คือน้ำยาที่จะไปเคลือบบริเวณที่ไม่ใช่ภาพหรือตัวอักษร เพื่อป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์มาเกาะในบริเวณที่ไม่ต้องการ โดยน้ำยาฟาวน์เทนจะใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ระบบการพิมพ์แบบออฟเซต (offset) ซึ่งมีการใช้น้ำยาฟาวน์เทนผสมกับไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหย เพื่อลดแรงตึงผิวและความหนืดของน้ำยาฟาวน์เทน ซึ่ง IPA เป็นแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยที่สำคัญในกระบวนการพิมพ์ โดยทั่วไปจะผสม IPA ในอัตราส่วนร้อยละ 2-15 บรรจุในถังที่มีการติดตั้งเครื่องทำความเย็นเพื่อลดการระเหยของ IPA โดยการควบคุมอุณหภูมิ ดังรูป 2-9

**รูปที่ 2- 9** ตัวอย่างเครื่องทำความเย็นและหมุนเวียนน้ำยาฟาวน์เทน (Recirculation & Refrigeration Unit) ในระบบการพิมพ์แบบ off set

*(ที่มา: http://www.zfc-printing.com และ โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)*

ในปัจจุบันต่างประเทศได้มีการพัฒนาน้ำยาฟาวน์เทนให้มีชนิด Low-VOC และ Non-VOC โดยพัฒนาคุณสมบัติน้ำยาฟาวน์เทนให้มีความหนืดและแรงตึงผิวที่ลดลง โดยการเติมสารอื่นแทน IPA เช่น กลีเซอรีน (Glycerin) และ ไกลคอล (Glycol) ทำให้เกิดไอระเหยที่น้อยกว่าและใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า

**รูปที่ 2-10** น้ำยาฟาวน์เทน ชนิด Non-VOCs

PRISCO® Alkaless[34, 35] คือ สารทดแทนแอลกอฮอล์ หรือ IPA ที่ใช้เติมในน้ำยาฟาวน์เทนชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันดีและได้รับการยืนยันจากสมาคมการพิมพ์ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย ถึงเรื่องปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในระดับที่น้อยถึงน้อยมาก (Loe – Very low VOCs) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าการใช้ IPA ในหลายด้าน เช่น มีจุดวาบไฟที่สูงกว่าทำให้ไม่ติดไฟง่าย มีจุดเดือดสูงกว่า IPA ทำให้ไม่ระเหยได้ง่ายในอุณหภูมิปกติและปล่อยสารอินทรีย์ระเหยน้อยกว่ามาก และสิ้นเปลืองน้อยกว่าโดยมีปริมาณการใช้ที่น้อยกว่า เพราะใช้ผสมในอัตราส่วนร้อยละ 0.7 - 3 และอัตราการระเหยต่ำกว่า

34 Office of Technical Assistance, Executive office of Environmental Affairs, Commonwealth of Massachusetts. Toxics Use Reduction Case Study: Alcohol Free Fountain Solutions at AMERICRAFT CARTON, INC. (1993)

35 Printing Industries Association of Australia. Reducing VOC solvent use in the Printing Industry

**รูปที่ 2- 11** ตัวอย่าง PRISCO® Alkaless สารทดแทน IPA ที่ใช้เติมในน้ำยาฟาวน์เทน
*(ที่มา: https://prisco.com)*

### 2) การเลือกใช้สารทำความสะอาด (Alternative cleaning solvent)

การทำความสะอาดในกระบวนการผลิตของโรงพิมพ์ เป็นกระบวนหนึ่งที่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณมากจากการใช้สารทำความสะอาด (Cleaning solvent) ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย ชะล้างคราบหมึกและน้ำมันออกจากเครื่องพิมพ์ แม่พิมพ์ ลูกกลิ้ง โดยการทำความสะอาดจะมีหลายช่วงในระหว่างวัน เช่น การทำความสะอาดในช่วงเตรียมความพร้อมของเครื่อง ช่วงขั้นตอนการปรับสีก่อนปริ้นท์จริง ช่วงพักเครื่อง และภายหลังการใช้เครื่อง เป็นต้น ซึ่งสารทำความสะอาดที่ใช้ทั่วไปจะมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ระเหยที่สำคัญ เช่น เมทธานอล โทลูอีน และไตรคลอโรเอทธิลีน เป็นต้น

เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยจากสารทำความสะอาด เป็นอันตรายและส่งผลต่อสุขภาพของบุคลากรในโรงพิมพ์ และสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการคิดค้นสารทำความสะอาดทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยอาจมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยน้อยหรือไม่มีเลย (Low/Non VOCs)

## 2.1) สารทำความสะอาดที่มีส่วนประกอบของไลโมนีน (D-Limonene)

ไลโมนีนเป็นสารจากธรรมชาติ โดยสกัดจากผลไม้รสเปรี้ยว (Citrus fruit) เช่น ส้ม มะนาว (ดังรูปที่ 2-12) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดใกล้เคียงกับสารทำความสะอาดทั่วไปที่มีส่วนประกอบจากน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum based solvents)

แม้ว่าราคาของสารทำความสะอาดชนิดนี้จะมีราคาที่สูงกว่าสารทำความสะอาดทั่วไป แต่เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ต่อการล้างชิ้นส่วน เช่น ลูกกลิ้ง พบว่าใช้ในปริมาณที่น้อยกว่ามาก และจะยิ่งใช้น้อยลงกว่าเดิมในกรณีที่หมึกพิมพ์ที่ใช้เป็นหมึกฐานน้ำมันพืช น้ำมันถั่วเหลือง หรือหมึกฐานน้ำ โดยจะใช้ผสมกับน้ำในอัตราส่วนเพียงร้อยละ 20-25 ทั้งนี้มีข้อควรระวังคือไม่ควรใช้กับลูกกลิ้งยาง (Rubber Rollers) เพราะจะทำปฏิกิริยาทำให้เนื้อยางบวมและเสียได้[36]

**รูปที่ 2-12** ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่มีองค์ประกอบของไลโมนีน
*(ที่มา: https://www.anthemprintingsf.com/)*

นอกจากนี้สารทำความสะอาดที่มีส่วนประกอบของไลโมนีน หรือ Citrus มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้งานมากกว่าเมื่อได้รับสัมผัส โดยในต่างประเทศจะใช้สารทำความสะอาดประเภทนี้ในการทำความสะอาดมือของผู้ปฏิบัติงานแทนการใช้ตัวทำละลายทั่วไปที่มีความอันตราย เช่น การใช้ผ้าชุบทินเนอร์ทำความสะอาดมือ (ดังรูปที่ 2-13)

36 http://www.ppiatlanta.com/pdfs/DataSheets/D-Limonene-%20uses.pdf

**รูปที่ 2-13** ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่มีองค์ประกอบของไลโมนีน
สำหรับทำความสะอาดมือที่ปนเปื้อนหมึกพิมพ์ *(ที่มา: www.permatex.com)*

## 2.2) สารทำความสะอาดที่มีส่วนประกอบจากน้ำมันแร่ (Mineral Oil based)

โดยพัฒนาให้มีจุดวาบไฟ (Flash point) และจุดเดือดที่สูงขึ้น เพื่อลดอัตราการระเหยของสารทำความสะอาด ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองของสารลดลงด้วย โดยทั่วไปมีการพัฒนาจุดวาบไฟให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 60°C (Low VOC) จนถึงสูงกว่า 100°C (Non VOC)

สารทำความสะอาดชนิดนี้เหมาะกับการใช้ล้างทำความสะอาดผ้ายาง ลูกกลิ้ง และชิ้นส่วนอื่นๆ ทั้งที่เป็นการล้างด้วยผู้ปฏิบัติงาน (Manual cleaning) หรือการใช้เครื่องล้างอัตโนมัติ (Automatic washing device)[37]

**รูปที่ 2-14** ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่มีองค์ประกอบจากน้ำมันแร่
*(ที่มา: https://www.schwegmannnet.de)*

37 https://www.schwegmannnet.de

## › การปรับปรุงอุปกรณ์และเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต[38, 39 40]

การควบคุมสารอินทรีย์ระเหยโดยการปรับปรุงเทคโนโลยี อาจเริ่มจากการปรับเปลี่ยนอย่างง่ายๆ และมีค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก เพื่อกำจัดหรือลดการเกิดมลพิษในอุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ โดยเริ่มจากการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

### 1) การปรับปรุงอุปกรณ์

ภาชนะใส่หมึก สารทำความสะอาด หรือตัวทำละลาย ควรปิดให้มิดชิดตลอดเวลาเมื่อไม่ได้อยู่ระหว่างการใช้งานหรือการถ่ายเทภาชนะบรรจุ โดยทั่วไปควรนำบรรจุตัวทำละลายหรือสารทำความสะอาด เช่น ทินเนอร์ อะซิโตน IPA ควรใส่ในภาชนะที่มีปากแคบ เพื่อลดอัตราการระเหยของสารเวลาใช้ เช่น การใส่ในขวดพลาสติกชนิด LDPE บรรจุสารเคมีชนิดปากแคบ (Squeeze bottle) ดังรูป 2-15

**รูปที่ 2-15** ตัวอย่างขวดพลาสติกชนิด LDPE บรรจุสารเคมีชนิดปากแคบ (Squeeze bottle)
*(ที่มา: www.sciencecompany.com)*

ในกรณีที่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายภาชนะสำหรับตัวทำละลาย ไม่ควรเทสารตัวทำละลายลงในภาชนะเปิด ควรใช้ท่อเชื่อมระหว่างภาชนะปิดทั้งสองภาชนะ เมื่อถ่ายโอนตัวทำละลายเสร็จต้องรีบปิดภาชนะทันที ส่วนภาชนะเปล่าที่เคยบรรจุสารตัวทำละลายและท่อเชื่อมต้องปิดฝาหรือจัดเก็บในที่ไม่สัมผัสอากาศทันที

38 Guidance on VOC Substitution and Reduction for Activities Covered by the VOC Solvents Emissions Directive. AEA Energy and Environment. 2009

39 Environment Code of Practice for Reduction of VOC Emission from the Commercial/industrial Printing Industry. CCMC. Canada. 1999

40 Reference Document on Best Available Techniques on Surface Treatment using Organic Solvents. European Commission. 2007

## การปรับปรุงอุปกรณ์ขั้นตอนการทำความสะอาด

- การใช้น้ำยาทำความสะอาดในปริมาณที่น้อยที่สุด เช่น ภาชนะบรรจุน้ำยาทำความสะอาดต้องปิดมิดชิด การลดขนาดของผ้าเช็ดทำความสะอาด จัดทำการบันทึกปริมาณการใช้ตัวทำละลายของพนักงานเป็นประจำ
- ควรใช้ถุงมือเพื่อป้องกันหมึกปนเปื้อนกับมือของพนักงาน เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำยาทำความสะอาดส่วนบุคคล
- การใช้ภาชนะชนิด **Safety Plunger Cans** บรรจุตัวทำละลายหรือสารทำความสะอาด โดยของเหลวจะถูกปล่อยออกมาเมื่อถาดด้านบนถูกกดลงด้วยผ้ายุต วิธีนี้จะช่วยลดปริมาณการใช้สารทำความสะอาด และลดปริมาณการระเหยของสารอินทรีย์
- เศษผ้าที่ปนเปื้อนหมึกและน้ำยาทำความสะอาดต้องจัดเก็บในภาชนะปิดเสมอ

**รูปที่ 2-16** Safety Plunger Cans บรรจุตัวทำละลายหรือสารทำความสะอาด

**รูปที่ 2-17** การเช็ดทำความสะอาดลูกกลิ้งแม่พิมพ์โดยกดตัวทำละลายจากกระบอก Safety Plunger Cans *(ที่มา: http://niceclean.be/nl)*

**รูปที่ 2-18** ภาชนะจัดเก็บผ้ายุตที่ปนเปื้อนตัวทำละลายและหมึกพิมพ์

**รูปที่ 2-19** ตัวอย่างภาชนะจัดเก็บผ้ายุตที่ปนเปื้อนตัวทำละลายและหมึกพิมพ์ และการจัดเก็บกระป๋องหมึกพิมพ์ ที่ควรมีฝาปิดตลอดเวลา

*(ที่มา: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)*

### 2) การปรับปรุงเทคโนโลยี

จากที่กล่าวในบทที่ 1 ถึงแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารอินทรีย์ระเหยในอุตสาหกรรมการพิมพ์ จะทำให้ทราบว่าขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเป็นกระบวนการหนึ่งในกระบวนการผลิตที่มีปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยสูง เนื่องจากมีการใช้ตัวทำละลาย และสารทำความสะอาดในปริมาณมาก ดังนั้นการปรับปรุงเทคโนโลยีสำหรับล้างทำความสะอาด จึงมีความสำคัญและสามารถช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยได้

การใช้เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ ทำความสะอาดชิ้นส่วนที่ปนเปื้อนในระบบปิด โดยเครื่องจะกลั่นเอาตัวทำละลายกลับคืนได้ ช่วยลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายและลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากขั้นตอนการทำความสะอาด

**รูปที่ 2-20** เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์อัตโนมัติ
*(ที่มา: AEA Energy and Environment. 2009)*

Part washer

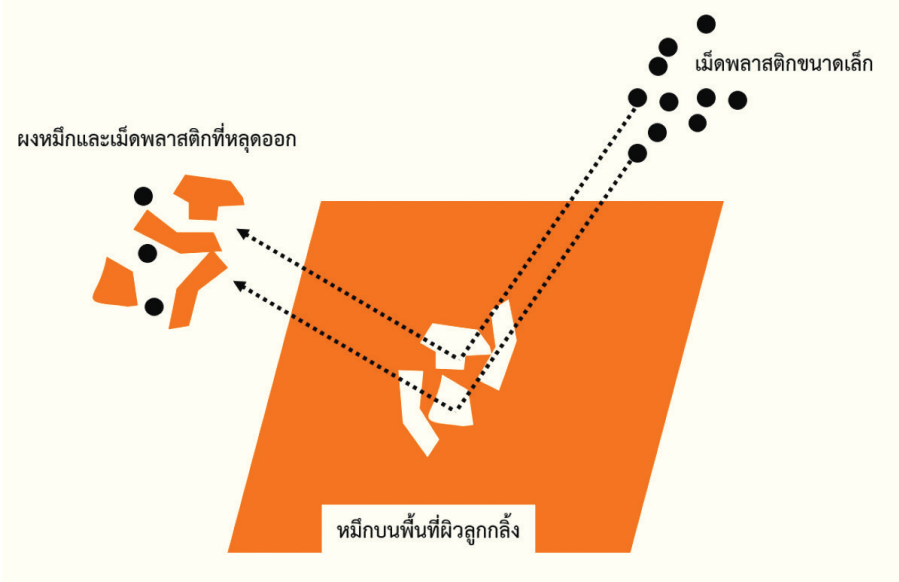
Anillox washer

Plate washer

**รูปที่ 2-21** เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนของเครื่องพิมพ์อัตโนมัติ

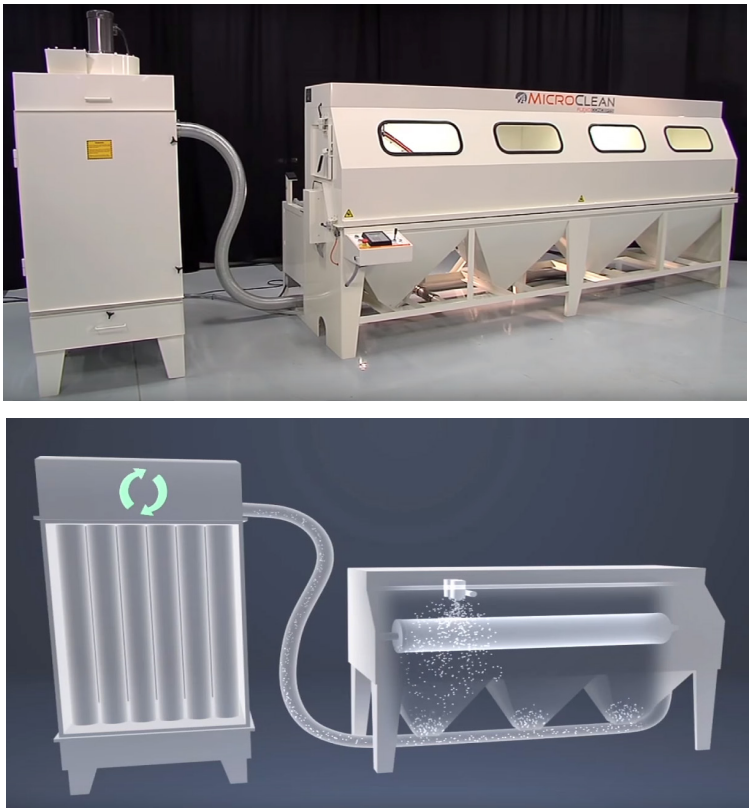
*(ที่มา: http://flexowash.com)*

นอกจากเครื่องล้างทำความสะอาดอัตโนมัติแล้ว ยังมีเทคโนโลยีที่ไม่มีการใช้สารตัวทำละลายในการทำความสะอาดเลย ทำให้ไม่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของ Micro-Clean® โดยมีหลักการคือใช้เม็ดพลาสติกขนาดเล็ก (Dry media) พ่นไปยังพื้นผิวลูกกลิ้งที่ต้องการทำความสะอาด ทำให้หมึกที่ติดอยู่กับผิวลูกกลิ้งหลุดออกไปรวมกับเม็ดพลาสติก และมีการรวบรวมและจัดเก็บเพื่อรอกำจัดต่อไป โดยเม็ดพลาสติกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ดังรูปที่ 2-22 ถึง 2-24




**รูปที่ 2-22** หลักการทำความสะอาดโดยไม่ใช้ตัวทำละลายของเครื่อง Micro-Clean®

**รูปที่ 2-23** เม็ดพลาสติกขนาดเล็ก (Dry Media) สำหรับเครื่อง Micro-Clean®
*(ที่มา: http://www.micro-clean.com)*




**รูปที่ 2-24** เครื่องทำความสะอาดลูกกลิ้ง (Anilox roller) Micro-Clean®

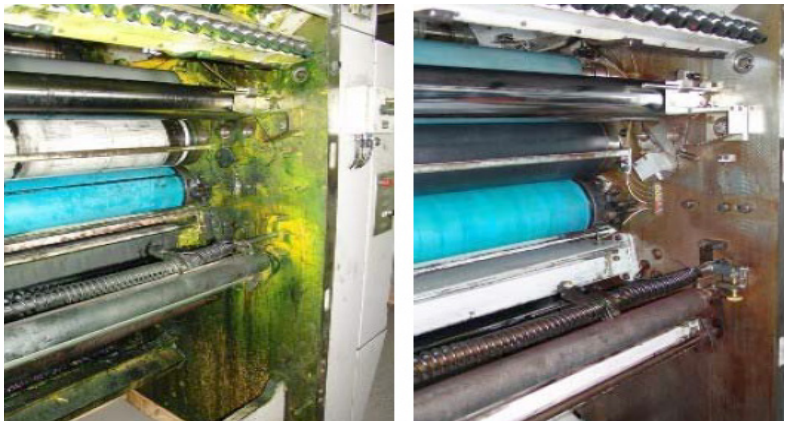
*(ที่มา: http://www.micro-clean.com)*

## การทำความสะอาดเครื่องพิมพ์และอุปกรณ์ด้วยเครื่องทำความสะอาดแบบใช้น้ำแข็งแห้ง (Dry Ice Blasting)

หลักการทำงานโดยอาศัยการกระแทกของคาร์บอนไดออกไซในเฟสของแข็งด์ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เมื่อกระทบกับพื้นผิวจะถ่ายเทความเย็นให้กับผิว และเปลี่ยนสถานะตัวเองเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การถ่ายเทความเย็นให้กับพื้นผิวทำให้เกิดการหดตัว และพื้นผิวที่หดตัวแตกต่างกัน ทำให้เกิดช่องว่าง จะทำให้พื้นผิวที่ต่างชนิดกันหลุดออกจากกัน

**รูปที่ 2-25** การทำความสะอาดเครื่องพิมพ์ด้วย Dry Ice Blasting
*(ที่มา: http://niceclean.be/nl)*

ปัจจุบันมีการทำความสะอาดเครื่องพิมพ์ด้วยน้ำแข็งแห้ง ($CO_2$) โดยเป่าบนพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาดด้วยความเร็ว 300 เมตร/วินาที เป็นเทคนิคที่แนะนำเนื่องจากปราศจากการใช้ตัวทำละลายหรือสารทำความสะอาดที่เป็นสารอินทรีย์ระเหย แต่จะเหมาะสมกับโรงงานที่ใช้น้ำแข็งแห้งไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพราะถ้ากำลังการผลิตที่สูงมากกว่านี้ ควรซื้อเครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติจะคุ้มทุนกว่า และพนักงานต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับน้ำแข็งแห้ง เพราะน้ำแข็งแห้งอาจเป็นอันตรายได้



**รูปที่ 2-26** การทำความสะอาดเครื่องพิมพ์ด้วยน้ำแข็งแห้ง

*(ที่มา: AEA Energy and Environment. 2009)*

| ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|
| • ไม่ต้องถอดชิ้นส่วนของเครื่องออก เนื่องจากเกร็ดน้ำแข็งสามารถเข้าถึงได้เกือบทุกจุด<br>• ใช้เวลาน้อยสำหรับการทำความสะอาดและไม่ต้องรอให้เครื่องจักรเย็น<br>• ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม<br>• ไม่ทำลายพื้นผิว<br>• ไม่มีเศษวัสดุตกค้าง | • อาจต้องมีเครื่องผลิตน้ำแข็งแห้ง<br>• ต้องมีภาชนะสำหรับจัดเก็บน้ำแข็งแห้ง<br>• ต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ |

## › การจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีภายในโรงงาน

การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตและวัตถุดิบ เป็นแนวทางการลดการเกิดสารอินทรีย์ระเหยได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อาจมีต้นทุนในการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ได้ ซึ่งต้องใช้ทุนในการดำเนินการมาก ทั้งนี้ ในประเทศไทย โดยสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (พ.ศ. 2555) ได้แนะแนวทางการจัดการสารอินทรีย์ระเหยอย่างง่ายที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งแบ่งออกเป็น 12 แนวทาง[41] ดังนี้

41 คู่มือวิชาการ เรื่อง สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2555

**แนวทางที่ 1 :** ลดบริเวณจุดที่เป็นพื้นที่เก็บรักษา และเตรียมสารเคมี หรือมีห้องส่วนกลาง

**แนวทางที่ 2 :** จัดหาฝาปิดและภาชนะใส่สารเคมี

**แนวทางที่ 3 :** ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม

**แนวทางที่ 4 :** เก็บสารเคมีไว้ใช้ครั้งต่อไป และนำสารเคมีกลับมาใช้ทันทีที่ทำได้

**แนวทางที่ 5 :** บันทึกปริมาณการใช้สารเคมี

**แนวทางที่ 6 :** จัดสรรพื้นที่ให้พนักงานทำงานได้อย่างคล่องตัวและเป็นสัดส่วน

**แนวทางที่ 7 :** ปิดฝาภาชนะใส่สารเคมีในขณะปฏิบัติงานหรือใส่ภาชนะที่มีปากแคบ

**แนวทางที่ 8 :** ปรับเปลี่ยนวิธีการดำเนินงานให้เหมาะสม เพื่อลดการระบายสารอินทรีย์ระเหย

**แนวทางที่ 9 :** อบรมความรู้เรื่องสารเคมีและวิธีปฏิบัติเมื่อได้รับสัมผัสสารเคมี รวมทั้งการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

**แนวทางที่ 10 :** กำหนดขั้นตอน วิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องให้กับผู้ปฏิบัติงาน ได้รับทราบและสวมใส่ อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลอย่างสม่ำเสมอ

**แนวทางที่ 11 :** คัดแยกและลดจุดที่จัดเก็บและทิ้งกากของเสีย

**แนวทางที่ 12 :** กำหนดระยะห่างการปฏิบัติงานให้เหมาะสม

**คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission)** ได้กำหนดแนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมที่มีการปรับสภาพพื้นผิวโดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ เป็นต้น โดย IPCC Directive ได้ระบุว่าแนวทางที่ดีและควรปฏิบัติในขั้นตอนแรกคือ การจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี (Environmental Management System: EMS) ซึ่งเป็นเครื่องมือช่วยให้อุตสาหกรรมสามารถดูแล ตรวจสอบ ปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน นโยบาย เทคโนโลยี เพื่อให้เหมาะสมกับองค์กรอยู่เสมอ โดย EMS ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้[42]

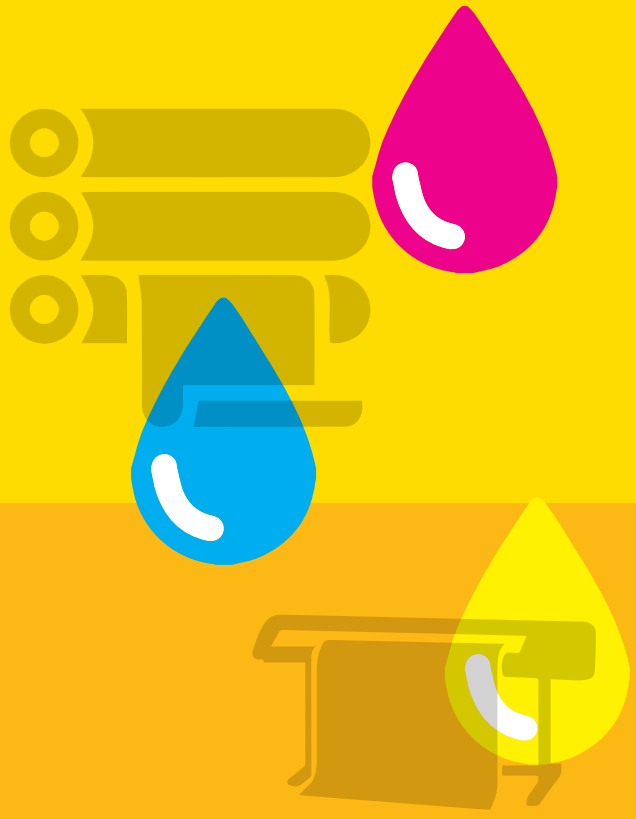
1) การกำหนดและทำความเข้าใจเกี่ยวกับนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อม ผู้บริหารระดับสูงมีหน้าที่ในการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม โดยต้องศึกษาข้อมูลทางด้านกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องทั้งหมด มีความมุ่งมั่นในการป้องกันและควบคุมมลพิษ กำหนดกรอบการทำงาน วัตถุประสงค์และเป้าหมายทางด้านสิ่งแวดล้อมให้ชัดเจน และสื่อสารทำความเข้าใจกับพนักงานทุกคน

42 Reference Document on Best Available Techniques on Surface Treatment using Organic Solvents. European Commission. 2007

2) การวางแผนและกำหนดเป้าหมาย ทบทวนวัตถุประสงค์และกำหนดขั้นตอนในการทำงานอย่างละเอียด ระบุหน่วยงานผู้รับผิดชอบในการทำงานแต่ละขั้นตอนมีการวางแผนงานเพื่อปรับปรุง ตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ
3) การดำเนินการตามขั้นตอนอย่างมีประสิทธิภาพ ต้องประกอบด้วย
   - การกำหนดโครงสร้างและหน้าที่ความรับผิดชอบ
   - การฝึกอบรมเพิ่มความสามารถและสร้างความตระหนักทางด้านสิ่งแวดล้อมให้พนักงาน
   - การสื่อสารที่ดีและการมีส่วนร่วมของพนักงาน
   - การสร้างระบบเอกสารและการดูแลปรับปรุงเอกสารข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน
   - การสร้างระบบควบคุมกระบวนการให้มีประสิทธิภาพ เช่น การระบุตัวชี้วัดการจัดทำเอกสารวิเคราะห์สภาวะการทำงาน (Checklist)
   - การจัดทำแผนการบำรุงรักษา
   - การเตรียมความพร้อมในกรณีฉุกเฉิน
4) การตรวจสอบและแก้ไข
5) การทบทวนและการจัดการ โดยผู้บริหาร ผู้จัดการทบทวนตรวจสอบการทำงานตามนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ตั้งไว้หรือไม่ และควรปรับปรุง จัดการอย่างไร
6) การจัดทำแถลงการณ์ด้านสิ่งแวดล้อม โดยการจัดทำสื่อเพื่อรายงานผลการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมให้บุคคลภายนอกได้รับทราบ
7) การตรวจสอบโดยหน่วยงานอื่นๆ ที่ได้รับการรับรอง
8) การพิจารณาข้อคำนึงถึงในการรื้อถอน
9) การพัฒนาเทคโนโลยีที่สะอาดดำเนินการศึกษาวิจัย
10) การเปรียบเทียบ ดำเนินการตรวจสอบเปรียบเทียบอย่างเป็นระบบ กับโรงงานอื่นๆ ในกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน และกับหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตนเองอยู่เสมอ

บทที่ 3

# ระบบรวบรวม บำบัด และกำจัดสารอินทรีย์ระเหย



**การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศเพิ่มเติม (Add-on control equipment) เพื่อกำจัดหรือลดการปลดปล่อยมลพิษอากาศออกสู่บรรยากาศ**[43, 44, 45]

เหมาะสำหรับกรณีที่อุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์และบรรจุภัณฑ์บางโรงงานที่ไม่สามารถทำการปรับปรุงกระบวนการหรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิตได้ หรือมีการปรับปรุงแล้วแต่ยังคงมีสารอินทรีย์ระเหยเกิดขึ้นอยู่ในปริมาณมาก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 เทคนิคย่อย ดังนี้

## 3.1 ระบบรวบรวมและบำบัดสารอินทรีย์ระเหย

เทคนิคการนำสารอินทรีย์ระเหยจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ กระบวนการดูดซึม (Absorption) กระบวนการดูดซับ (Adsorption) กระบวนการควบแน่น (Condensation) และกระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน (Membrane Separation)

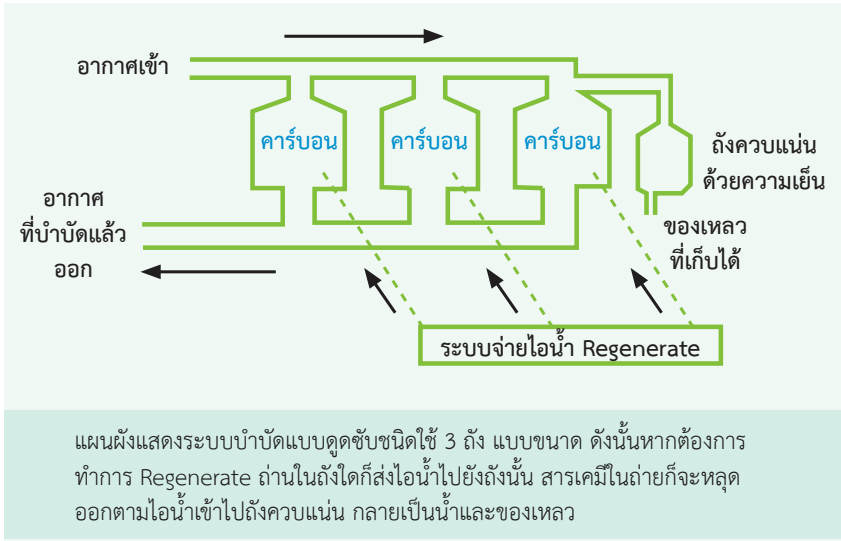
- **กระบวนการดูดซับ (Adsorption)**

  เป็นเทคนิคที่ใช้การดูดซับสารอินทรีย์ระเหยไว้บนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ วัสดุดูดซับที่ใช้โดยทั่วไปนิยมใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือซีโอไลท์ (Zeolite) วิธีนี้เหมาะกับมลพิษอากาศที่มีอุณหภูมิไม่สูงมากและความชื้นต่ำ วิธีนี้สามารถบำบัดสารอินทรีย์ระเหยที่มีความเข้มข้นสูง และมีปริมาณอากาศไหลเข้าระบบมากได้ แต่เมื่อวัสดุดูดซับถูกใช้งานไปในระยะหนึ่ง จะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง เนื่องจากพื้นผิวของวัสดุดูดซับเต็ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้วัสดุดูดซับกลับคืนสภาพ (Regeneration) โดยใช้ไอน้ำหรือลมร้อนพ่นไปที่ผิววัสดุดูดซับเพื่อไล่สารอินทรีย์ระเหยที่เกาะที่ผิวของวัสดุดูดซับออก ซึ่งอาจนำสารอินทรีย์ระเหยที่ได้ไปควบแน่น (Condensation) เพื่อนำสารอินทรีย์ระเหยกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตได้

43 Reference Document on Best Available Techniques on Surface Treatment using Organic Solvents. European Commission. 2007

44 Byung R. Kim. VOC Emissions from Automotive Painting and Their Control: A Review. Environmental Engineering Research (2011)

45 BAT guidance note on BAT for solvent use in coating, Cleaning and degreasing. EPA. 2008




**รูปที่ 3-1** ภาพแสดงระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์

*(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2018)*

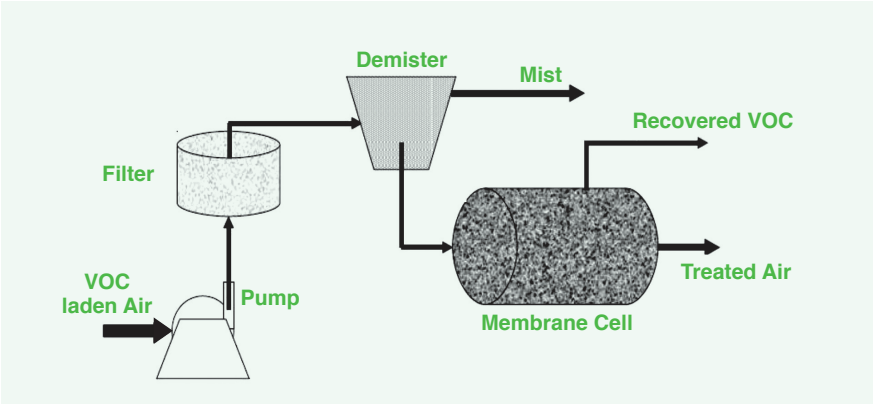
- **กระบวนการดูดซึม (Absorption)**

เป็นเทคนิคที่ใช้การแลกเปลี่ยนระหว่างมวลของก๊าซเสียที่ละลายน้ำ หรือก๊าซเสียที่ไม่ละลายน้ำและน้ำมันซึ่งจะมีราคาสูงกว่า หลังจากนั้นก็นำน้ำหรือน้ำมันที่ใช้เป็นสารดูดซึม ไปบำบัดต่อไป

**รูปที่ 3-2** ภาพแสดงกระบวนการดูดซึม *(ที่มา: วราวุธ เสือดี, 2555)*

- **กระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน (Membrane Separation)**

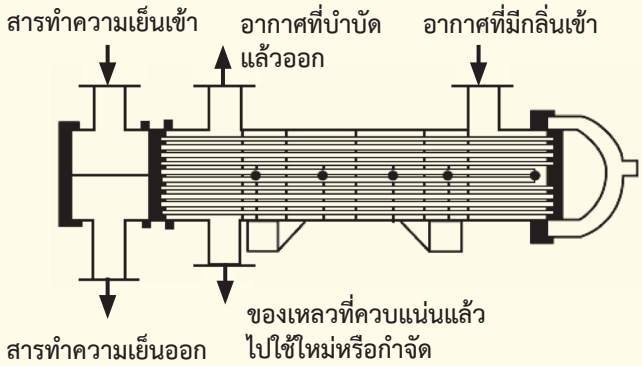
วิธีนี้เหมาะสมกับสารอินทรีย์ระเหยความเข้มข้นสูง เป็นเทคนิคที่ปล่อยให้อากาศเสียผ่านเยื่อเมมเบรน โดยเยื่อเมมเบรนที่มีคุณสมบัติเฉพาะจะกรองสารมลพิษอื่นๆ ไว้และปล่อยให้สารอินทรีย์ระเหยผ่าน ซึ่งอาจนำสารอินทรีย์ระเหยที่ได้ไปควบแน่น (Condensation) เพื่อนำสารอินทรีย์ระเหยกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตได้




**รูปที่ 3-3** ภาพแสดงกระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน *(ที่มา: Dr. C. B. Majumder, 2014)*

- **กระบวนการควบแน่น (Condensation)**

วิธีนี้เหมาะสมกับก๊าซเสียที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยสูง เมื่อก๊าซเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยปนเปื้อนเข้าสู่ระบบ สารอินทรีย์ระเหยบางส่วนอาจถูกทำให้กลับคืนมาใหม่ โดยวิธีการทำให้ก๊าซเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยปนเปื้อนเย็นที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส สารอินทรีย์ระเหยจะควบแน่นเป็นของเหลว และสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้อีกครั้ง



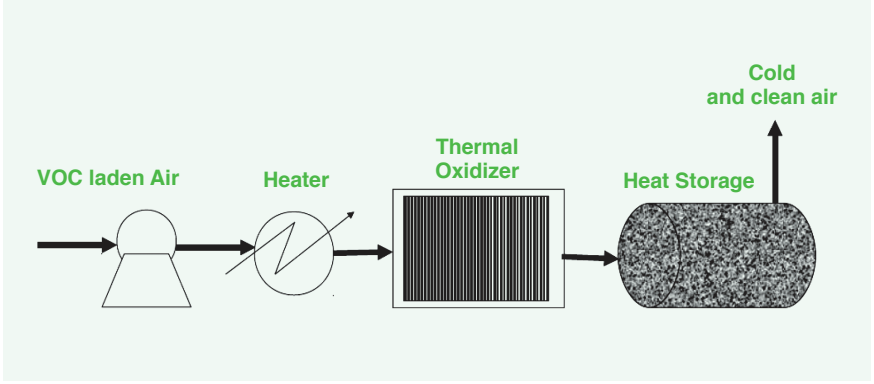

**รูปที่ 3-4** ภาพแสดงกระบวนการควบแน่น *(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2018)*

## 3.2 ระบบกำจัดสารอินทรีย์ระเหย

เทคนิคการทำลายสารอินทรีย์ระเหย ซึ่งได้แก่ กระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ความร้อน (Thermal Oxidation) และกระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Oxidation)

- **กระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ความร้อน (Thermal Oxidation)**

ก๊าซเสียและก๊าซออกซิเจนจะถูกปล่อยผ่านเข้าห้องออกซิเดชั่น (Oxidation chamber) ซึ่งจะมีแผ่นกั้นขวางการไหลของอากาศ เพื่อชะลอให้ก๊าซเสียมีอุณภูมิสูงขึ้น และถูกทำลายไปก่อนที่จะออกจากห้อง โดยในห้องนี้จะใช้อุณหภูมิสูงโดยรักษาอุณภูมิให้อยู่ใน 680–750 องศาเซลเซียส ดังนั้นวิธีการบำบัดแบบนี้จึงเหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่มีก๊าซเสียไหลเข้าระบบแบบต่อเนื่อง เนื่องจากต้องรักษาอุณหภูมิในห้องให้ร้อนตลอดจะได้ไม่ต้องเสียพลังงานในการเริ่มระบบใหม่

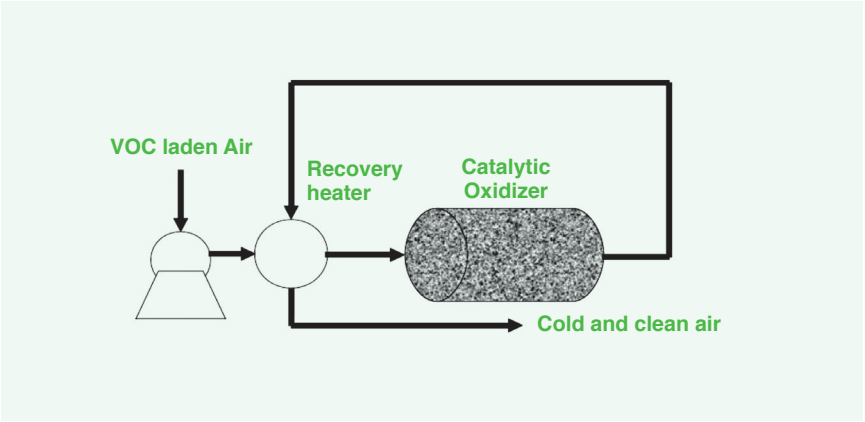



**รูปที่ 3-5** ภาพแสดงกระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ความร้อน

*(ที่มา: Dr. C. B. Majumder, 2014)*

- **กระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Oxidation)**

หลักการจะคล้ายกับการออกซิเดชั่นโดยใช้ความร้อน แต่วิธีนี้จะเพิ่มสารเร่งปฏิกิริยาโดยทั่วไปใช้แพลทินัม (Platinum) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยให้สารอินทรีย์ย่อยสลายได้เร็วขึ้นในอุณหภูมิในช่วง 500-750 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าวิธี Thermal Oxidation




**รูปที่ 3-6** ภาพแสดงกระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

*(ที่มา: Dr. C. B. Majumder, 2014)*

**ตารางที่ 3-1** แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของระบบบำบัดสารอินทรีย์ระเหย

| ประเภทระบบบำบัด | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| **กระบวนการดูดซับ (Adsorption)** | บำบัดก๊าซเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยความเข้นข้นสูงได้ | ต้องตรวจสอบประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับ |
| **กระบวนการดูดซึม (Absorption)** | สามารถบำบัดสารอินทรีย์ระเหยที่ละลายน้ำได้ | ทั่วไปใช้ได้ดีกับอนุภาค แต่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพที่ดีกับสารอินทรีย์ระเหย |
| **กระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน (Membrane Separation)** | สามารถบำบัดกลิ่นได้ และสารอินทรีย์ระเหยที่ละลายน้ำได้ | ต้องเปลี่ยนเยื่อเมมเบรน |
| **กระบวนการกลั่นตัว (Condensation)** | บำบัดก๊าซเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยความเข้นข้นสูงได้ | ต้องใช้ไอเย็นที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อน |
| **กระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ความร้อน (Thermal Oxidation)** | บำบัดก๊าซเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยความเข้นข้นสูงได้ | เหมาะกับระบบที่มีก๊าซเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องเพราะต้องรักษาอุณหภูมิ |
| **กระบวนการออกซิเดชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Oxidation)** | ● บำบัดก๊าซเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยความเข้นข้นสูงได้ | ● เหมาะกับระบบที่มีก๊าซเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องเพราะต้องรักษาอุณหภูมิ |

# VOCs

**เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม**

75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท แขวงราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
http://www.diw.go.th