



คู่มือการประเมินการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ
สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมีในประเทศไทย
(ฉบับปรับปรุงล่าสุด)



ตุลาคม 2558

คณะทำงานพัฒนาคู่มือการประเมินการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ
จากโรงงานอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี

สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ	1
1.1 ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ (Pollutant Release and Transfer Register (PRTR)) คืออะไร.....	1
1.2 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของการพัฒนาระบบ PRTR ในประเทศไทย.....	2
1.3 ประโยชน์จากการจัดทำระบบ PRTR.....	3
1.4 ขอบเขตของคู่มือ.....	4
2. ขั้นตอนการรายงาน PRTR	6
2.1 การบ่งชี้สารเคมีเป้าหมาย.....	6
2.2 การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ถือครอง.....	7
2.3 การบ่งชี้จุดปลดปล่อยมลพิษและของเสียที่นำออกนอกโรงงาน.....	9
2.4 การประเมินการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ.....	9
2.5 การจัดทำรายงาน PRTR.....	9
3. หลักการพื้นฐานของวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ	10
3.1 การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement).....	11
3.2 การจัดทำสมดุลมวล (Mass Balance).....	13
3.3 การใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factor).....	16
3.4 การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation).....	18
4. วิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษสำหรับอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี	20
4.1 กระบวนการของอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี.....	20
4.2 รายละเอียดของตำแหน่งที่ระบายมลพิษและวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ.....	20
4.2.1 การเผาไหม้.....	21
4.2.2 กระบวนการผลิตสารเคมี.....	30
4.2.2.1 การปลดปล่อยมลพิษ.....	30
4.2.2.2 การประเมินการปลดปล่อย.....	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
(1) การใช้สารเคมีเป้าหมายเป็นวัตถุประสงค์กับปฏิกิริยาทางเคมี.....	30
(2) การผลิตสารเคมีเป้าหมาย (รวมทั้งผลพลอยได้จากการผลิตและ สิ่งที่ได้ระหว่างการผลิต).....	35
(3) การผสมสารเคมีเป้าหมายกับการผลิตผลิตภัณฑ์เคมี เช่น สี สารที่ใช้ผลิตสารเคมีทาง การเกษตร และอื่นๆ	37
(4) กระบวนการใช้ตัวทำละลายที่มีการการระบายอินทรีย์ระเหยสู่อากาศระหว่างการใช้งาน และจากของเสียที่เกิดจากกระบวนการอื่นๆ	43
(5) สารเคมีเป้าหมายที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	45
4.2.3 กระบวนการที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย.....	47
4.2.4 ถังเก็บสารเคมี.....	52
4.2.5 การบรรจุ/การขนถ่าย.....	63
4.2.6 การบำบัดน้ำเสีย.....	65
4.2.7 การรั่วไหลของสารเคมี.....	77
4.2.8 กรณีศึกษา-อุตสาหกรรมเคมี/ปิโตรเคมี.....	79
เอกสารอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก.....	91
ภาคผนวก ก บัญชีรายการสารเคมีเป้าหมาย.....	91
ภาคผนวก ข คำนิยามแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องทำการรายงานข้อมูล PRTR (Point Sources).....	97
ภาคผนวก ค แบบฟอร์มการรายงานข้อมูล PRTR.....	98
ภาคผนวก ง วิธีการติดตามตรวจวัดที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย USEPA.....	100
ภาคผนวก จ ตัวอย่างอัตราประสิทธิภาพของอุปกรณ์บำบัดไอเสียและน้ำเสีย.....	102
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ.....	107
ภาคผนวก ช ข้อมูลตุ้มนิยมวิทยาสำหรับ TANKS Model.....	114
ภาคผนวก ซ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของสารเคมีเป้าหมายในประเทศไทย.....	117
ภาคผนวก ฌ คู่มือฉบับย่อสำหรับการใช้ WATER9 Model.....	118

รายการคำย่อ

DM	(Direct Measurement)	การตรวจวัดโดยตรง
EC	(Engineering Calculation)	การคำนวณทางวิศวกรรม
EF	(Emission Factor)	ตัวคูณอัตราการปลดปล่อยมลพิษหรือ สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ
MB	(Mass Balance)	สมดุลมวล
NPI	(National Pollution Inventory)	บัญชีรายการสารมลพิษแห่งชาติ (Australian PRTR)
OECD	(Organization for Economic Co-operation and Development)	องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา
PRTR	(Pollutant Release and Transfer Register)	ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ
RET	(Release Estimation Techniques)	วิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ
TRI	(Toxics Release Inventory)	บัญชีรายการการปลดปล่อยสารพิษ (U.S. PRTR)
USEPA	(United States Environmental Protection Agency)	องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา
VOCs	(Volatile Organic Compounds)	สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

สารบัญญรูปภาพและตาราง

	หน้า
รูปที่ 1-1 แนวทางการพัฒนาระบบ PRTR.....	2
รูปที่ 2-1 ขั้นตอนการรายงาน PRTR.....	6
รูปที่ 3-1 การกำหนดขอบเขตเพื่อพิจารณาจัดทำสมดุลมวล.....	14
รูปที่ 4-1 กระบวนการในการผลิตสารเคมี.....	20
ตารางที่ 1-1 กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมาย.....	4
ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างเงื่อนไขในการรายงานข้อมูล PRTR ภายใต้คำจำกัดความของ แหล่งกำเนิดจำพวก Point Source.....	8
ตารางที่ 2-2 กระบวนการที่มีการปลดปล่อยสารเคมีเป้าหมายของอุตสาหกรรมเคมี และปิโตรเคมี.....	10
ตารางที่ 3-1 ข้อคำนึงในการเลือกใช้วิธีการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ (RET.....	8
ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารประกอบอินทรีย์ระเหย จากการเผาไหม้น้ำมัน/ก๊าซ.....	28
ตารางที่ 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของโลหะจากการเผาไหม้น้ำมัน/ก๊าซ.....	29
ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสำหรับกระบวนการที่ทำให้ เกิดการฟุ้งกระจาย.....	48
ตารางที่ 4-4 สมการความสัมพันธ์ของกระบวนการที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย.....	50
ตารางที่ 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัว (Saturation Factor) สำหรับการคำนวณการสูญเสีย ที่เกิดจากการบรรจุสารเคมี.....	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ (Pollutant Release and Transfer Register (PRTR)) คืออะไร

องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)) ได้ให้คำจำกัดความของคำดังกล่าวคือ ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ (Pollutant Release and Transfer Register (PRTR)) เป็นระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ หรือสารเคมีจากแหล่งกำเนิดสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางอากาศ น้ำ และดิน รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของเสียออกจากแหล่งกำเนิดเพื่อนำไปบำบัดหรือกำจัด ระบบ PRTR เป็นระบบข้อมูลซึ่งเผยแพร่สู่สาธารณชน ประกอบไปด้วยข้อมูลชนิดและปริมาณมลพิษ/สารเคมี ซึ่งมีการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ได้แก่ แหล่งกำเนิดที่รู้จักจุดปล่อยแน่นอน (Point Source) เช่น โรงงานอุตสาหกรรม และ แหล่งกำเนิดที่ไม่มีจุดปล่อยที่แน่นอน (Non-Point Source) เช่น การเกษตรกรรม การขนส่ง อุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก และกิจกรรมของชุมชนสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งทางอากาศ น้ำ ดิน รวมทั้งข้อมูลการเคลื่อนย้ายของเสียและน้ำเสียจากโรงงานหรือสถานประกอบการเพื่อบำบัด/กำจัด

ภายใต้ระบบ PRTR โรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการที่เข้าข่ายเกณฑ์ที่กำหนด (แหล่งกำเนิดประเภท Point Source) จะต้องรายงานปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกสู่ตัวกลางสิ่งแวดล้อม (อากาศ น้ำ ดิน) รวมทั้งการเคลื่อนย้ายออกนอกพื้นที่สำหรับการจัดการของเสีย หรือการบำบัดน้ำเสีย เป็นปริมาณต่อระยะเวลา (Loading) เช่น กิโลกรัมต่อปี หรือ ตันต่อปี ไม่ใช่ค่าความเข้มข้น (Concentration) สำหรับแหล่งกำเนิดที่ไม่เข้าข่ายตามเกณฑ์ที่กำหนด (แหล่งกำเนิดประเภท Non-Point Source) หน่วยงานราชการจะเป็นผู้จัดทำข้อมูลการประเมินการปลดปล่อย จากนั้นจะดำเนินการตรวจสอบข้อมูล PRTR และเผยแพร่สู่สาธารณชนต่อไปในรูปแบบที่เป็นเอกสารเผยแพร่ รายงานประจำปี และอินเทอร์เน็ต โดยข้อมูล PRTR อาจจะนำเสนอเป็นกลุ่มอุตสาหกรรม จำแนกแต่ละโรงงาน สารมลพิษ ชนิดหรือกลุ่มของสารเคมี ทั้งประเภท Point Source และ Non-Point Source

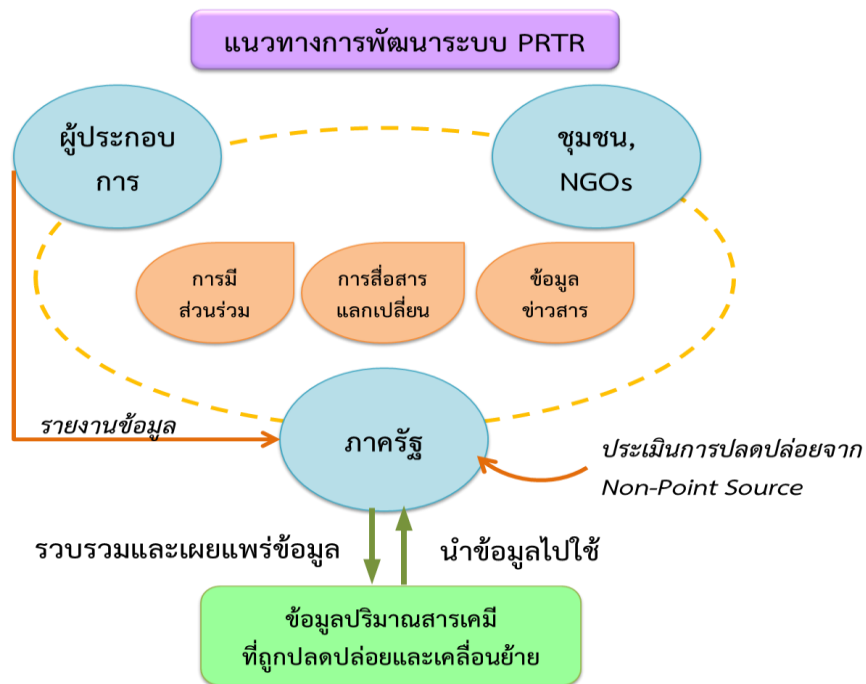
ทั้งนี้ การพัฒนาระบบ PRTR สามารถปรับเปลี่ยนรายละเอียดต่างๆ เช่น ชนิดของสารเคมี หรือสารมลพิษ และประเภทของอุตสาหกรรมที่ต้องรายงานได้ ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ด้านสิ่งแวดล้อม

1.2 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของการพัฒนาระบบ PRTR ในประเทศไทย

1) ความเป็นมา

การขยายตัวอย่างรวดเร็วของเขตพื้นที่อุตสาหกรรมและเขตเมืองในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในจังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี ซึ่งรัฐบาลได้กำหนดให้เป็นศูนย์กลางการขนส่งสินค้า โรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซ อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมหนัก แม้ว่าอุตสาหกรรมจะเป็นกิจกรรมที่สร้างรายได้มหาศาลให้กับประเทศ และสร้างงานให้แก่ประชาชนในพื้นที่ แต่ขณะเดียวกันการพัฒนาดังกล่าวก่อให้เกิดมลพิษรูปแบบต่างๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ความเป็นอยู่ และสภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวม

เพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าว ได้มีการวางแนวทางและมาตรการต่างๆ อาทิ การจัดทำมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมสำหรับสารมลพิษทางอากาศ การกำหนดค่ามาตรฐานการระบายและค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมของสาร VOCs การกำหนดเขตควบคุมมลพิษ เป็นต้น และระบบ PRTR เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งภายใต้ระบบ PRTR ข้อมูลการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษจะถูกรวบรวมจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภท Point Source (เช่น โรงงานอุตสาหกรรม/สถานประกอบการที่เข้าข่าย) ที่ต้องจัดทำรายงานข้อมูล PRTR และการประเมินการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภท Non-Point Source (เช่น ภาคการเกษตร ชุมชน ภาคการขนส่ง) ซึ่งดำเนินการโดยหน่วยงานรัฐ จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกเผยแพร่สู่สาธารณะ ทำให้หน่วยงานภาครัฐ เอกชน และประชาชนทั่วไปได้เข้าถึงและรับทราบข้อมูลสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ตรงกัน อันนำไปสู่การวางแผนการจัดการสารเคมีและมลพิษที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 1-1 แนวทางการพัฒนาระบบ PRTR

ในการนี้ กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม และการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ร่วมกับองค์การร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น (Japan International Cooperation Agency (JICA)) ได้ดำเนินงาน “โครงการความร่วมมือการวิชาการกับประเทศญี่ปุ่นในการพัฒนาระบบทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ”* (The Development of Basic Schemes for PRTR System in the Kingdom of Thailand) หรือที่เรียกว่า “โครงการ JICA-PRTR” เพื่อพัฒนาระบบ PRTR ขึ้นในประเทศไทย โดยมีระยะเวลาการดำเนินโครงการทั้งสิ้น 4 ปี ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2554 – กุมภาพันธ์ 2558 และมีกำหนดการดำเนินโครงการนำร่องระบบ PRTR ณ จังหวัดระยอง ในปี 2556 – 2557

2) วัตถุประสงค์ของการพัฒนาระบบ PRTR ในประเทศไทย

1. เพื่อเผยแพร่ข้อมูลการจัดการมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ สู่สาธารณชน
2. เพื่อลดและแก้ไขปัญหาการปลดปล่อยมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม
3. เพื่อให้สอดคล้องกับการดำเนินงานตามแผนการจัดการสารเคมีทั้งในและระหว่างประเทศ
4. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือหรือกลไกในการติดตามตรวจสอบมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ

รวมทั้งการกำหนดนโยบายการจัดการสารเคมีและมลพิษของหน่วยงานราชการ

1.3 ประโยชน์จากการจัดทำระบบ PRTR

ภาครัฐ

- ทราบสถานภาพ/แนวโน้มการปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งการเคลื่อนย้าย/การจัดการสารมลพิษเฉพาะประเภท และ/หรือเฉพาะพื้นที่
- เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม การกำหนดแนวทางเพื่อวางแผนป้องกันหรือแก้ไขปัญหามลพิษจากสารอันตราย
- เป็นการติดตามตรวจสอบการบังคับใช้กฎหมาย/ความก้าวหน้าของการดำเนินนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม
- เป็นไปตามข้อกำหนด/ข้อตกลงภายใต้พิธีสาร/อนุสัญญาระหว่างประเทศต่างๆ
- การวางแผนรองรับเหตุฉุกเฉิน

ภาคเอกชน

- เป็นการปรับปรุงระบบการจัดการสารเคมีภายในโรงงาน ส่งเสริมให้มีการใช้สารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ลดการปลดปล่อยสารมลพิษ
- เสริมสร้างความรู้/ความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้/การจัดการสารเคมีให้แก่ผู้ประกอบการและคนงาน

* ลงนามในบันทึกการประชุมเมื่อวันที่ 1 เมษายน 2553 และลงนามในบันทึกข้อตกลง เมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2553

- ส่งเสริมให้มีการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่
- สร้างภาพลักษณ์ที่ดีกับชุมชน

ภาคประชาชน

- ส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหามลพิษกับหน่วยงานภาครัฐ และเอกชน
- เป็นเครื่องมือในการเข้าถึงและรับรู้ข้อมูลด้านการจัดการมลพิษ สารเคมี และสิ่งแวดล้อมของโรงงาน
- เป็นเครื่องมือในการป้องกันตนเองจากมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งกำเนิดอื่นๆ
- เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับพนักงานดับเพลิง โรงพยาบาล ตำรวจ หน่วยปฏิบัติการฉุกเฉินกรณีเกิดอุบัติเหตุเกี่ยวกับสารเคมีในโรงงาน
- เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการป้องกันมลพิษและผลกระทบต่อสุขภาพ

1.4 ขอบเขตของคู่มือ

คู่มือนี้ได้รับพัฒนาขึ้นโดยคณะทำงานพัฒนาคู่มือการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี ประกอบด้วย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ร่วมกับกรมควบคุมมลพิษ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีและกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

คู่มือนี้ใช้เป็นแนวทางในการประเมินการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษของสารเคมีเป้าหมายสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี (รายละเอียดดังตารางที่ 1-1) เพื่อใช้ในการดำเนินโครงการนำร่องระบบ PRTR ในปี 2556 - 2557 และนำผลการดำเนินโครงการนำร่องมาใช้ประกอบการปรับปรุงคู่มือให้มีความเหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 1-1 กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายสำหรับคู่มือนี้

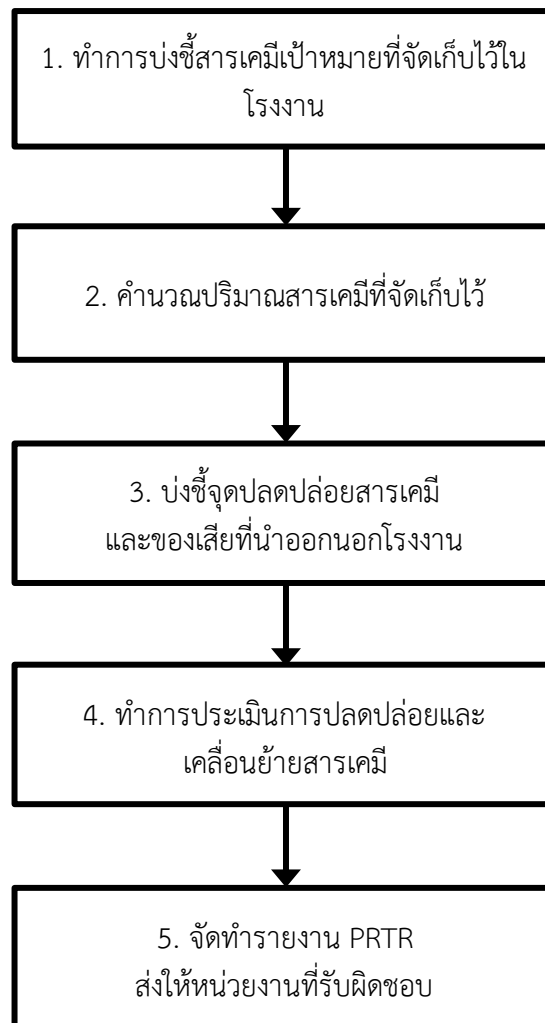
ประเภทโรงงาน	การประกอบกิจการ
42	โรงงานที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เคมี สารเคมี หรือวัสดุเคมี (ซึ่งไม่ใช่ปุ๋ย)
43	โรงงานที่เกี่ยวกับปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์
44	โรงงานผลิตพลาสติกสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์ พลาสติก หรือเส้นใยสังเคราะห์ (ซึ่งไม่ใช่เส้นใยแก้ว)
45	โรงงานที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สี น้ำยาเคลือบเงา น้ำยาครั่ง น้ำยาขัดเงา วัสดุ

ประเภทโรงงาน	การประกอบกิจการ
	อุดรยรรูว์ น้ำยาเคลือบกันน้ำ
46	โรงงานที่เกี่ยวกับยา
47	โรงงานที่เกี่ยวกับสบู่ เครื่องสำอาง หรือการเสริมความงาม
48	โรงงานที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เคมีที่มีลักษณะเฉพาะ

บทที่ 2

ขั้นตอนการรายงาน PRTR

การรายงาน PRTR มีกรอบการดำเนินการดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ขั้นตอนการรายงาน PRTR

2.1 การบ่งชี้สารเคมีเป้าหมาย

พิจารณาสารเคมีเป้าหมาย ตามบัญชีรายชื่อซึ่งประกอบด้วยสารเคมี 107 สาร ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี สารเคมีเป้าหมายส่วนใหญ่มักเป็นวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์สารตัวกลาง ผลพลอยได้จากการผลิต ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหย เช่น Toluene, Xylenes,

Methanol, Isopropyl Alcohol, Methyl Ethyl Ketone, Acetone ที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายโลหะบางชนิดเช่น แมงกานีส (Manganese), ตะกั่ว (Lead), สังกะสี (Zinc) และสารเคมีอื่นๆที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รายชื่อสารเคมีข้างต้นเป็นเพียงแนวโน้มการใช้สารเคมีของอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมีโดยทั่วไป หากโรงงานมีการถือครองสารเคมีเป้าหมายชนิดอื่นๆ เกินกว่า 1 ตันต่อปี ทางโรงงานจะต้องทำการรายงานการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายสารเคมีเหล่านั้นด้วย

2.2 การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ถือครอง

จากนิยามของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภท Point Source และการพิจารณาสารเคมีที่ต้องมีการรายงานตามระบบ PRTR (ภาคผนวก ข) จำเป็นต้องรู้ถึงปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถือครองซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A_{\text{handle},i} = A_{\text{produce},i} + A_{\text{use},i}$$

เมื่อ

$A_{\text{handle},i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมาย i ที่ถือครอง (ตันต่อปี)

$A_{\text{produce},i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ผลิตขึ้น (ตันต่อปี)

$A_{\text{use},i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ใช้ (ตันต่อปี)

และปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ใช้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A_{\text{use},i} = A_{\text{beginning},i} + A_{\text{purchase},i} - A_{\text{end},i}$$

เมื่อ

$A_{\text{beginning},i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่คงเหลือตามบัญชีของปีที่ผ่านมา (ตัน)
(เช่นวันที่ 1 มกราคม)

$A_{\text{purchase},i}$ = ปริมาณที่ซื้อในปีปัจจุบัน (ตัน/ปี)

$A_{\text{end},i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่คงเหลือตามบัญชีเมื่อสิ้นสุดปีปัจจุบัน (ตัน)
(เช่นวันที่ 31 ธันวาคม)

หากสารเคมีที่ใช้มีส่วนผสมของสารเคมีเป้าหมายถูกนำมาใช้ด้วย ปริมาณของสารเคมีเป้าหมายที่ใช้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A_{\text{use},i} = [A_{\text{beginning},m} + A_{\text{purchase},m} - A_{\text{end},m}] \times W_i \div 100$$

เมื่อ

$A_{\text{beginning},m}$ = ปริมาณของของผสม m ที่คงเหลือตามบัญชีของปีที่ผ่านมา (ต้น)
(เช่น วันที่ 1 มกราคม)

$A_{\text{purchase},m}$ = ปริมาณของของผสมที่ซื้อในปีปัจจุบัน (ต้นต่อปี)

$A_{\text{end},m}$ = ปริมาณของของผสมที่คงเหลือตามบัญชีเมื่อสิ้นสุดปีปัจจุบัน (ต้น)
(เช่น วันที่ 31 ธันวาคม)

W_i = เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารเคมีเป้าหมายที่อยู่ในของผสม

ถ้าโรงงานมีการถือครอง (ผลิต ใช้ จัดเก็บ) สารเคมีเป้าหมายจำนวน 1 สารขึ้นไป และมีปริมาณการถือครองสารเคมีเป้าหมายแต่ละชนิดเกินกว่า 1 ตันต่อปี จะต้องทำการรายงานข้อมูลการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายสารเคมีนั้นๆ โดยเงื่อนไขการรายงานข้อมูลดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างเงื่อนไขในการรายงานข้อมูล PRTR ภายใต้ नियามของแหล่งกำเนิดประเภท Point Source

ปริมาณสารเคมีที่ถือครอง	ความจำเป็นในการรายงานข้อมูล PRTR
สารเคมี “A”: 0.7 ตัน/ปี	ไม่ต้องรายงานสารเคมี “A”
สารเคมี “A”: 1.0 ตัน/ปี	ต้องรายงานสารเคมี “A”
สารเคมี “A”: 5 ตัน/ปี สารเคมี “B”: 1.2 ตัน/ปี	ต้องรายงานทั้งสารเคมี “A” และ “B”
สารเคมี “A”: 5 ตัน/ปี สารเคมี “B”: 0.5 ตัน/ปี	ต้องรายงานสารเคมี “A”, แต่ไม่ต้องรายงานสารเคมี “B”
สารเคมี “A”: 0.7 ตัน/ปี สารเคมี “B”: 0.5 ตัน/ปี	ไม่ต้องรายงานทั้งสารเคมี “A” และ “B”

2.3 การบ่งชี้จุดปลดปล่อยมลพิษและของเสียที่นำออกนอกโรงงาน

แหล่งกำเนิดมลพิษของสารเคมีเป้าหมายจากอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2-2 กระบวนการที่มีการปลดปล่อยสารเคมีเป้าหมายของอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี^[1]

ลำดับที่	กระบวนการที่มีการปลดปล่อยมลพิษ	ตัวกลางการปลดปล่อยและเคลื่อนย้าย	ประเภทของสารเคมี	
			สารอินทรีย์	โลหะ
1	Combustion/Flare	อากาศ	/	/
2	Chemical manufacturing process	อากาศ/ของเสีย	/	/
3	Process fugitive	อากาศ	/	
4	Storage tank	อากาศ	/	
5	Loading/unloading	อากาศ	/	
6	Wastewater	อากาศ/แหล่งน้ำ	/	/
7	Spills	อากาศ/แหล่งน้ำ/ดิน	/	

ถ้าแหล่งกำเนิดใดที่แสดงในตารางที่ 2-2 มีอยู่ในโรงงาน โดยปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถือครองไว้เกิน 1 ตันต่อปี จะต้องทำการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายสารเคมีนั้น

2.4 การประเมินการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ

ข้อมูลการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษสามารถประเมินได้โดยเลือกใช้วิธีการประเมินที่เหมาะสม ได้แก่ การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement) การจัดทำสมดุลมวล (Mass Balance) การใช้ตัวคูณอัตราการปลดปล่อยมลพิษหรือสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factor) หรือการคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation) รายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงในบทที่ 3

2.5 การจัดทำรายงาน PRTR

การคำนวณปริมาณการถือครองสารเคมีต้องทำเป็นขั้นตอน และมีการบันทึกวิธีการคำนวณ สมมติฐานการประเมิน จัดเก็บไว้ที่โรงงานเพื่อตรวจสอบ

สำหรับการรายงานข้อมูล PRTR ให้แก่ภาครัฐ ให้ทำตามแบบรายงานข้อมูลการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษซึ่งปรากฏอยู่ใน ภาคผนวก ค

^[1] Environment Australia; Emission Estimation Technique Manual for Organic Chemical Processing Industries (1999)

บทที่ 3

หลักการพื้นฐานของวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ^[2]

วิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษโดยทั่วไปมี 4 วิธีคือ การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement) การจัดทำสมดุลมวล (Mass Balance) การใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factor) และการคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation)

เนื่องจากการจัดทำระบบ PRTR สำหรับประเทศไทยครั้งนี้ถือเป็นครั้งแรก การเลือกใช้วิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษเพื่อให้ได้ข้อมูล PRTR ที่เหมาะสมนั้น ควรพิจารณาจากข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประเมิน ข้อดีและข้อพิจารณาของแต่ละวิธีการ

วิธีการในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ข้อคำนึงในการเลือกใช้วิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ (Release Estimation Technique: RET)

การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)

- การตรวจวัดโดยตรงมีเป้าหมายเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของการตรวจวัดมากที่สุด มีความถูกต้องและเชื่อถือได้
- วิธีการที่ใช้จะต้องเหมาะสมกับกระบวนการ แหล่งกำเนิด และการเก็บตัวอย่างหรือจุดที่ทำการตรวจวัด
- ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของตัวอย่างตลอดจนขนาดและความผันแปรของปริมาตรที่ระบายจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

การจัดทำสมดุลมวล (Mass Balance)

- ใช้การจัดทำสมดุลมวลในการตรวจสอบกระบวนการเพื่อตรวจสอบแหล่งระบายมลพิษ
- การจัดทำสมดุลมวลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีความสลับซับซ้อน ค่าใช้จ่ายสูง หรือเกิดความไม่แน่นอนจากการตรวจวัดโดยตรง

การใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factor)

- การใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษเหมาะที่จะนำมาใช้ในกรณีข้อมูลจากการคำนวณและค่าการปลดปล่อยมลพิษมีความสัมพันธ์กันโดยตรง
- ข้อจำกัดของการใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษคือ อาจไม่สามารถใช้ได้กับทุกๆ แหล่งกำเนิด

^[2] อ้างอิงจาก “Manual for PRTR Release Estimation Method (Japan, 2004).” และ OECD materials (OECD, 2002 และ 2005).

เนื่องจากการใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษนั้นจะต้องเป็นค่าที่เฉพาะเจาะจงของแต่ละสาร และแต่ละหน้าที่ของสารนั้นๆ

- การปลดปล่อยมลพิษที่คำนวณได้จากการใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษอาจจะแตกต่างจากการปลดปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นจริงจากโรงงานในกรณีที่โรงงานมีคุณลักษณะจำเพาะบางประการ
- โรงงานสามารถจัดทำสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของโรงงานได้เอง

การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation)

- การระบายแบบฟุ้งกระจายในอากาศของสารเคมีระเหยง่าย การระบายลงสู่แหล่งน้ำ ดิน และการเปลี่ยนไปเป็นของเสียอาจจะประเมินได้โดยใช้คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารนั้นๆ

3.1 การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)

ดำเนินการโดยนำผลการวัดความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายที่อยู่ในไอเสีย น้ำเสีย หรือของเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ตรวจวัดได้ คูณกับอัตราการปล่อยของไอเสีย น้ำเสียหรือของเสีย โดยสมการพื้นฐานของการตรวจวัดโดยตรงในการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษไปสู่อากาศคือ

$$R_{\text{air}} = C_g \times V_g \times 10^{-6}$$

เมื่อ

R_{air} = ปริมาณของสารเคมีเป้าหมายที่ถูกปลดปล่อยไปสู่อากาศ (กิโลกรัมต่อปี)

C_g = ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายที่อยู่ในไอเสีย (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

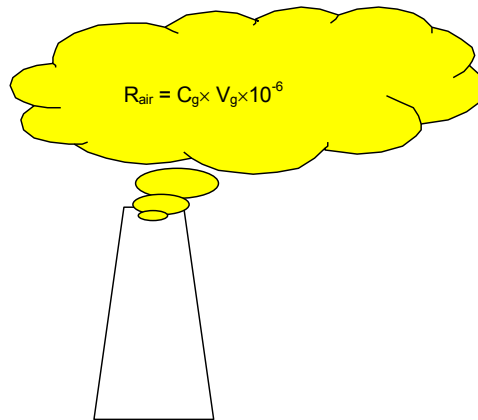
V_g = อัตราการปล่อยของไอเสีย (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

10^{-6} = ค่าการแปลงหน่วยจากมิลลิกรัมเป็นกิโลกรัม

การตรวจวัดโดยตรงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สามารถใช้เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด ความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูลดังกล่าวขึ้นอยู่กับเทคนิควิธีการในการตรวจวัดที่ใช้เป็นหลัก ซึ่งความถี่ของการเก็บตัวอย่างนั้นจะกำหนดขึ้นเป็นรายกรณี โดยคำนึงถึงความผันแปรของการระบายมลพิษและข้อจำกัดของวิธีการตรวจวัดตัว เช่น วิธีการตรวจวัดที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย USEPA สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีนี้ได้ดังแสดงใน ภาคผนวก ง

ข้อควรปฏิบัติ

ในกรณีที่เลือกใช้วิธีการตรวจวัดโดยตรง วิธีการในการตรวจวัดจะต้องเหมาะสมกับกระบวนการ แหล่งกำเนิด และการเก็บตัวอย่างหรือจุดที่ทำการตรวจวัด รวมถึงมีความเหมาะสมกับขนาดและองค์ประกอบของการปลดปล่อยมลพิษด้วย นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงคุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของตัวอย่าง ตลอดจนขนาดและความแปรปรวนของปริมาตรที่ปลดปล่อยออกมา



ข้อดีและข้อควรพิจารณาของวิธีการนี้คือ

ข้อดี

- ✓ สามารถนำค่าความเข้มข้นของไอเสียหรือน้ำเสียที่ตรวจวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายและตามระเบียบข้อบังคับอื่นๆ มาใช้ในการประเมินได้

ข้อควรพิจารณา

- ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการดำเนินงาน
- ต้องตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำมาใช้

3.2 การจัดทำสมดุลมวล (Mass Balance)

การจัดทำสมดุลมวล ต้องกำหนดขอบเขตการพิจารณา (Boundary) รวมถึงปริมาณสารเคมีขาเข้า(Input) และขาออก (Output) ให้ชัดเจนก่อนทำการคำนวณ ดังรูปที่ 3-1 โดยสมการพื้นฐานของการจัดทำสมดุลมวลมีดังนี้

$$\text{Input} = \text{Output}$$

$$\text{Input} = \text{Product} + \text{Loss}$$

$$\text{Input} = \text{Product} + \text{Release} + \text{Transfer}$$

เมื่อ

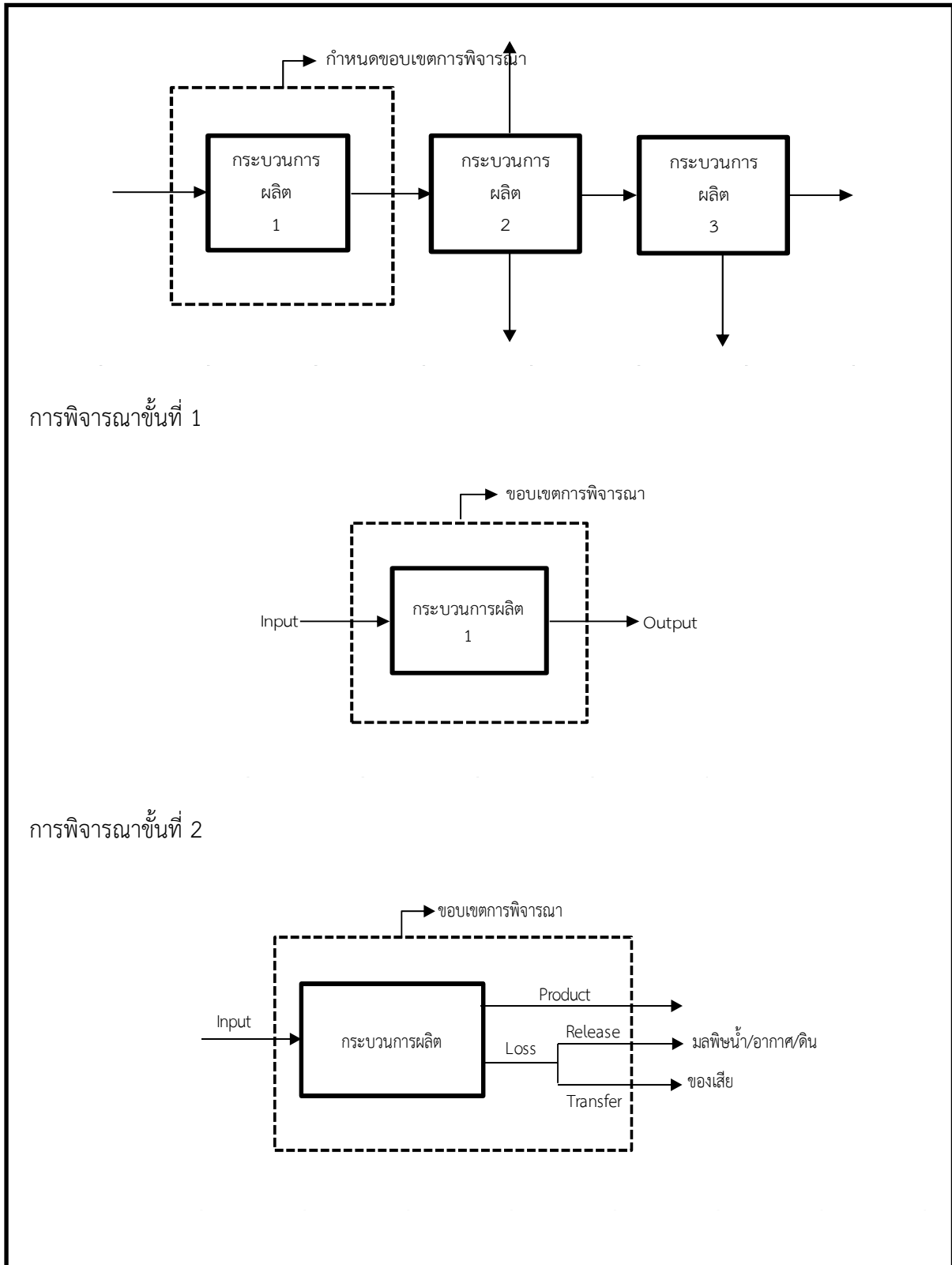
$\text{Input}_{,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถือครอง

$\text{Output}_{,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายในผลิตภัณฑ์

$\text{Release}_{,i \text{ w}}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทั้งหมด (อากาศ น้ำ ดิน)

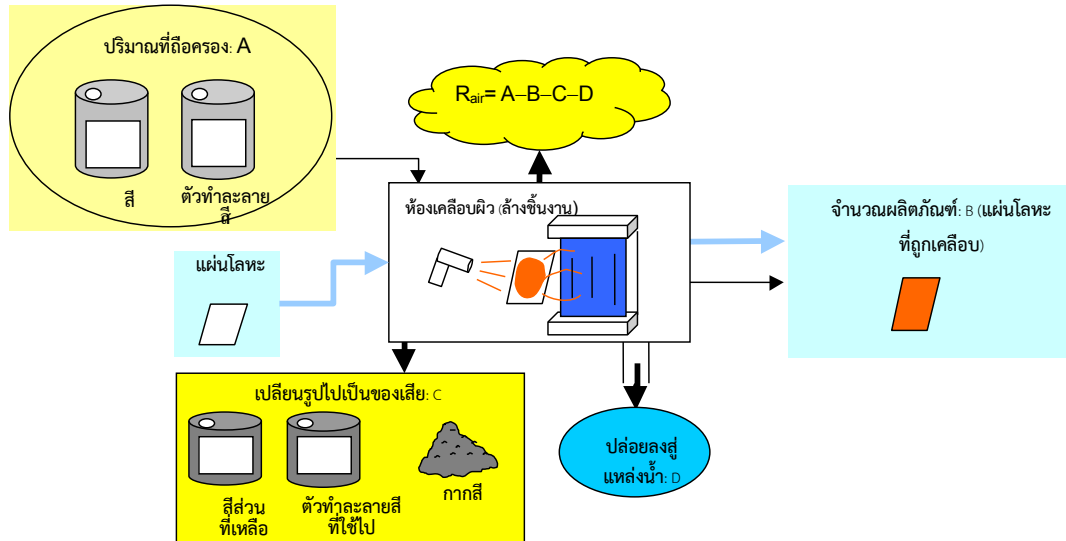
$\text{Transfer}_{,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่เปลี่ยนไปเป็นของเสีย หรือน้ำเสีย

Process Diagram



รูปที่ 3-1 การกำหนดขอบเขตเพื่อพิจารณาจัดทำสมดุลมวล

การปลดปล่อยหรือการเคลื่อนย้ายมลพิษไปสู่ตัวกลางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ สามารถคำนวณได้โดยใช้การตรวจวัดโดยตรง การใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยหรือการประเมินการปลดปล่อยมลพิษวิธีอื่นๆจากปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถือครอง (ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถือครองต่อปี)



ทั้งนี้ การจัดทำสมดุลมวลสามารถทำการประเมินได้โดยอยู่บนพื้นฐานความรู้ของข้อมูลกระบวนการผลิต องค์ประกอบของวัสดุดิบ วัสดุที่ใช้ และข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างที่สามารถหาได้ ซึ่งการจัดทำสมดุลมวลสารจะใช้ได้ดี ในกรณีที่สารเคมีไม่เปลี่ยนรูป หากมีการเปลี่ยนรูปเป็นสารอื่น จำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นที่เหมาะสมประกอบการประเมินด้วย หรือกำหนดกรอบการพิจารณาที่สามารถประเมินปริมาณสารได้ดีที่สุด

ข้อควรปฏิบัติ

การใช้เทคนิคการจัดทำสมดุลมวล เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรวจสอบเพื่อที่จะประเมินการปลดปล่อยมลพิษบนพื้นฐานความรู้ในส่วนของกระบวนการผลิต องค์ประกอบของวัสดุ วัสดุที่ใช้ทั้งหมดและข้อมูลการเก็บตัวอย่างที่มีอยู่

การจัดทำสมดุลมวลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดแบบระเหยได้ และแหล่งกำเนิดที่มีการตรวจวัดที่ระดับค่อนข้างต่ำ ไอเสียที่ฟุ้งกระจายหรือไม่มีความสม่ำเสมอในการระเหยซึ่งมีความยุ่งยาก เสียค่าใช้จ่ายและเกิดความไม่แน่นอนในการตรวจวัดรวมถึงการประเมินการระบายจากกระบวนการต่างๆ เช่น การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยตัวทำละลาย การเคลือบผิวชิ้นงาน เป็นต้น

ข้อดีและข้อควรพิจารณาของวิธีการนี้คือ

ข้อดี

- ✓ การจัดทำสมุดมวลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพหากทราบทิศทางการไหลของสารเคมีในโรงงาน รวมถึงกระบวนการผลิตทั้งหมด
- ✓ การคำนวณสามารถทำได้โดยมีต้นทุนต่ำ เพราะการจัดทำสมุดมวลขึ้นอยู่กับหลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์
- ✓ ปริมาณสารเคมีที่ถือครองไว้สามารถคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบของสารผสมจาก MSDS เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

ข้อที่ควรพิจารณา

- ✓ ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดทำสมุดมวล ขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่จัดเก็บไว้และการระบายมลพิษอื่นๆ
- ✓ ความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์จะเพิ่มขึ้น หากนำการจัดทำสมุดมวลมาใช้เพื่อคำนวณการระบายมลพิษที่มีปริมาณระดับปานกลางและปริมาณระดับสูง

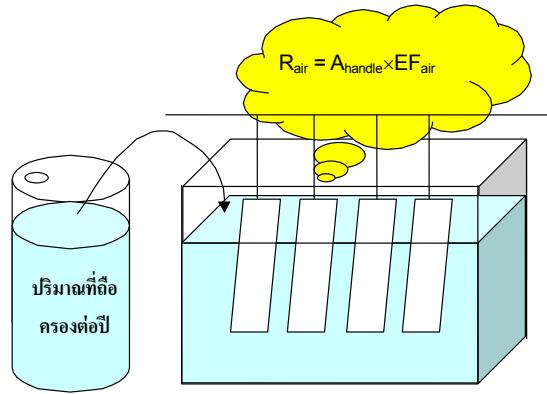
3.3 การใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factor)

ปริมาณการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายสารเคมีสามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ ตัวอย่างสมการพื้นฐานของการคำนวณการระบายมลพิษในกรณีของการระบายสู่อากาศเป็นดังนี้

$$R_{air} = A_{handle} \times EF_{air}$$

เมื่อ

- $R_{air,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถูกปลดปล่อยสู่อากาศ (กิโลกรัมต่อปี)
- $A_{handle,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถือครอง (กิโลกรัมต่อปี)
- $EF_{air,i}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของสารเคมีเป้าหมายสู่อากาศ (กิโลกรัมที่ปลดปล่อยต่อกิโลกรัมที่ถือครอง)



การคำนวณโดยใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจะทำได้ดี เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลกระบวนการผลิต และการระบายมลพิษมีความถูกต้องและไม่ซับซ้อน ดังตัวอย่างการประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษแสดงใน ภาคผนวก ง

ข้อควรปฏิบัติ

ข้อจำกัดของการใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษคือ ไม่สามารถใช้ได้กับทุกแหล่งกำเนิดมลพิษ ในกรณีที่โรงงานมีความประสงค์ที่จะใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดใหม่หรือที่ได้เสนอไว้ โรงงานจะต้องพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์ฯ ตามตัวอย่างเอกสารอ้างอิง ที่เป็นแหล่งข้อมูลสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย เช่น

- AP-42 ที่จัดทำขึ้นโดย USEPA
- Emission Estimation Technique จัดทำขึ้นโดย Environment Australia
- PRTR Release Estimation Techniques (OECD)

นอกจากนี้ยังสามารถหาจากเอกสารที่ใช้อ้างอิงอื่นๆ ซึ่งแสดงอยู่ในภาคผนวกของคู่มือเล่มนี้ โดยจัดทำขึ้นจากประเทศอื่นๆ ซึ่งการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษอาจจะแตกต่างจากการปลดปล่อยจริงที่ออกมาจากโรงงาน เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยโดยทั่วไปจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากข้อมูลในช่วงกว้างและมีระดับความถูกต้องที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าที่ได้จากการประเมินอาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริง

ข้อดีและข้อควรพิจารณาของวิธีการนี้คือ

ข้อดี

- ✓ การระบายมลพิษสามารถคำนวณได้โดยใช้ปริมาณสารเคมีที่ถือครอง
- ✓ การคำนวณสามารถทำได้โดยมีค่าใช้จ่ายน้อย

ข้อควรพิจารณา

- การใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษที่กำหนดไว้โดยหน่วยงานราชการ สมาคมอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานของประเทศอื่น โรงงานควรตรวจสอบอย่างรอบคอบว่าการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษมีความเหมาะสมกับอุตสาหกรรมนั้นหรือไม่
- โรงงานสามารถจัดทำค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษเองได้โดยการประเมินจากผลของการตรวจวัดในอดีต
- ค่าการระบายมลพิษที่คำนวณโดยสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่ถือครอง ซึ่งผลของการคำนวณอาจไม่แสดงให้เห็นถึงความพยายามในการลดการระบายมลพิษ

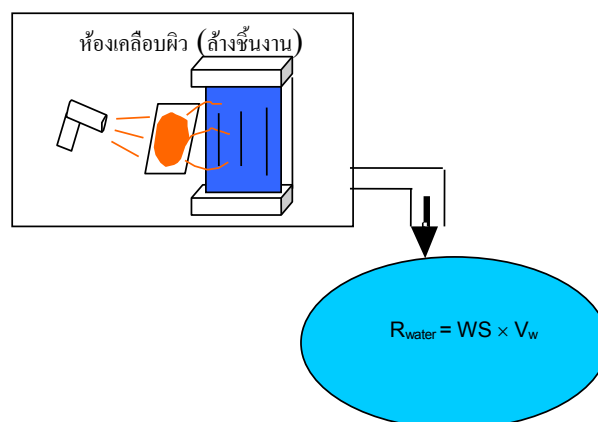
3.4 การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation)

ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในไอเสียหรือน้ำเสียสามารถประเมินได้โดยใช้คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ เช่น ความดันไออิ่มตัว ความสามารถในการละลายน้ำ เป็นต้น โดยสมการพื้นฐานของการใช้หลักเกณฑ์การคำนวณทางวิศวกรรมในการคำนวณการระบายมลพิษลงสู่น้ำคือ

$$R_{\text{water}} = WS \times V_w \times 10^{-6}$$

เมื่อ

- R_{water} = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ถูกปลดปล่อยสู่แหล่งน้ำ (กิโลกรัมต่อปี)
- WS = ความสามารถในการละลายน้ำของสารเคมีเป้าหมาย (ไมโครกรัมต่อลิตร)^[3]
- V_w = ปริมาตรของน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
- 10^{-6} = ค่าการแปลงหน่วยจากมิลลิกรัมเป็นกิโลกรัม



^[3] ความสามารถในการละลายน้ำจะใช้ได้เมื่อสารเคมีเป้าหมายทั้งหมดนั้นสัมผัสกับน้ำ เช่นผ่าน scrubber อุปกรณ์ที่ล้างและอื่นๆ (หน่วยไมโครกรัมต่อลิตร = มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ข้อควรปฏิบัติ

การระบายมลพิษอากาศแบบฟุ้งกระจายของสาร VOCs อาจประเมินได้โดยใช้คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารเคมีเท่านั้น ซึ่งคล้ายกับการใช้หลักเกณฑ์การคำนวณทางวิศวกรรมในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษสู่แหล่งน้ำ ดิน หรือการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย อย่างไรก็ตาม อาจจะไม่มียุทธศาสตร์ของสารเคมีที่ต้องการคำนวณ

ในการคำนวณอาจมีการกำหนดสมมติฐานเพื่อลดความซับซ้อนของกระบวนการประเมินโดยใช้ความสัมพันธ์ทางเคมีและทางกายภาพ แต่อาจทำให้ค่าความผิดพลาด (Error) ของผลลัพธ์เพิ่มมากขึ้น

ข้อดีและข้อควรพิจารณาสำหรับวิธีการนี้คือ

ข้อดี

- ✓ ข้อมูลสำหรับการคำนวณสามารถหาได้จากหลายแหล่งอ้างอิง
- ✓ การคำนวณโดยใช้หลักเกณฑ์การคำนวณทางวิศวกรรมมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการตรวจวัดโดยตรง

ข้อควรพิจารณา

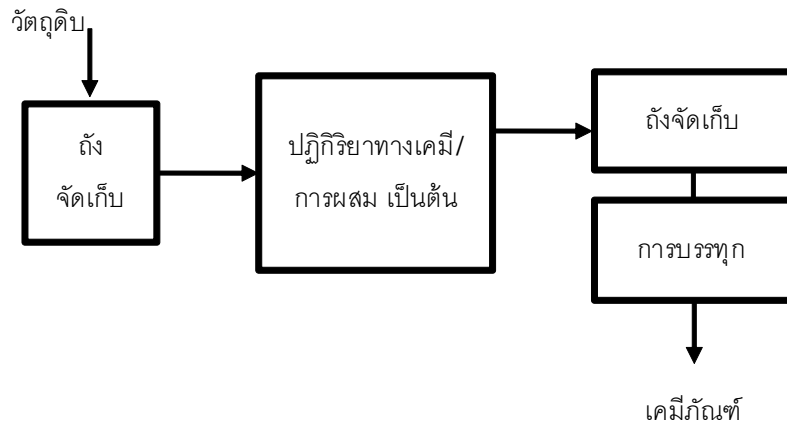
- เนื่องจากการระบายมลพิษในสภาวะที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรทางทฤษฎี ผลจากการคำนวณอาจจะแตกต่างจากสภาพการทำงานจริงซึ่งมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง เช่น ความดัน อุณหภูมิ และอื่นๆ เป็นต้น
- ผู้ประเมินควรมีความรู้ด้านวิศวกรรมเคมีในการประเมิน

บทที่ 4

วิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษสำหรับอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี

4.1 กระบวนการของอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี

แผนผังกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเคมีแสดงดังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4-1 กระบวนการในการผลิตสารเคมี

กระบวนการผลิตสารเคมีโดยทั่วไปประกอบด้วยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางกายภาพ เพื่อที่จะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น oxidation, reduction, hydrogenation, dehydrogenation, hydrolysis, hydration, dehydration, halogenation, nitrification, sulfonation, ammoniation, alkaline fusion, alkylation, dealkylation, esterification, polymerization, polycondensation, catalysis และอื่นๆ

สารเคมีเป้าหมายที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตรวมถึงการกลั่นและการผสมตามสูตร ถังจัดเก็บ และกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เช่นการบำบัดอากาศเสีย การบำบัดน้ำเสีย และอื่นๆ รายละเอียดดังแสดงถัดไปในหัวข้อ 4.2

4.2 รายละเอียดของตำแหน่งที่ระบายมลพิษและวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

จากตารางที่ 2-2 ในบทที่ 2 นั้นแสดงถึงหน่วยการผลิตและเหตุการณ์ที่อาจเป็นแหล่งระบายมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี ดังนี้

- 1) การเผาไหม้/ห่อเผา
- 2) กระบวนการผลิตสารเคมี
- 3) กระบวนการที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย (Fugitive Process)

- 4) ถังเก็บสารเคมี
- 5) การบรรจุ/การขนถ่าย
- 6) การบำบัดน้ำเสีย
- 7) การรั่วไหล (Spills)

4.2.1 การเผาไหม้

4.2.1.1 การปลดปล่อยมลพิษ

การเผาไหม้ในห้องเผา (Combustion Chamber) ก่อให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยและโลหะที่เป็นองค์ประกอบหรือผลพลอยได้ของเชื้อเพลิงจะถูกระบายออกสู่อากาศจากการเผาไหม้ที่มีองค์ประกอบของโลหะหนักรวมอยู่ด้วยทางปล่องระบายและอาจเกิดเถ้าเหลือเป็นของเสียที่ต้องจัดการต่อไป

4.2.1.2 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

(1) การตรวจวัดความเข้มข้นในไอเสียโดยตรง

สารประกอบอินทรีย์ระเหยและโลหะจะถูกระบายออกสู่อากาศจากแหล่งกำเนิดของการเผาไหม้ เช่น เตาเผา หม้อต้มไอน้ำ หรือหอเผา โดยปริมาณมลสารที่ถูกระบายนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้การตรวจวัดความเข้มข้นในไอเสียโดยตรง

$$R_{air,i} = C_{g,i} \times V_g \times 10^{-6}$$

เมื่อ

- $R_{air,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ปล่อยสู่อากาศ (กิโลกรัมต่อปี)
- $C_{g,i}$ = ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในไอเสีย (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- V_g = ปริมาตรของไอเสียต่อปี (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
- 10^{-6} = ค่าการแปลงหน่วย จากมิลลิกรัมเป็นกิโลกรัม

ปริมาตรของไอเสียต่อปี (V_g) คำนวณได้ดังนี้

$$V_g = R_g \times O_{hr}$$

เมื่อ

- R_g = ปริมาตรไอเสียรายชั่วโมง (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
- O_{hr} = จำนวนชั่วโมงทำงานของกระบวนการเผาไหม้ใน 1 ปี (ชั่วโมงต่อปี)

ตัวอย่าง 4.2.1(1)

ข้อมูลการตรวจวัดมลสารจากปล่องของหม้อไอน้ำเป็นดังนี้
 ความเข้มข้นของสาร Benzene ในไอเสียคือ 3.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 (ณ สภาวะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm)
 ปริมาตรไอเสียรายชั่วโมงคือ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
 (ณ สภาวะที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm)
 ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำคือ 6,000 ชั่วโมงต่อปี
 คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยสาร Benzene สู่อากาศ (กิโลกรัมต่อปี)

วิธีการคำนวณ

ปริมาตรของไอเสียต่อปีมีค่าเท่ากับ

$$4,000 \text{ Nm}^3/\text{hr} \times 6,000 \text{ hr/yr} \\ = 24,000,000 \text{ Nm}^3/\text{yr} \text{ (ณ สภาวะที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm)}$$

ปรับความเข้มข้นของมลสารเป็นสภาวะมาตรฐาน จากสูตรการคำนวณพื้นฐาน

$$PV = nRT$$

$$n_1 T_1 = n_2 T_2 \text{ --- } \rightarrow n_1 = n_2 (T_2 / T_1)$$

จึงได้

$$3 \text{ mg/m}^3 \times (298/273) \\ = 3.27 \text{ mg/Nm}^3 \text{ (ณ สภาวะที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm)}$$

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยสาร Benzene สู่อากาศมีค่าเท่ากับ

$$3.27 \text{ mg/Nm}^3 \times 24,000,000 \text{ Nm}^3/\text{yr} \times 10^{-6} = 78.6 \text{ kg/yr}$$

ตัวอย่างที่ 4.2.1(2)

ข้อมูลการตรวจวัดมลสารจากปล่องของหม้อไอน้ำเป็นดังนี้
 ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ 1 ส่วนในล้านส่วน (Part Per Million)
 เมื่อเทียบกับสภาวะ 25°C 1 บรรยากาศ อัตราการปล่อยไอเสีย 4,000 ลบ.ม. ต่อชั่วโมง
 ที่ 80 °C 1 บรรยากาศ ใช้งานหม้อไอน้ำ 6,000 ชั่วโมงต่อปี

น้ำหนักโมเลกุล (Mw) ของ $\text{SO}_2 = 64 \text{ g/mol}$

Std. gas volume = $24.465 \text{ L/mol @ } 25^\circ\text{C}$

คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วยน้ำหนัก

คำนวณหาปริมาณไอเสียต่อปี

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สู่อากาศ (กก./ปี)

วิธีการคำนวณ

แปลงหน่วยจากส่วนในล้านส่วน (ppm) เป็นมิลลิกรัม/ลบ.ม. ม. (ในการตรวจวัดต้องปรับหน่วยให้อยู่ในมาตรฐานการตรวจวัดตามกฎหมาย) ดังนี้

$$\begin{aligned} C (\text{mg/m}^3) &= C(\text{ppm.}) \times \frac{\text{Mw}(\text{g/mol})}{24.465(\text{L/mol})} \\ &= 1(\text{ppm.}) \times \frac{64(\text{g/mol})}{24.465(\text{L/mol})} \\ &= 2.616 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

ปริมาตรของไอเสียต่อปี ที่ 80°C มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} &= 4,000 (\text{m}^3/\text{hr}) \times 6,000(\text{hr/yr}) \\ &= 24,000,000 (\text{m}^3/\text{yr}) \end{aligned}$$

ปรับหน่วยความเข้มข้นและปริมาณไอเสียอยู่ในสถานะเดียวกัน (ณ สถานะมาตรฐานที่ อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ)

$$PV = nRT$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$V = \frac{V_2 T_1}{T_2}$$

$$V_{25^\circ} = \frac{(24,000,000) \times (273 + 25)}{(273 + 80)}$$

$$= 20,260,623 \text{ m}^3/\text{yr}$$

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สู่อากาศมีค่าเท่ากับ

$$R = C \times Q$$

หรือ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการปลดปล่อย} &= \text{ความเข้มข้น} \times \text{อัตราการระบาย} \\ &= 2.616 \text{ (mg/m}^3\text{)} \times 20,260,623 \text{ (m}^3\text{/yr)} \\ &= 53,001,790 \text{ (mg/yr)} \end{aligned}$$

กรณีไม่ได้ปรับให้อยู่ในสภาวะเดียวกัน จะได้ค่า 62,784,000 mg/yr มากกว่าที่ควรจะเป็นถึง 9,782,210 mg/yr (9.78 กิโลกรัมต่อปี) หรือคิดเห็นร้อยละ 18

ตัวอย่างที่ 4.2.1(3)

ข้อมูลการตรวจวัดมลสารจากปล่องของเตาหลอมเป็นดังนี้

	MW	%O ₂ measured (5.45)	%O ₂ (7)	อุณหภูมิ (25°C)	ความดัน (760)	ความชื้น (6.40)
TSP (mg/m ³)		30.156	27.131	35.051	35.553	37.982
SO _x (ppm)	64	33	29.689			
NO _x (ppm)	46	19	17.094			
CO (ppm)	28	4	3.599			

Flow rate @ actual (m³/s) = 10.0480

อุณหภูมิ @ actual (°C) = 112

ความดัน @ actual = 749.35

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ (กก./ปี)

วิธีการคำนวณ

ปรับอัตราการไหลของแก๊สให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน (ณ สภาวะที่อุณหภูมิ 25 °C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{gas flow rate}_{(25^\circ\text{C})} &= \text{gas flow rate}_{(\text{actual})} \times \frac{(273 + T_{\text{std}})}{(273 + T_{\text{stack}})} \\ &= 10.0480 \text{ (m}^3\text{/s)} \times \frac{(273 + 25)}{(273 + 112)} \\ &= 7.777 \text{ (Nm}^3\text{/s)} \end{aligned}$$

หาอัตราการไหลของแก๊สเทียบกับสภาวะแห้ง ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{gas flow rate}_{(\text{dry})} &= \text{gas flow rate}_{(\text{wet})} \times \left| 1 - \frac{\% \text{moisture}}{100\%} \right| \\ &= 7.777 \text{ (Nm}^3\text{/s)} \times \left| 1 - \frac{6.40\%}{100\%} \right| \end{aligned}$$

$$= 7.28(\text{Nm}^3/\text{s})$$

แปลงหน่วยความเข้มข้นของสาร (ppm) เป็นมิลลิกรัม/ลบ.ม. (ในการตรวจวัดต้องปรับหน่วยให้อยู่ในมาตรฐานการตรวจวัดตามกฎหมาย) โดยสมการ

$$C (\text{mg}/\text{m}^3) = C(\text{ppm.}) \times \frac{\text{Mw}(\text{g}/\text{mol})}{24.465(\text{L}/\text{mol})}$$

ดังนั้นจะคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศดังสมการ

$$R = C \times Q$$

หรือ

$$\text{ปริมาณการปลดปล่อย} = \text{ความเข้มข้น} \times \text{อัตราการระบาย}$$

ปริมาณการปลดปล่อย TSP สู่อากาศต่อวันเท่ากับ

$$= 30.156(\text{mg}/\text{m}^3) \times 10.0480(\text{m}^3/\text{s}) \times 24(\text{hr}/\text{day}) \times 60(\text{min}/\text{hr}) \times 60(\text{s}/\text{min}) \times 10^{-6}(\text{kg}) \\ = 26.18(\text{kg}/\text{day})$$

ปริมาณการปลดปล่อย SO_x สู่อากาศต่อวันเท่ากับ

$$= 33(\text{ppm}) \times \frac{64(\text{g}/\text{mol})}{24.465(\text{L}/\text{mol})} \times 7.28(\text{Nm}^3/\text{s}) \times 24(\text{hr}/\text{day}) \times 60(\text{min}/\text{hr}) \times 60(\text{s}/\text{min}) \times 10^{-6}(\text{kg}) \\ = 54.30(\text{kg}/\text{day})$$

ปริมาณการปลดปล่อย NO_x สู่อากาศต่อวันเท่ากับ

$$= 19(\text{ppm}) \times \frac{64(\text{g}/\text{mol})}{24.465(\text{L}/\text{mol})} \times 7.28(\text{Nm}^3/\text{s}) \times 24(\text{hr}/\text{day}) \times 60(\text{min}/\text{hr}) \times 60(\text{s}/\text{min}) \times 10^{-6}(\text{kg}) \\ = 22.47(\text{kg}/\text{day})$$

ปริมาณการปลดปล่อย CO สู่อากาศต่อวันเท่ากับ

$$= 4(\text{ppm}) \times \frac{64(\text{g}/\text{mol})}{24.465(\text{L}/\text{mol})} \times 7.28(\text{Nm}^3/\text{s}) \times 24(\text{hr}/\text{day}) \times 60(\text{min}/\text{hr}) \times 60(\text{s}/\text{min}) \times 10^{-6}(\text{kg}) \\ = 2.88(\text{kg}/\text{day})$$

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยสาร TSP สู่อากาศต่อปี มีค่าเท่ากับ

$$= 26.18(\text{kg}/\text{day}) \times 365 (\text{day}/\text{yr})$$

$$= 9,555.64(\text{kg}/\text{yr})$$

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยสาร SO_x สู่อากาศต่อปี มีค่าเท่ากับ

$$= 54.30(\text{kg}/\text{day}) \times 365 (\text{day}/\text{yr})$$

$$= 19,819.23(\text{kg/yr})$$

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยสาร NO_x สู่อากาศต่อปี มีค่าเท่ากับ

$$= 22.47(\text{kg/day}) \times 365 (\text{day/yr})$$

$$= 8,201.71(\text{kg/yr})$$

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยสาร CO สู่อากาศต่อปี มีค่าเท่ากับ

$$= 2.88(\text{kg/day}) \times 365 (\text{day/yr})$$

$$= 1,051.02(\text{kg/yr})$$

(2) การประเมินจากค่าความเข้มข้นของโลหะในเชื้อเพลิงหรือก๊าซเสีย

ในกรณีของโลหะ ถ้าไม่มีข้อมูลการตรวจวัดไอเสียโดยตรง การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศสามารถประเมินได้โดยใช้ค่าความเข้มข้นของโลหะในน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซได้ดังนี้

$$R_{\text{air},i} = C_{\text{metal},i} \times V_o$$

เมื่อ

$R_{\text{air},i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)

$C_{\text{metal},i}$ = ความเข้มข้นของโลหะในเชื้อเพลิงหรือก๊าซเสีย
(มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเชื้อเพลิง หรือมิลลิกรัมต่อตันเชื้อเพลิง)

V_o = ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปต่อปี (ลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือตันต่อปี)

ตัวอย่าง 4.2.1(2)

ข้อมูลความเข้มข้นของสาร Nickel ในน้ำมันเชื้อเพลิงมีดังนี้

ความเข้มข้นของสาร Nickel ในน้ำมันเชื้อเพลิงคือ 5 ppm (Part Per Million หรือ จำนวน 1 ต่อ 1 ล้าน) โดยน้ำหนัก (หมายเหตุ: ตามมาตรฐาน กำหนดให้ Nickel มีปริมาณรวมไม่เกิน 200 ppm ต่อน้ำหนัก)

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงคือ 7,400 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง 0.832 กิโลกรัมต่อลิตร

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยสาร Nickel สู่อากาศ (กิโลกรัมต่อปี)

วิธีการคำนวณ

ปริมาณ Nickel ในน้ำมันเชื้อเพลิง

$$\begin{aligned} & 5 \text{ kg}_{\text{nickel}} / 10^6 \text{ kg}_{\text{น้ำมันเชื้อเพลิง}} \times 0.832 \text{ kg/l} \times 10^3 \text{ l/m}^3 \\ & = 0.00416 \text{ kg}_{\text{nickel}} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

การปลดปล่อยสาร Nickel สู่อากาศมีค่าเท่ากับ

$$0.00416 \text{ kg/m}^3 \times 7,400 \text{ m}^3/\text{yr} = 30.784 \text{ kg/yr}$$

โดยมีสมมติฐานว่า Nickel ในเชื้อเพลิงทั้งหมดถูกปลดปล่อยในรูปก๊าซและฝุ่นไปกับไอเสียหรือเผาไหม้ โดยไม่มีการบำบัดก๊าซ

(3) สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ

ถ้าข้อมูลการตรวจวัดโดยตรงดังที่ได้กล่าวไว้ในส่วนที่ (1) และ (2) ไม่สามารถหาได้ หรือ การตรวจวัดโดยตรงไม่สามารถทำได้ อาจทำการประเมินโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ

สารประกอบอินทรีย์ระเหย

$$R_{\text{air},i} = EF_{\text{voc},i} \times V_o$$

เมื่อ

$R_{\text{air},i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)

$EF_{\text{voc},i}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของสารประกอบอินทรีย์ระเหย
แต่ละชนิด (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้)
อ้างอิงตารางที่ 4-1

V_o = ปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปต่อปี (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากการเผาไหม้น้ำมัน/ก๊าซ⁴¹

สารเคมีเป้าหมาย (สารอินทรีย์ระเหย)	ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย มลพิษจากการเผาไหม้น้ำมัน (กก./ลบ.ม. ของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เผาไหม้)	ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย มลพิษจากการเผาไหม้ก๊าซ (กก./ล้าน ลบ.ม. ของก๊าซ ที่เผาไหม้)
Benzene	2.57×10^{-5}	3.4×10^{-2}
Toluene	7.44×10^{-4}	5.4×10^{-2}
Xylenes	9.01×10^{-4}	-
Acetaldehyde	-	0.13
Formaldehyde	3.96×10^{-3}	1.2
Phenol	-	0.062
Acetone	1.01×10^{-2}	-
n-Hexane	1.80×10^{-3}	29

ที่มา: Environment Australia, Emission Estimation Technique Manual for Petroleum Refining (1999)

โลหะ

$$R_{air,i} = EF_{metal,i} \times V_o \text{ or } V_g$$

เมื่อ

$R_{air,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)

$EF_{metal,i}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของโลหะ
(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ หรือ กิโลกรัมต่อ 10^6
ลูกบาศก์เมตรของก๊าซที่เผาไหม้) อ้างอิงตารางที่ 4-2

V_o = ปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปต่อปี (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

V_g = ปริมาตรของก๊าซเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปต่อปี (10^6 ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

^[4] สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษนี้ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการเผาไหม้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติโดย USEPA ในกรณีที่โรงงานไม่มีข้อมูลที่เหมาะสม ค่าสัมประสิทธิ์นี้อาจประยุกต์ใช้กับกระบวนการเผาไหม้ได้

ตารางที่ 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของโลหะจากการเผาไหม้น้ำมัน/ก๊าซ^[5]

สารเคมีเป้าหมาย	ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้น้ำมัน (กก./ลบ.ม. ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้)		ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ก๊าซ (กก./ 10 ⁶ ลบ.ม. ของก๊าซที่เผาไหม้)
	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเตา	
Antimony	ND	6.3×10^{-4}	3.2×10^{-3}
Arsenic	7.06×10^{-5}	1.5×10^{-4}	-
Cadmium	5.03×10^{-5}	4.8×10^{-5}	1.8×10^{-2}
Chromium	ND	3.0×10^{-5}	1.1×10^{-3}
Copper	ND	2.1×10^{-4}	1.4×10^{-2}
Lead	1.49×10^{-4}	1.8×10^{-4}	8.0×10^{-3}
Manganese	2.35×10^{-4}	3.6×10^{-4}	6.1×10^{-3}
Nickel	3.02×10^{-4}	1.0×10^{-2}	3.4×10^{-2}
Zinc	ND	3.5×10^{-3}	4.6×10^{-1}

ที่มา: Environment Australia, Emission Estimation Technique Manual for Petroleum Refining (1999)

ตัวอย่าง 4.2.1(3)

ข้อมูลปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ถูกใช้ไปต่อปีคือ 7,400 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene และ Nickel (กิโลกรัมต่อปี)

วิธีการคำนวณ

อ้างอิงตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของสาร Benzene จากการเผาไหม้น้ำมันคือ 2.57×10^{-5} กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นปริมาณสาร Benzene ที่ถูกปลดปล่อยสู่อากาศมีค่าเท่ากับ

$$2.57 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3 \times 7,400 \text{ m}^3 = 0.19 \text{ kg/yr}$$

อ้างอิงตารางที่ 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของสาร Nickel จากการเผาไหม้น้ำมันคือ (น้ำมันดีเซล) คือ 3.02×10^{-4} กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นปริมาณสาร Nickel ที่ถูกปลดปล่อยสู่อากาศมีค่าเท่ากับ

^[5] USEPA, Compilation of Air Pollutants and Emission Factors, Stationary Point and Area Sources, Volume 1, fifth edition, AP-42 (1995)

$$3.02 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3 \times 7,400\text{m}^3 = 2.2 \text{ kg/yr}$$

หมายเหตุ:โดยสมมติฐานว่าการเผาไหม้น้ำมันดังกล่าวไม่มีข้อมูลที่เหมาะสม ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์นี้จากตารางที่ 4-2 อาจประยุกต์ใช้กับกระบวนการเผาไหม้ได้ ตามแหล่งอ้างอิงที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการเผาไหม้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติโดย USEPA

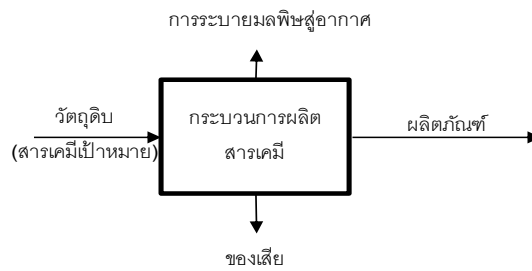
4.2.2 กระบวนการผลิตสารเคมี

4.2.2.1 การปลดปล่อยมลพิษ

ในกระบวนการผลิตอาจมีการระบายสารเคมีสู่อากาศหรือแหล่งน้ำ จากการระเหยหรือกลายเป็นไวดูดซับหรือผลิตภัณฑ์ ถ้าไอเสียถูกรวบรวมไว้และส่งต่อไปยังหอเผาให้ดำเนินการประเมินตามหัวข้อ 1) ต่อไป

4.2.2.2 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

(1) การใช้สารเคมีเป้าหมายเป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาทางเคมี



การประเมินโดยหลักการสมดุลมวล

การเคลื่อนย้ายและการปลดปล่อยมลพิษทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณการเกิดปฏิกิริยาทางทฤษฎีและปริมาณที่ถูกใช้ไปต่อปี

$$R_{\text{total},i} = [P_{c,i} - P_{r,i}] \times 10^3$$

หรือ

$$R_{\text{total},i} = P_{c,i} \times [1 - \text{eff}_i]$$

เมื่อ

$R_{\text{total},i}$ = ปริมาณการเคลื่อนย้ายและการปลดปล่อยมลพิษทั้งหมดของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)

$P_{c,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ใช้ไปต่อปี (ตันต่อปี)

- $P_{r,i}$ = ปริมาณการเกิดปฏิกิริยาทางทฤษฎีของสารเคมีเป้าหมาย (ตันต่อปี)
 $eff_{,i}$ = ความสมบูรณ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา(สัดส่วนผลิตภัณฑ์ต่อสารตั้งต้น)
 10^3 = ค่าการแปลงหน่วยจากตันเป็นกิโลกรัม

การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ

สำหรับการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ หลักการสมดุลมวลสามารถนำมาใช้เพื่อประเมินการปลดปล่อยมลพิษได้ดังนี้ (โดยตั้งสมมติฐานว่า การปลดปล่อยมลพิษจากจุดปล่อยดังกล่าวนี้มีการปลดปล่อยสู่อากาศร้อยเปอร์เซ็นต์)

$$R_{air,i} = R_i - T_{w,i}$$

เมื่อ

- R_i = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)
 $T_{w,i}$ = ปริมาณการเปลี่ยนรูปของสารเคมีเป้าหมายไปเป็นของเสีย (กิโลกรัมต่อปี)

นอกจากนี้ ในกรณีที่มีการใช้อุปกรณ์ควบคุม ปริมาณการระบายมลพิษสามารถทำการประเมินได้ดังนี้

$$\text{Controlled emission (kg/yr)} = \text{uncontrolled emission} \times (1 - \text{Efficiency}/100)$$

ในกรณีที่ไม่มีทราบข้อมูลประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุม สามารถใช้ข้อมูลประสิทธิภาพของอุปกรณ์บำบัดไอเสียที่จัดทำไว้ในคู่มือวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ PRTR ของประเทศญี่ปุ่นเป็นแนวทางในการประเมินได้ (ภาคผนวก จ)

การเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียของสารเคมีเป้าหมาย

ในการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย ถ้าทราบความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในของเสีย การเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_{w,i} = W_{w,i} \times A_w$$

เมื่อ

- $W_{w,i}$ = ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในของเสีย (กิโลกรัมต่อตัน)

A_w = ปริมาณของของเสียต่อปี (ตันต่อปี)

ตัวอย่าง 4.2.2(1)

ข้อมูลโดยสรุปของกระบวนการผลิตสารเคมีเป็นดังนี้

วัตถุดิบคือ Benzene (สารเคมีเป้าหมาย)

ผลิตภัณฑ์คือ Cyclohexane (ไม่ใช่สารเคมีเป้าหมาย)

ปริมาณสาร Benzene ที่ใช้ต่อปีคือ 10 ตันต่อปี

อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางทฤษฎีของสาร Benzene คือ 99 %

ปริมาณเป็นของเสียต่อปีคือ 0.6 ตันต่อปี

ความเข้มข้นของสาร Benzene ในของเสียคือ 70 กิโลกรัมต่อตัน

คำนวณปริมาณการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษของสาร Benzene

วิธีการคำนวณ

ด้วยอัตราการเกิดปฏิกิริยาในทางทฤษฎีเป็น 99% ปริมาณของสาร Benzene ที่เกิดปฏิกิริยาในทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้โดยการคูณด้วยปริมาณสาร Benzene ที่ใช้ไป โดยหลักการสมดุลมวล ค่าการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษโดยรวมมีค่าเท่ากับ

$$[10 \text{ t/yr} - 10 \text{ t/yr} \times (1 - 99 / 100)] \times 1,000 = 0.1 \text{ t/yr} = 100 \text{ kg/yr}$$

ความเข้มข้นของสาร Benzene ในของเสียคือ 70 กิโลกรัมต่อตัน การเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ

$$0.6 \text{ t/yr} \times 70 \text{ kg/t} = 42 \text{ kg/yr}$$

ดังนั้นจากการใช้หลักการสมดุลมวล ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ

$$100 \text{ kg/yr} - 42 \text{ kg/yr} = 58 \text{ kg/yr}$$

การประเมินโดยใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ

โดยสามารถประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของ USEPA^[6] มาใช้ได้
ดังนี้

$$R_{a,i} = EF_{a,i} \times A_p$$

เมื่อ

$EF_{a,i}$ = สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย
(กิโลกรัมต่อตันของผลิตภัณฑ์)

A_p = ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปี (ตันของผลิตภัณฑ์ต่อปี)

ตัวอย่างของสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษแสดงในภาคผนวก ฉ

ตัวอย่าง 4.2.2(2)

ข้อมูลโดยสรุปของกระบวนการผลิตสารเคมีเป็นดังนี้

วัตถุดิบคือ Styrene

ผลิตภัณฑ์คือ Polystyrene

รูปแบบของกระบวนการผลิตเป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง

ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปีคือ 120,000 ตันต่อปี

คำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Styrene

วิธีการคำนวณ

อ้างอิงตารางที่ ฉ-2 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษโดยรวมของสาร Styrene (ทั้งโรงงาน) ของการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องคือ 1.55 กิโลกรัมต่อตันของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Styrene มีค่าเท่ากับ

$$1.55 \text{ kg/t product} \times 120,000 \text{ t/yr} = 186,000 \text{ kg/yr}$$

^[6] USEPA, Compilation of Air Pollutants and Emission Factors, Stationary Point and Area Sources, Volume 1, fifth edition, AP-42 (1995)

การประเมินโดยใช้หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม

เมื่อถังปฏิกิริยาถูกเปิดเพื่อทำการซ่อมบำรุง สารเคมีเป้าหมายจะถูกปลดปล่อยสู่อากาศ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการนี้^[7]

$$R_{a,i} = V \times [(P + 1.033)/1.033] \times [273/(273 + T)] \times (C_i/100) \times (M_{w,i}/22.4)$$

เมื่อ

C_i = ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมาย (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

P = Residue pressure ก่อนที่จะเปิดถังปฏิกิริยา (มาตรวัดความดัน) (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

V = ปริมาตรของอุปกรณ์ (ลูกบาศก์เมตร)

T = อุณหภูมิภายในถังปฏิกิริยา ($^{\circ}C$)

$M_{w,i}$ = น้ำหนักโมเลกุลของสารเคมีเป้าหมาย (กรัมต่อโมล)

สูตรพื้นฐานในช่วยการคำนวณ
 $PV = nRT$
 $n = PV/RT$

หมายเหตุ: การคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวนี้ สารเคมีที่ถูกปลดปล่อยจะต้องอยู่ในสถานะก๊าซเท่านั้น หากมีสารเคมีในสถานะของเหลวคงเหลืออยู่ต้องใช้สมการอื่นร่วมด้วย

ตัวอย่าง 4.2.2(3)

ข้อมูลโดยสรุปของถังปฏิกิริยาเป็นดังนี้

สารเคมีเป้าหมายคือ Benzene

ความเข้มข้นของสาร Benzene ในถังปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Residue pressure ก่อนที่จะเปิดถังปฏิกิริยา (อ่านจากมาตรวัดความดัน) มีค่าเท่ากับ 0.82 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ปริมาตรของอุปกรณ์คือ 35 ลูกบาศก์เมตร

อุณหภูมิภายในของอุปกรณ์มีค่าเท่ากับ 20 องศา $^{\circ}C$

น้ำหนักโมเลกุลของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ 78 กรัมต่อโมล (คุณสมบัติทางเคมีกายภาพสามารถสืบค้นได้จากฐานข้อมูล CHRIP (<http://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>) หรือจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ WATER 9 ที่จะได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 6) ในบทนี้

^[7] Japan Chemical Industry Association, Determination of Release Amounts of Specific Chemical Substances in the Environment and Promotion of Improvements to the Management Thereof (2001)

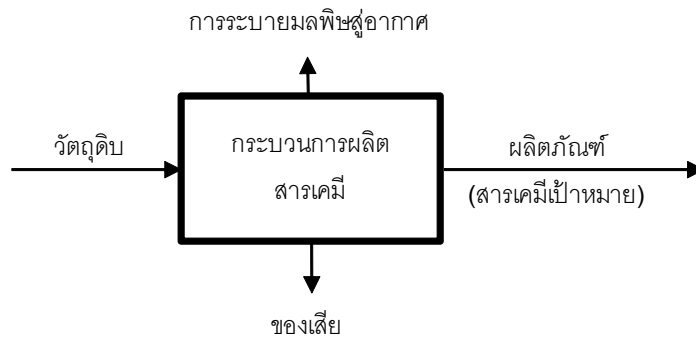
คำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene

วิธีการคำนวณ

โดยการใช้หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene คือ

$$35 \text{ m}^3 \times [(0.82 + 1.033)/1.033] \times [273/(273 + 20^\circ\text{C})] \times (20 \text{ wt\%/100}) \times (78 \text{ g/mol}/22.4) = 41 \text{ kg/yr}$$

(2) การผลิตสารเคมีเป้าหมาย (รวมทั้งผลพลอยได้จากการผลิตและสิ่งที่ได้ระหว่างการผลิต)



การประเมินโดยใช้หลักการสมดุลมวล

การปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษโดยรวมสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณการผลิตในทางทฤษฎีและปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปี

$$R_{\text{total},i} = [P_{t,i} - P_{a,i}] \times 10^3$$

หรือ

$$R_{\text{total},i} = P_{t,i} \times [1 - \text{eff}_i]$$

เมื่อ

$R_{\text{total},i}$ = การปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษโดยรวมของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)

$P_{t,i}$ = ปริมาณการผลิตในทางทฤษฎีของสารเคมีเป้าหมาย (ตันต่อปี)

$P_{a,i}$ = ปริมาณการผลิตต่อปีของสารเคมีเป้าหมาย (ตันต่อปี)

eff_i = ความสมบูรณ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา(สัดส่วนผลิตภัณฑ์ต่อสารตั้งต้น)
 10^3 = ค่าการแปลงหน่วยจากตันเป็นกิโลกรัม

การปลดปล่อยสู่อากาศและการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย

ในส่วนของวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ สำหรับการปลดปล่อยสู่อากาศ และการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย สามารถดูได้จากหัวข้อ (1) ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

ตัวอย่าง 4.2(4)

ข้อมูลโดยสรุปของกระบวนการผลิตสารเคมีเป็นดังนี้

วัตถุดิบคือ Ethylene (ไม่ใช่สารเคมีเป้าหมาย)

ผลิตภัณฑ์คือ Trichloroethylene (สารเคมีเป้าหมาย)

ปริมาณสาร Trichloroethylene ที่ผลิตได้จริงต่อปีคือ 14.7 ตันต่อปี

ปริมาณสาร Trichloroethylene ที่ผลิตได้ในทางทฤษฎีคือ 15 ตันต่อปี

ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นต่อปีคือ 1.1 ตันต่อปี

ความเข้มข้นของสาร Trichloroethylene ในของเสียคือ 140 กิโลกรัมต่อตัน

คำนวณปริมาณการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษของสาร Trichloroethylene

วิธีการคำนวณ

ปริมาณสาร Trichloroethylene ที่ผลิตได้ในทางทฤษฎีคือ 15 ตันต่อปี แต่ผลิตได้เพียง 14.7 ตันต่อปี ดังนั้นสูญเสีย Trichloroethylene จากระบบเป็น

$$[15 \text{ t/yr} - 14.7 \text{ t/yr}] \times 1,000 = 300 \text{ kg/yr}$$

กากของเสียที่เกิดจากระบบมี Trichloroethylene ปนเปื้อนออกไปด้วย 140 กิโลกรัมต่อตัน คิดเป็นการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียเท่ากับ

$$1.1 \text{ t/yr} \times 140 \text{ kg/t} = 154 \text{ kg/yr}$$

เนื่องจาก Trichloroethylene เป็นสารอินทรีย์ระเหย อาจเกิดการสูญเสียสู่อากาศได้อีกช่องทางหนึ่ง เมื่อพิจารณาในรูปของการสูญเสีย Trichloroethylene ที่ระเหยไป

$$300 \text{ kg/yr} - 154 \text{ kg/t} = 146 \text{ kg/yr}$$

ดังนั้น การปลดปล่อย Trichloroethylene สู่อากาศ = 146 kg/yr

การเคลื่อนย้าย Trichloroethylene ในรูปของเสีย = 154 kg/yr

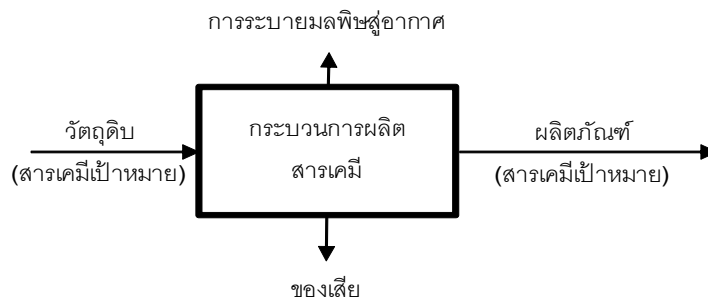
การประเมินโดยใช้สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ

ดูในหัวข้อ (1) ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

การประเมินโดยใช้หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม

ดูในหัวข้อ (1) ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

(3) การผสมสารเคมีเป้าหมายกับการผลิตผลิตภัณฑ์เคมี เช่น สี สารที่ใช้ผลิตสารเคมีทางการเกษตรและอื่นๆ



การประเมินโดยหลักการสมดุลมวล

การปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษโดยรวมสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณที่ใช้ไปต่อปีและปริมาณของสารที่อยู่ในผลิตภัณฑ์

$$R_{total,i} \text{ (kg/yr)} = [P_{c,i} - P_{p,i} \times W_{t,i}/100] \times 1,000$$

เมื่อ

$R_{total,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษโดยรวม (กิโลกรัมต่อปี)

$P_{c,i}$ = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่ใช้ไปต่อปี (ตันต่อปี)

$P_{p,i}$ = ปริมาณการผลิตต่อปีของเคมีภัณฑ์ (ตันของผลิตภัณฑ์ต่อปี)

$W_{t,i}$ = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเฉลี่ยของสารเคมีเป้าหมายในผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

10^3 = ค่าการแปลงหน่วย จากตันเป็นกิโลกรัม

การปลดปล่อยสู่อากาศและการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย

ในส่วนของวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ สำหรับการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศและการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย ดูในส่วนที่ (การประเมินโดยหลักการสมดุลมวล) ของหัวข้อ (2) ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

ตัวอย่าง 4.2.2(5)

ข้อมูลโดยสรุปของกระบวนการผลิตนี้เป็นดังนี้

วัตถุดิบคือ Toluene (สารเคมีเป้าหมาย)

ผลิตภัณฑ์คือ สี (ความเข้มข้นของสาร Toluene มีค่าเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

ปริมาณสาร Toluene ที่ซื้อต่อปี 15 ตันต่อปี

ปริมาณของสีที่เกิดขึ้นต่อปีมีค่าเท่ากับ 49 ตันต่อปี

ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นต่อปีมีค่าเท่ากับ 0.3 ตันต่อปี

ความเข้มข้นของสาร Toluene ในของเสียมีค่าเท่ากับ 72 กิโลกรัมต่อตัน

คำนวณปริมาณการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษของสาร Toluene

หมายเหตุ: เนื่องจากไม่ได้บันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ไว้ ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานว่า ปริมาณสารที่ใช้เท่ากับ ปริมาณที่ซื้อ

วิธีการคำนวณ

ปริมาณของสีที่ผลิตได้ต่อปีคือ 49 ตันต่อปีและความเข้มข้นของสาร Toluene คือ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังนั้นใช้หลักเกณฑ์สมดุลมวลเพื่อคำนวณปริมาณการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษโดยรวมของสาร Toluene มีค่าเท่ากับ

$$[15 \text{ t/yr} - (49 \text{ t/yr} \times 30 \text{ wt\%/100})] \times 1,000 = 300 \text{ kg/yr}$$

เมื่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นต่อปีมีค่าเท่ากับ 0.3 ตันต่อปี และความเข้มข้นของสาร Toluene ในของเสียมีค่าเท่ากับ 72 กิโลกรัมต่อตัน ดังนั้นการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียของสาร Toluene มีค่าเท่ากับ

$$0.3 \text{ t/yr} \times 72 \text{ kg/t} = 21.6 \text{ kg/yr}$$

ดังนั้นใช้หลักเกณฑ์สมดุลมวล ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Toluene มีค่าเท่ากับ

$$300 \text{ kg/yr} - 21.6 \text{ kg/yr} = 278.4 \text{ kg/yr}$$

การประเมินโดยใช้หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม

ศึกษาได้จากหัวข้อ (1) ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ในกระบวนการถ่ายเทสาร และกระบวนการผสมสารในถังผสม เมื่อมีการใช้สารเคมีเป้าหมายของเหลวจะเข้าไปแทนที่ไอ ออสาร์จะถูก

ระบายออกมา ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการนี้

$$\text{Acceptance Loss kg} = \frac{V}{d} \times \frac{P}{A} \times \frac{Mw}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + T)}$$

เมื่อ

- V = Charge weight (กก.)
- D = ความหนาแน่นของสาร (กก./ลิตร)
- P = ความดันไอย่อยของสาร (mmHg)
- A = ความดันภายในถัง (ที่ความดันบรรยากาศ = 760 mmHg)
- Mw = น้ำหนักโมเลกุลของสาร (กก./กิโลโมล)
- T = อุณหภูมิของถัง (องศาเซลเซียส)
- Mw = น้ำหนักโมเลกุลของสาร (กก./กิโลโมล)
- T = อุณหภูมิของถัง (องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง 4.2.2(6)

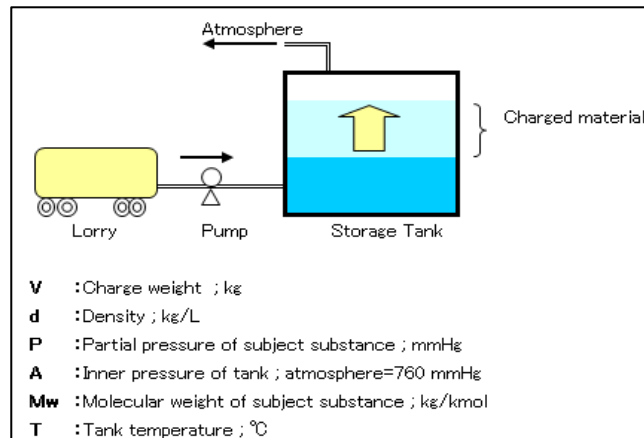
ข้อมูลโดยสรุปของกระบวนการถ่ายเทสารเป็นดังนี้
 ถ่ายเทสาร Isopropanol (Isopropyl Alcohol, IPA) เข้าถังบรรจุขนาด 15 ม³
 สั่งซื้อครั้งละ 12,000 ลิตร
 สั่งซื้อในปริมาณที่เท่ากันทั้งหมด 24 ครั้ง/ปี
 สารมีความหนาแน่น 0.7863 กก./ลิตร
 ถังมีท่อระบายไอสู่บรรยากาศ
 ถังอยู่บนพื้นคอนกรีต มีหลังคา มีการระบายอากาศดี
 คำนวณปริมาณการปลดปล่อยสารเคมีเป้าหมายสู่อากาศ

วิธีการคำนวณ

เนื่องจากมีท่อระบายไอ ดังนั้นในถังจะมีสถานะเดียวกับบรรยากาศข้างนอก

Charge weight	Density	Charge Volume	Vapor pressure	Inner pressure of tank	Molecular weight	Tank temperature
(kg)	(kg/L)	(L)	(mmHg)	(mmHg)	(kg/kmol)	(°C)
9435.6	0.7863	12000	44.5	760	60.1	25

เนื่องจากมีหลังคาปิดคลุม อุณหภูมิจึงต่ำ สมมติอุณหภูมิที่ 25°C และค่อนข้างคงที่ทั้งปี ดังนั้นการระเหยของไอจึงเกิดขึ้นในขณะที่ถ่ายสารเข้าถัง เมื่อของเหลวแทนที่ไอ ไอจะถูกระบายออกมา สามารถคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยสารเคมีเป้าหมายสู่อากาศได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 \text{Acceptance Loss (kg)} &= \frac{V(\text{kg.})}{d(\text{kg./L})} \times \frac{P(\text{mmHg})}{A(\text{mmHg})} \times \frac{Mw(\text{kg/kmol})}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + T(^{\circ}\text{C}))} \\
 &= 12,000 \times \frac{44.5}{760} \times \frac{60.1}{22.4 \times 1,000} \times \frac{273}{273 + 25} \\
 &= 1.73 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

ในแต่ละครั้งที่มีการถ่ายสารเข้าถัง Isopropanol จะปลดปล่อยสู่อากาศครั้งละ 1.73 กก. ดังนั้น ตลอดทั้งปีจะมีการปลดปล่อย Isopropanol สู่อากาศ เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 &= 1.73 \text{ kg./time} \times 24 \text{ time/yr.} \\
 &= 41.52 \text{ kg./yr.}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 4.2.2(7)

ข้อมูลโดยสรุปของกระบวนการผสมสีเป็นดังนี้

ในการผสมสารแต่ละครั้ง จะทำครั้งละ 1,000 กก.

ในปีที่ผ่านมา มีการผสมสารโดยใช้สูตร 1 ทั้งหมด 100 Batch

คำนวณหาปริมาณการใช้ของสารตั้งต้น

คำนวณปริมาณการปลดปล่อยสารเคมีเป่าหมายสู่อากาศของสารทั้งหมด

วิธีการคำนวณ

องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารที่เป็นส่วนประกอบในกระบวนการผสมสีตามสูตร 1 ทั้งหมดแสดงในตาราง คำนวณหา mole fraction ของสารประกอบ และหาความดันไอย่อยสำหรับแต่ละสารประกอบ

Substance	MW	density kg/L	Vapor Pressure (mmHg); P _i *						
			25°C	30°C	35°C	40°C	55°C	80°C	100°C
Ethyl Acetate	88.1	0.902	94.0	119.3	149.9	186.8	344.4	832.6	1526.4
Isopropanol	60.1	0.786	44.5	59.9	79.7	105.0	226.4	691.2	1495.4
Methylethyl ketone (MEK)	72.1	0.805	90.4	115.0	144.7	180.1	328.9	769.7	1363.3

Mixture สูตร 1	Wt%	MW	mol	mole fraction , X _i	Partial Pressure (mmHg); P _i = P _i * X _i						
					25°C	30°C	35°C	40°C	55°C	80°C	100°C
Ethyl Acetate	44.1	88.1	0.501	0.542	50.9	64.7	81.2	101.2	186.7	451.3	827.3
Isopropanol	23.4	60.1	0.389	0.422	18.8	25.3	33.6	44.3	95.5	291.4	630.5
MEK	2.4	72.1	0.033	0.036	3.3	4.1	5.2	6.5	11.9	27.7	49.1
Urethane Polymer	30.1	90000.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	100.0		0.923	1.000							

คำนวณหาปริมาตรของสาร Ethyl Acetate จากข้อมูลในตารางปริมาตรของสาร Ethyl Acetate มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{Charge Volume (L)} &= \frac{\text{Charge Weight (kg.)}}{d \text{ (kg/L)}} \\ &= \frac{441 \text{ (kg.)}}{0.902 \text{ (kg/L)}} \\ &= 488.9 \text{ L} \end{aligned}$$

คำนวณหาปริมาตรของสาร Isopropanol จากข้อมูลในตารางปริมาตรของสาร Isopropanol มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{Charge Volume (L)} &= \frac{\text{Charge Weight (kg.)}}{d \text{ (kg/L)}} \\ &= \frac{234 \text{ (kg.)}}{0.786 \text{ (kg/L)}} \\ &= 297.7 \text{ L} \end{aligned}$$

คำนวณหาปริมาตรของสาร Methylethyl ketone (MEK) จากข้อมูลในตารางปริมาตรของสาร Methylethyl ketone (MEK) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{Charge Volume (L)} &= \frac{\text{Charge Weight (kg.)}}{d \text{ (kg/L)}} \\ &= \frac{24 \text{ (kg.)}}{0.805 \text{ (kg/L)}} \\ &= 29.8 \text{ L}\end{aligned}$$

คำนวณหาปริมาณของสาร Urethane Polymer จากข้อมูลในตารางปริมาณของสาร Urethane Polymer มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{Charge Volume (L)} &= \frac{\text{Charge Weight (kg.)}}{d \text{ (kg/L)}} \\ &= \frac{301 \text{ (kg.)}}{1.2 \text{ (kg/L)}} \\ &= 250.8 \text{ L}\end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณของสารทั้งหมดเท่ากับ $488.9+297.7+29.8+250.8 = 1067.2$ ลิตร

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยสารสู่อากาศของสาร Ethyl Acetate มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{Acceptance Loss (kg)} &= \frac{V(\text{kg.})}{d(\text{kg./L})} \times \frac{P(\text{mmHg})}{A(\text{mmHg})} \times \frac{Mw(\text{kg/kmol})}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + T(^{\circ}\text{C}))} \\ &= 1067.2 \text{ (L)} \times \frac{50.9 \text{ (mmHg)}}{760 \text{ (mmHg)}} \times \frac{88.1 \text{ (kg/kmol)}}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + 25)} \\ &= 0.576 \text{ kg.}\end{aligned}$$

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยสารสู่อากาศของสาร Isopropanol มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{Acceptance Loss (kg)} &= \frac{V(\text{kg.})}{d(\text{kg./L})} \times \frac{P(\text{mmHg})}{A(\text{mmHg})} \times \frac{Mw(\text{kg/kmol})}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + T(^{\circ}\text{C}))} \\ &= 1067.2 \text{ (L)} \times \frac{18.8 \text{ (mmHg)}}{760 \text{ (mmHg)}} \times \frac{60.1 \text{ (kg/kmol)}}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + 25)} \\ &= 0.0649 \text{ kg.}\end{aligned}$$

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยสารสู่อากาศของสาร Methylene ketone (MEK) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{Acceptance Loss (kg)} &= \frac{V(\text{kg.})}{d(\text{kg./L})} \times \frac{P(\text{mmHg})}{A(\text{mmHg})} \times \frac{Mw(\text{kg/kmol})}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + T(^{\circ}\text{C}))} \\ &= 1067.2 \text{ (L)} \times \frac{3.3 \text{ (mmHg)}}{760 \text{ (mmHg)}} \times \frac{72.1 \text{ (kg/kmol)}}{22.4 \times 1000} \times \frac{273}{(273 + 25)}\end{aligned}$$

$$= 0.0137 \text{ kg.}$$

Mixture สูตร 1	MW	Wt%	ปริมาณที่ผสมตามสูตร (.กก)	density kg/L	ปริมาตรของสาร, ลิตร	Partial Pressure (mmHg) @25°C	ปริมาณของสารที่ระบายสู่อากาศ, กก.
Ethyl Acetate	88.1	44.1	441	0.902	488.9	50.9	0.2576
Isopropanol	60.1	23.4	234	0.786	297.7	18.8	0.0649
MEK	72.1	2.4	24	0.805	29.8	3.3	0.0137
Urethane Polymer	90000	30.1	301	1.200	250.8		
		ปริมาณรวม	1,000	Charge Volume	1,067.2		

จากการผสมสารโดยใช้สูตร 1 ทั้งหมด 100 Batch มีการปลดปล่อยสาร Ethyl Acetate สู่อากาศทั้งหมดเป็น

$$= 0.2576 \text{ (kg)} \times 100 \text{ (Batch)}$$

$$= 25.76 \text{ kg.}$$

จากการผสมสารโดยใช้สูตร 1 ทั้งหมด 100 Batch มีการปลดปล่อยสาร Isopropanol สู่อากาศทั้งหมดเป็น

$$= 0.0649 \text{ (kg)} \times 100 \text{ (Batch)}$$

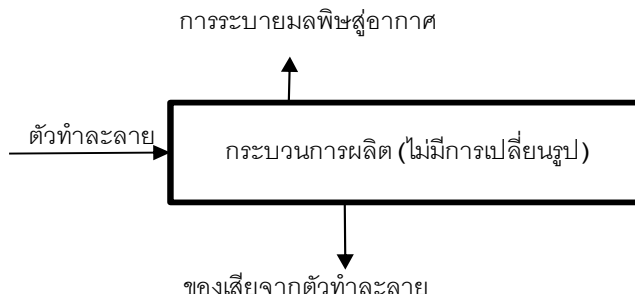
$$= 6.49 \text{ kg.}$$

จากการผสมสารโดยใช้สูตร 1 ทั้งหมด 100 Batch มีการปลดปล่อยสาร Methyl ethyl ketone (MEK) สู่อากาศทั้งหมดเป็น

$$= 0.0137 \text{ (kg)} \times 100 \text{ (Batch)}$$

$$= 1.37 \text{ kg.}$$

(4) กระบวนการใช้ตัวทำละลายมีการระบายสารอินทรีย์ระเหยสู่อากาศระหว่างการใช้งานและจากของเสียที่เกิดจากกระบวนการอื่นๆ



การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ

ในเรื่องของการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ หลักการสมดุลมวลสามารถนำมาใช้ในเรื่องของการประเมินการปลดปล่อยมลพิษได้ดังสมการ

$$R_{a,i} = [V_s \times W_{s,i} / 100 \times 1,000] - T_{w,i}$$

เมื่อ

$R_{a,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)

V_s = ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ต่อปี (ตันต่อปี)

$W_{s,i}$ = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเฉลี่ยของสารเคมีเป้าหมายในตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

$T_{w,i}$ = การเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียจากตัวทำละลาย (กิโลกรัมต่อปี)

10^3 = ค่าการแปลงหน่วย จากตันเป็นกิโลกรัม

ในกรณีที่มีการใช้อุปกรณ์ควบคุม การระบายมลพิษที่ถูกควบคุมสามารถประเมินได้ดังนี้

$$\text{Controlled emission (kg/yr)} = \text{uncontrolled emission} \times (1 - \text{Efficiency}/100)$$

ในกรณีที่ไม่มีทราบข้อมูลประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุม สามารถใช้ข้อมูลประสิทธิภาพของอุปกรณ์บำบัดไอเสียที่จัดทำไว้ในคู่มือวิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ PRTR ของประเทศญี่ปุ่นเป็นแนวทางในการประเมินได้ (ภาคผนวก จ)

ตัวอย่าง 4.2.2(6)

ข้อมูลโดยสรุปของการใช้ตัวทำลายในกระบวนการผลิตเป็นดังนี้
ปริมาณตัวทำลายที่ใช้ต่อปีคือ 24 ตันต่อปี
สัดส่วนของสาร Xylene ในตัวทำลายมีค่าเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ปริมาณตัวทำลายที่ใช้แล้วที่เกิดขึ้นต่อปีมีค่าเท่ากับ 21 ตันต่อปี
ความเข้มข้นของสาร Xylene ในของเสียมีค่าเท่ากับ 420 กิโลกรัมต่อตัน
คำนวณปริมาณการปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษของสาร Xylene

วิธีการคำนวณ

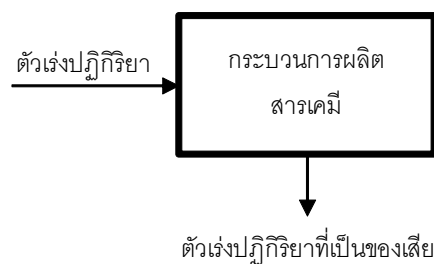
ความเข้มข้นของสาร Xylene ในของเสียคือ 420 กิโลกรัมต่อตัน ดังนั้นปริมาณการเปลี่ยนรูปของ Xylene อยู่ในของเสีย มีค่าเท่ากับ

$$21 \text{ t/yr} \times 420 \text{ kg/t} = 8,820 \text{ kg/yr}$$

ใช้การสมมูลมวล ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Xylene มีค่าเท่ากับ

$$[24 \text{ t/yr} \times 60 \text{ wt\%/100} \times 1,000] - 8,820 \text{ kg/yr} = 5,580 \text{ kg/yr}$$

(5) สารเคมีเป้าหมายที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



การเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย

เมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตสารเคมี การตรวจวัดโดยตรงสามารถใช้ในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษได้ กรณีทราบระดับความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเสีย การเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_{w,i} = C_{w,i} \times A_w$$

เมื่อ

$T_{w,i}$ = ปริมาณการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย (กิโลกรัมต่อปี)

$C_{w,i}$ = ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเสีย (กิโลกรัมต่อตัน)

A_w = ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเสียต่อปี (ตันต่อปี)

อย่างไรก็ตามถ้าไม่ทราบความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเสีย ปริมาณการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียสามารถคำนวณได้โดยใช้ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนที่จะนำมาใช้แทนที่จะใช้จากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเสีย ได้ดังนี้

$$T_{w,i} = A_w \times W_{t,i} \div 100$$

เมื่อ

$T_{w,i}$ = ปริมาณการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย

A_w = ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเสียต่อปี (ตันต่อปี)

$W_{t,i}$ = ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในตัวเร่งปฏิกิริยา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

ตัวอย่าง 4.2.2(7)

ข้อมูลโดยสรุปของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นดังนี้

ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นต่อปีมีค่าเท่ากับ 0.52 ตันต่อปี

ความเข้มข้นของสาร Nickel ในของเสียมีค่าเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

คำนวณหาปริมาณการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสียของสาร Nickel

วิธีการคำนวณ

เมื่อความเข้มข้นของสาร Nickel ในของเสียคือ 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณการเปลี่ยนรูปไปเป็นของเสีย มีค่าเท่ากับ

$$(18 \text{ wt\%} \div 100) \times 0.52 \text{ t/yr} \times 1000 = 94 \text{ kg/yr}$$

4.2.3 กระบวนการปลดปล่อยมลพิษแบบฟุ้งกระจาย

4.2.3.1 การปลดปล่อยมลพิษ

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศโดยการฟุ้งกระจายจาก ข้อต่อ วาล์วหรืออุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง

4.2.3.2 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

ในการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ สามารถนำคู่มือบัญชีการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่จัดทำขึ้นโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้อ้างอิงได้ โดยค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษและสมการความสัมพันธ์จะได้กล่าวไว้ในส่วนถัดไป

(1) สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ

สำหรับกระบวนการการระบายมลพิษแบบฟุ้งกระจาย สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของสารประกอบอินทรีย์ระเหยสามารถใช้วิธีการประเมินการปลดปล่อยมลพิษได้ดังนี้

$$R_{air,i} = EF_{voc,total} \times E_q \times O_{hr} \times (W_{t,i}\% \div 100)$$

เมื่อ

$R_{air,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)

$EF_{voc,total}$ = สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อแหล่งกำเนิด) อ้างอิงตารางที่ 4-3

O_{hr} = ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชั่วโมงต่อปี)

E_q = จำนวนอุปกรณ์ (แหล่งกำเนิด)

$W_{t,i}\%$ = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารเคมีเป้าหมายในสารประกอบอินทรีย์ระเหย

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสำหรับกระบวนการที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย^[8]

ชนิดของอุปกรณ์	การทำงาน	สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (กก./ชม./แหล่งกำเนิด)
ข้อต่อ ^[a]	ก๊าซ	2.50×10^{-4}
	ของเหลวเบา	2.50×10^{-4}
	ของเหลวหนัก	4.34×10^{-5}
หน้าแปลน	ก๊าซ	2.50×10^{-4}
	ของเหลวเบา	2.50×10^{-4}
	ของเหลวหนัก	4.68×10^{-5}
กันซึมเครื่องอัดอากาศ	ก๊าซ	0.636
กันซึมปั๊ม ^[b]	ของเหลวเบา	0.114
	ของเหลวหนัก	3.49×10^{-3}
วาล์ว	ก๊าซ	0.0268
	ของเหลวเบา	0.0109
	ของเหลวหนัก	9.87×10^{-5}
ท่อส่งปลายเปิด	ทุกประเภท	2.30×10^{-3}
วาล์วลดแรงดัน	ก๊าซ	0.16
จุดเก็บตัวอย่างสารเคมี	ทุกประเภท	0.015
ท่อระบาย	ทุกประเภท	0.032
อื่นๆ ^[c]	ของเหลวหนัก	5.18×10^{-5}

^[a] กำหนดให้เป็น non-flanged connectors

^[b] สัมประสิทธิ์ของ light liquid pump seal สามารถประเมินการรั่วไหลได้จาก agitator seals

^[c] ชนิดของอุปกรณ์ในหัวข้อ “อื่นๆ” นั้น นำมาใช้คำนวณกับอุปกรณ์ทุกประเภทที่ก่อให้เกิดของเหลวหนักที่ไม่ได้ระบุไว้ในตาราง อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์บางชนิดอาจมีค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ ทั้ง ก๊าซ ของเหลวเบา ของเหลวหนัก กรณีดังกล่าว จึงต้องระวังไม่นำไปคำนวณตามหัวข้อ “อื่นๆ”

ที่มา: Environment Australia, Emission Estimation Technique Manual for Petroleum Refining (1999)

^[8] สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษนี้ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการระบายมลพิษแบบฟุ้งกระจายโดย USEPA สัมประสิทธิ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งระบายมลพิษที่ไม่สามารถหาข้อมูลได้

ตัวอย่าง 4.2.3(1)

ข้อมูลของแหล่งกำเนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายเป็นดังนี้
สารเคมีเป้าหมายคือ Benzene (ส่วนผสมคือ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
จำนวนของหน้าแปลนมีค่าเท่ากับ 2,000 สำหรับของเหลวเบา
จำนวนของวาล์วมีค่าเท่ากับ 500 สำหรับของเหลวเบา
ชั่วโมงการทำงานคือ 6,000 ชั่วโมงต่อปี
คำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene

วิธีการคำนวณ

จากตารางที่ 4-3 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจากหน้าแปลน สำหรับของเหลวเบา คือ 2.50×10^{-4} ก./ชม./แหล่งกำเนิด วาล์วคือ 0.0109 กก./ชม./แหล่งกำเนิด ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ

$$(2,000 \times 2.50 \times 10^{-4} + 500 \times 0.0109) \times 6,000 \times (100\text{wt}\% \div 100) \\ = 357 \text{ kg/yr}$$

(2) สมการความสัมพันธ์ (Correlation Equation)

ในกรณีที่มีข้อมูลการตรวจวัดการรั่วไหลโดยใช้อุปกรณ์ FID (Flame Ionization Detector) สามารถใช้สมการความสัมพันธ์ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 ในหน้าถัดไป ในการประเมินได้

โดยถ้าค่าข้อมูลการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LDL) ให้ใช้ค่า Default Zero Emission Rate เว้นแต่ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้มีค่ามากกว่า 1 ppmv ซึ่งในกรณีนี้ให้ใช้ครึ่งหนึ่งของค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้กับสมการความสัมพันธ์

ถ้าข้อมูลการตรวจวัดมีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (UDL) ให้ใช้ค่า Pegged Emission Rate แต่ถ้าค่าข้อมูลการตรวจวัดอยู่ระหว่าง LDL และ UDL ให้ใช้สมการความสัมพันธ์ในการประเมิน

ตารางที่ 4-4 สมการความสัมพันธ์ของกระบวนการปลดปล่อยมลพิษที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย^[9]

ชนิดของอุปกรณ์	Default Zero Emission Rate (kg-TOC ^[a] /hr)	Pegged Emission Rate (kg-TOC ^[a] /hr)		สมการความสัมพันธ์ ^[c] (หน่วยของผลจากการคำนวณ คือ kg-TOC ^[a] /hr)
		10,000 ppmv ^[b]	100,000 ppmv ^[b]	
ข้อต่อ ^[d]	7.5×10^{-6}	0.028	0.03	Leak = 1.53×10^{-6} (SV) ^{0.735}
หน้าแปลน ^[e]	3.1×10^{-7}	0.085	0.084	Leak = 4.61×10^{-6} (SV) ^{0.703}
วาล์ว	7.8×10^{-6}	0.064	0.14	Leak = 2.29×10^{-6} (SV) ^{0.746}
ท่อส่งปลายเปิด	2.0×10^{-6}	0.03	0.079	Leak = 2.20×10^{-6} (SV) ^{0.704}
กันซึมปั๊ม	2.4×10^{-5}	0.074	0.16	Leak = 5.03×10^{-5} (SV) ^{0.610}
ท่อระบาย	1.5×10^{-3}	ND ^g	ND ^g	Leak = 1.50×10^{-4} (SV) ^{1.02}
อื่นๆ ^[f]	4.0×10^{-6}	0.073	0.11	Leak = 1.36×10^{-5} (SV) ^{0.589}

^[a] สารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด

^[b] ค่าสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้

^[c] SV เป็นค่าย่อของ Screening Value มีหน่วยเป็น ppmv (parts per million by volume)

^[d] ประเภทของ connector ที่เกี่ยวข้องกับ non-flanged connectors

^[e] ประเภทของวาล์วที่ไม่รวม pressure relief valves อุปกรณ์ที่อยู่ในประเภท “อื่นๆ”

^[f] ประเภท “อื่นๆ” จะใช้ได้กับอุปกรณ์ทุกชนิดที่ไม่ได้กล่าวไว้ในตาราง ซึ่งรวมไปถึง loading arms, pressure relief valves, stuffing boxes, vents, compressors and dump lever arms

^[g] ND = ไม่มีข้อมูล

ที่มา: Environment Australia, Emission Estimation Technique Manual for Petroleum Refining (1999)

จากการประเมินอัตราการปลดปล่อยมลพิษดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด (TOCs) ซึ่งจะต้องแปลงกลับไปเป็นของแต่ละสารประกอบโดยใช้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแต่ละสารประกอบ ทั้งสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) และสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด (TOCs) คำนวณได้ดังนี้

$$ER_{air,i} = ER_{air,TOC} \times (Wt_{VOC} / Wt_{TOC}) \times Wt_i \div 100$$

เมื่อ

^[9] สมการความสัมพันธ์ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการระบายมลพิษแบบฟุ้งกระจายโดย USEPA และอื่นๆ

- $ER_{air,i}$ = ปริมาณการระบายมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
 $ER_{air,TOC}$ = ปริมาณการระบายมลพิษสู่อากาศของสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
 Wt_{VOC} = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOC)
 Wt_{TOC} = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)
 Wt_i = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารเคมีเป้าหมายในสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOC)

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมายต่อปีสามารถประเมินได้โดยการคูณปริมาณการระบายมลพิษด้วยชั่วโมงการทำงานดังนี้

$$R_{air,i} = ER_{air,i} \times O_{ph}$$

เมื่อ

- $R_{air,i}$ = การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อปี)
 O_{ph} = ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมงต่อปี)

ตัวอย่าง 4.2.3(2)

ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายเป็นดังนี้

สารเคมีเป้าหมายคือ สาร Benzene

จำนวนของหน้าแปลนท่อลำเลียงของเหลวเบาที่มีจำนวน 2,000 ตัว

จำนวนของวาล์วสำหรับของเหลวเบาที่มีจำนวน 500 ตัว

Screening level ของสารระเหยที่หน้าแปลนมีค่า 92,000 ppmv

Screening level ของสารระเหยที่วาล์วมีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดของระดับที่ทำการตรวจวัดได้ของเหลวเบาที่มีสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) 8.8เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ของเหลวเบาที่มีสารประกอบระเหย (VOC) 8.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สารประกอบอินทรีย์ระเหยมี Benzene 1.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั่วโมงการทำงานของโรงงาน 6,000 ชั่วโมงต่อปี

ประเมินปริมาณการปลดปล่อย Benzene สู่อากาศ ดังนี้

หมายเหตุ : สำหรับการรั่วซึมที่หน้าแปลน สามารถประเมินได้จากผลการวัด Screening Level

วิธีการคำนวณ

เนื่องจากการตรวจวัด Screening Level ที่วารัลต่ำกว่าระดับที่วัดได้ จึงใช้ค่า Default zero emission rate

จากตารางที่ 4-4 สมการความสัมพันธ์สำหรับหน้าแปลน “leak = $4.61 \times 10^{-6} \times (SV)^{0.703}$ ”

$$(2,000 \times 4.61 \times 10^{-6}) \times (92,000 \text{ ppmv})^{0.703} = 28.4961 \text{ kg/hr}$$

และ default zero emission rate สำหรับวารัลคือ 7.8×10^{-6} กก./ชม./แหล่งกำเนิด

$$(500 \times 7.8 \times 10^{-6}) = 0.0039 \text{ kg/hr}$$

ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

$$[(2,000 \times 4.61 \times 10^{-6}) \times (92,000 \text{ ppmv})^{0.703} + (500 \times 7.8 \times 10^{-6})] \\ = 28.5 \text{ kg/hr}$$

ประเมินการปลดปล่อย Benzene ตามสัดส่วนองค์ประกอบในของเหลว ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ

$$28.5 \text{ kg/hr} \times (8.2 \text{ wt\%/}8.8 \text{ wt\%}) \times 1.2 \text{ wt\%} \div 100 = 0.318 \text{ kg/hr}$$

ดังนั้น ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene ตลอดทั้งปีมีค่าเท่ากับ

$$0.318 \text{ kg/hr} \times 6,000 \text{ hr/yr} = 1,910 \text{ kg/yr}$$

4.2.4 ถังเก็บสารเคมี

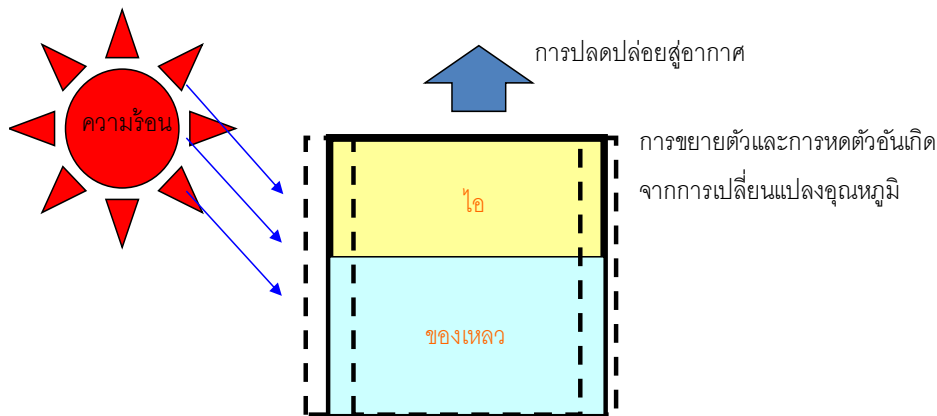
4.2.4.1 การปลดปล่อยมลพิษ

ถังเก็บของเหลวแบบหลังคาคงที่ (Fixed roof tank) หรือ ถังเก็บของเหลวแบบหลังคาปรับขึ้นลงได้ (Floating roof tank) ที่ใช้ในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

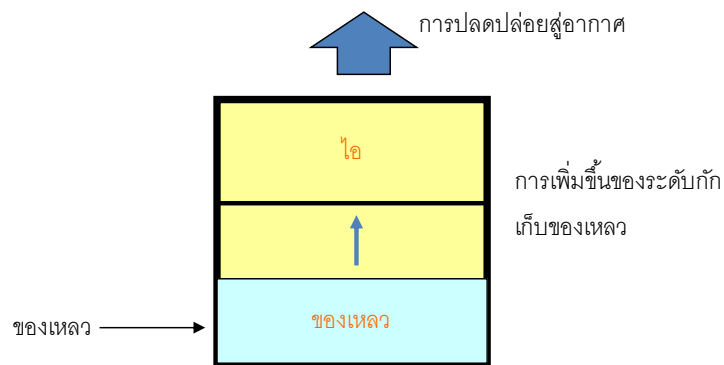
(1) ถังเก็บของเหลวแบบหลังคาคงที่

สำหรับถังเก็บของเหลวแบบหลังคาคงที่ซึ่งมีไอระเหยประกอบไปด้วยสารเคมีเป้าหมาย สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศที่เกิดจาก Breathing loss และ Filling loss

- Breathing loss คือ การระบายไอระเหยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันภายในถังจัดเก็บ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกลางวันกับกลางคืน จึงทำให้มีการหดและขยายตัวของก๊าซภายในถังจัดเก็บ



- Filling loss คือ การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ เนื่องจากของเหลวที่เติมเข้าสู่ถังเก็บไปผลักดันไอระเหยที่ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาการเติมของไหลเข้าสู่ถังเก็บออกสู่บรรยากาศ



(2) ถังเก็บของเหลวแบบหลังคาปรับขึ้นลงได้

สำหรับถังเก็บของเหลวแบบหลังคาปรับขึ้นลงได้ สารประกอบอินทรีย์ระเหยจะถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศเนื่องจาก Discharge loss

- Discharge loss; การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่บริเวณผนังด้านในถังจัดเก็บ ในช่วงเวลาที่มีการปล่อยของเหลวออกจากถัง

4.2.4.2 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

สำหรับถังจัดเก็บสารเคมีทั้งที่เป็นถังเก็บของเหลวแบบหลังคาคงที่และถังเก็บของเหลวแบบหลังคาปรับขึ้นลงได้ สามารถใช้ TANKS model ที่จัดทำขึ้นโดย USEPA การประเมินการปลดปล่อยมลพิษได้ โดยที่ TANKS model สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/> TANKS model ถูกออกแบบมาเพื่อประเมินการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศสำหรับของเหลวอินทรีย์ที่อยู่ในถังจัดเก็บสารเคมี โดยผู้ใช้งานสามารถใส่ข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของถังจัดเก็บสารเคมี (ขนาดถัง

โครงสร้าง สี เป็นต้น) องค์ประกอบของของเหลว (องค์ประกอบทางเคมี และอุณหภูมิของของเหลว) รวมถึงลักษณะสถานที่ตั้งถัง (ใกล้เมือง อุณหภูมิ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น) และสามารถจัดทำรายงานการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศได้

ตัวอย่าง 4.2.4(1)

ข้อมูลเกี่ยวกับถังจัดเก็บสารเคมีเป็นดังนี้

ชนิดของถัง		ถังเก็บของเหลวแบบหลังคาทรงกึ่งในแนวตั้ง
สถานที่ตั้งถัง		จ. ระยอง
ผลิตภัณฑ์ที่จัดเก็บ		Benzene
ปริมาณการใช้งานทั้งหมด		4,000 L/yr (=1,056.69 gal/yr)
ขนาดของถัง	Shell Height	12.5 ft
	Diameter	8.2 ft
	Liquid Height	10.8 ft
	Avg. Liquid Height	8.4 ft
	Tank Heated	No
ลักษณะของถัง	Shell Color/Shade	White/White
	Shell Condition	Good
	Roof Color/Shade	White/White
	Roof Condition	Good
ลักษณะของหลังคา	Type	Dome
	Height	0 ft
	Radius	19.7 ft
Breather Vent Settings	Vacuum Settings	0 psig
	Pressure Settings	0 psig

Ref: สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนหน่วยจาก US unit ไปเป็น SI unit

1 ft = 0.3048 m	1 gal = 3.7854 L
1 lbs = 0.456 kg	1 psig = 108.2197 kPa

คำนวณการปลดปล่อย Benzene สู่อากาศ โดยใช้ TANKS model

วิธีการคำนวณ

การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene สามารถคำนวณได้โดยใช้ TANKS model ดังนี้

1. ป้อนข้อมูลสถานที่ (ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา)

เนื่องจากข้อมูลจำเพาะของพื้นที่ระยองไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลของ US EPA ดังนั้นจึงต้องสร้างฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ระยองก่อน โดย

1.1 เลือก “Edit Database” บนแท็บ “Data”

1.2 เลือก “Add New”

1.3 ใส่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดระยอง อ้างอิงภาคผนวก ข แล้วบันทึกข้อมูล (save)

Month	Daily Maximum Ambient Temp. (F)	Daily Minimum Ambient Temp. (F)	Solar Insulation Factor (Btu / (ft²*day))	Average Wind Speed (mph)
JAN	89.2	71.9	1649.4853	3.1
FEB	90.1	76.9	1701.0399	4.6
MAR	91.0	78.7	1760.2672	4.7
APR	93.4	80.8	1803.3080	4.3
MAY	91.5	80.8	1570.3804	5.5
JUN	90.1	80.6	1463.8620	7.2
JUL	89.5	80.3	1237.1360	7.2
AUG	88.8	80.0	1052.9574	6.9
SEP	88.8	78.5	1343.2668	4.9
OCT	90.1	76.7	1468.5484	3.0
NOV	90.8	74.5	1570.3452	3.4
DEC	89.9	71.7	1641.6981	3.7
ANN	90.3	77.6	1521.8579	4.9

เมื่อมีข้อมูลของที่ระยองแล้ว ให้

1.4 เลือก “Rayong” บนแท็บ “Site Selection”

2. ป้อนข้อมูลคุณลักษณะของถัง

2.1 โดยเลือกแท็บ “Physical characteristics”

The screenshot shows the 'Physical Characteristics' tab of the 'Vertical Fixed Roof Tank' software. It contains several input fields and dropdown menus for defining tank dimensions and characteristics.

Dimensions:	Roof Characteristics:
Shell Height (ft): 12.5	Color/Shade: White/White (D)
Shell Diameter (ft): 8.2	Condition: Good (D)
Maximum Liquid Height (ft): 10.8	Type: Dome
Average Liquid Height (ft): 8.4	Height (ft): 0
Working Volume (gal): 4,266.527389	Radius (ft) (Dome Roof): 0
Turnovers per Year: 0.24767	
Net Throughput (gal/yr): 1,056.69	
Is Tank Heated?: No	

Shell Characteristics:

Shell Color/Shade: White/White (D)	Vacuum Setting (psig): 0
Shell Condition: Good (D)	Pressure Setting (psig): 0

Breather Vent Settings:

Vacuum Setting (psig): 0
Pressure Setting (psig): 0

Buttons: Copy, Run Report, Save, Close, Help

3. ป้อนข้อมูลคุณลักษณะของเชื้อเพลิง

3.1 เลือกสาร Benzene ใน Chemical Name ของแท็บ tank content

The screenshot shows the 'Tank Contents' tab of the 'Vertical Fixed Roof Tank' software. It is used for defining the chemical properties of the liquid in the tank.

Chemical Category of Liquid: Organic Liquids

Single or Multi-Component Liquid: Single

Chemical Name: Benzene

CAS Number: 00071-43-2

Average Liquid Surface Temperature (F):	85.655055
Minimum Liquid Surface Temperature (F):	81.558044
Maximum Liquid Surface Temperature (F):	89.752066
Bulk Liquid Temperature (F):	83.62
Vapor Pressure (psia) at Liquid Surface Temperature:	2.2847
Liquid Molecular Weight:	78.11
Vapor Molecular Weight:	78.11

Buttons: Calculate Mixture Properties, Delete Mixture, Next Mixture >, < Previous Mixture, Add Mixture

Mixture 1 of 1

Buttons: Copy, Run Report, Save, Close, Help

3.2 การประมวลผลข้อมูลที่กรอกในโปรแกรม ให้เลือกกด Run Report ที่ปรากฏแท็บในด้านล่างของหน้าจอแสดงผล

4. ผลของการ Run TANKS model

4.1 เมื่อทำตามวิธีดังกล่าวข้างต้น จอแสดงจะแสดงข้อมูลผลการประมวลดังภาพ

TANKS 4.0.9d			
Emissions Report - Summary Format			
Individual Tank Emission Totals			
Emissions Report for: Annual			
Chemical/Petrochemical - Vertical Fixed Roof Tank			
Components	Losses(lbs)		
	Working Loss	Breathing Loss	Total Emissions
Benzene	4.49	118.39	122.88

4.2 ปริมาณการระบายมลพิษสู่อากาศจะคำนวณในหน่วยปอนด์ (lbs) และยังสามารถคำนวณกลับไปเป็นหน่วยกิโลกรัมได้ด้วยการคูณด้วย 0.456 ดังนี้

Components	Losses (ปอนด์)		
	Working loss	Breathing loss	Total emissions
Benzene	4.49	118.39	122.88
Components	Losses (กิโลกรัม)		
	Working loss	Breathing loss	Total emissions
Benzene	2.05	53.99	56.03

ตัวอย่าง 4.2.4(2)

ข้อมูลเกี่ยวกับถังจัดเก็บสารเคมีเป็นดังนี้

ชนิดของถัง	ถังเก็บของเหลวแบบหลังคาคงที่ในแนวตั้ง	
สถานที่ตั้งถัง	จ. ระยอง	
ผลิตภัณฑ์ที่จัดเก็บ	Benzene 12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Toluene 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Xylene 56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
ปริมาณการใช้งานทั้งหมด	4,000 L/yr (=1,056.69 gal/yr)	
ขนาดของถัง	Shell Height	12.5 ft
	Diameter	8.2 ft
	Liquid Height	10.8 ft

ชนิดของถัง	ถังเก็บของเหลวแบบหลังคาคงที่ในแนวตั้ง	
สถานที่ตั้งถัง	จ. ระยอง	
ผลิตภัณฑ์ที่จัดเก็บ	Benzene 12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Toluene 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Xylene 56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
ปริมาณการใช้งานทั้งหมด	4,000 L/yr (=1,056.69 gal/yr)	
	Avg. Liquid Height	8.4 ft
	Tank Heated	No
ลักษณะของถัง	Shell Color/Shade	White/White
	Shell Condition	Good
	Roof Color/Shade	White/White
	Roof Condition	Good
ลักษณะของหลังคา	Type	Dome
	Height	0 ft
	Radius	19.7 ft
Breather Vent Settings	Vacuum Settings	0 psig
	Pressure Settings	0 psig

Ref: สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนหน่วยจาก US unit ไปเป็น SI unit

1 ft = 0.3048 m	1 gal = 3.7854 L
1 lbs = 0.456 kg	1 psig = 108.2197 kPa

คำนวณการปลดปล่อย Benzene Toluene Xylene สู่อากาศ โดยใช้ TANKS model

วิธีการคำนวณ

การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene Toluene Xylene สามารถคำนวณได้โดยใช้ TANKS model ดังนี้

1. ป้อนข้อมูลสถานที่ (ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัย)

เนื่องจากข้อมูลจำเพาะของพื้นที่ระยองไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลของ US EPA ดังนั้นจึงต้องสร้างฐานข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยของพื้นที่ระยองก่อน โดย

1.1 เลือก “Edit Database” บนแท็บ “Data”

1.2 เลือก “Add New”

1.3 ใส่ข้อมูลตุณิยมวิทยาของจังหวัดระยอง อ่างอิงภาคผนวก ช แล้วบันทึกข้อมูล (save)

Meteorological

City: Rayong, Rayong

City: Rayong State: Rayong

Daily Average Ambient Temperature (F): 83.6 Atmospheric Pressure (psia): 14.6

Month	Daily Maximum Ambient Temp. (F)	Daily Minimum Ambient Temp. (F)	Solar Insulation Factor (Btu / (ft ² *day))	Average Wind Speed (mph)
JAN	89.2	71.9	1649.4853	3.1
FEB	90.1	76.9	1701.0399	4.6
MAR	91.0	78.7	1760.2672	4.7
APR	93.4	80.8	1803.3080	4.3
MAY	91.5	80.8	1570.3804	5.5
JUN	90.1	80.6	1463.8620	7.2
JUL	89.5	80.3	1237.1360	7.2
AUG	88.8	80.0	1052.9574	6.9
SEP	88.8	78.5	1343.2668	4.9
OCT	90.1	76.7	1468.5484	3.0
NOV	90.8	74.5	1570.3452	3.4
DEC	89.9	71.7	1641.6981	3.7
ANN	90.3	77.6	1521.8579	4.9

Add New Delete Save Close Help

เมื่อมีข้อมูลของที่ระยองแล้ว ให้

1.4 เลือก “Rayong” บนแท็บ “Site Selection”

2. ป้อนข้อมูลคุณลักษณะของถัง

2.1 เลือกแท็บ “Physical characteristics”

Vertical Fixed Roof Tank

Identification Physical Characteristics Site Selection Tank Contents Monthly Calculations

Dimensions:

Shell Height (ft): 12.5

Shell Diameter (ft): 8.2

Maximum Liquid Height (ft): 10.8

Average Liquid Height (ft): 8.4

Working Volume (gal): 4,266.527389

Turnovers per Year: 0.24767

Net Throughput (gal/yr): 1,056.69

Is Tank Heated? No

Roof Characteristics:

Color/Shade: White/White (D)

Condition: Good (D)

Type: Dome

Height (ft): 0

Radius (ft) (Dome Roof): 0

Shell Characteristics:

Shell Color/Shade: White/White (D)

Shell Condition: Good (D)

Breather Vent Settings:

Vacuum Setting (psig): 0

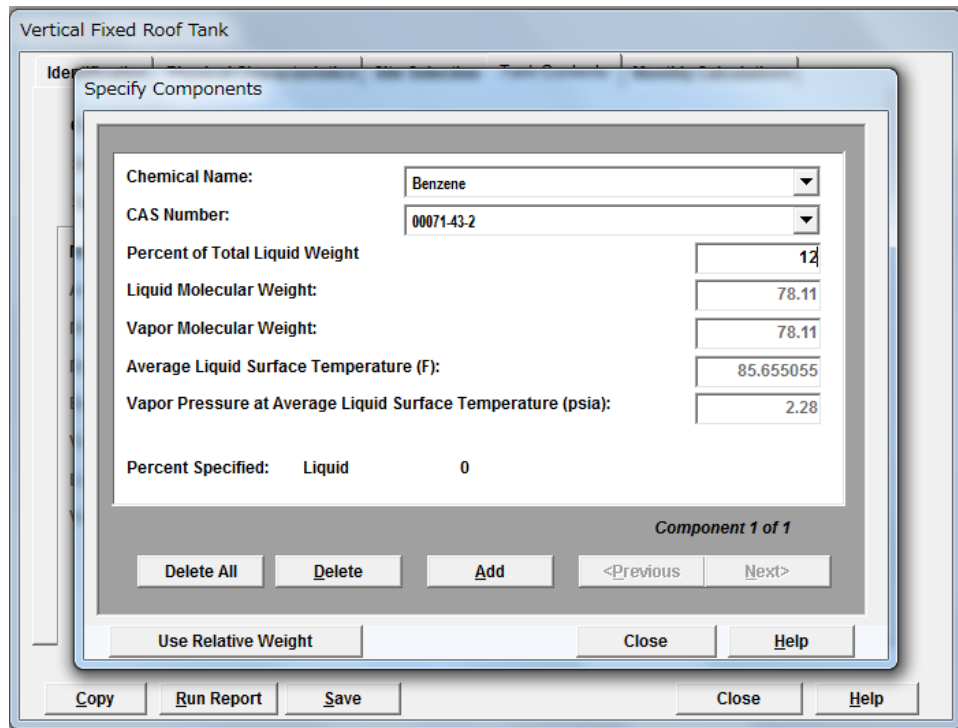
Pressure Setting (psig): 0

Copy Run Report Save Close Help

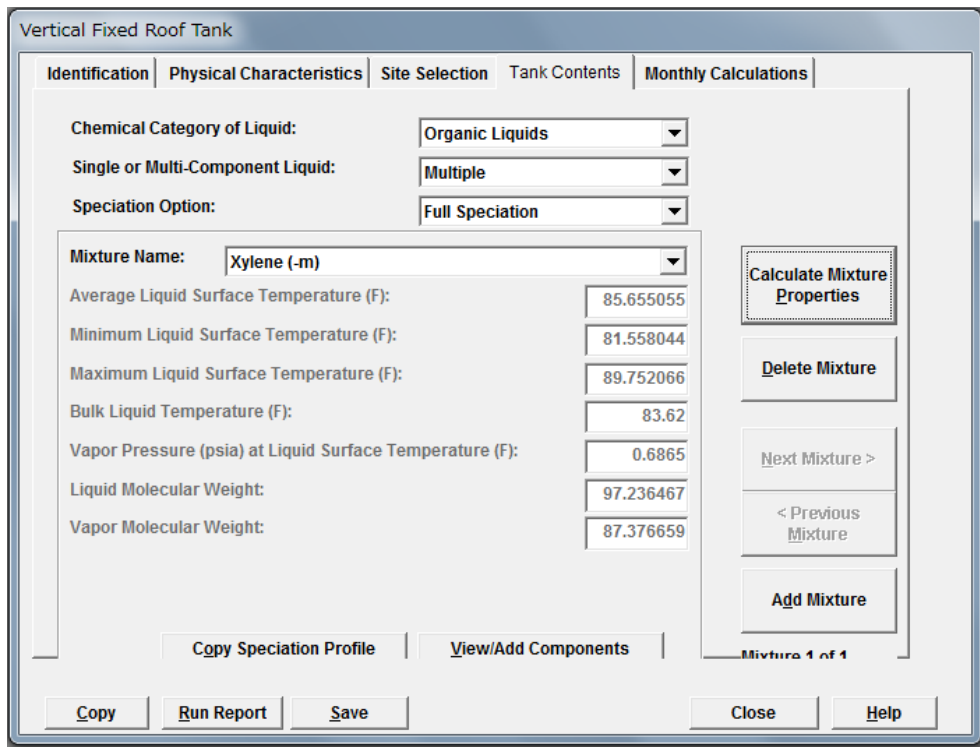
3. ป้อนข้อมูลคุณลักษณะของเชื้อเพลิง

3.1 เลือก Multiple และ Full speciation ในช่อง Option ของแท็บ tank content และ เลือก mixture1 ในแท็บ mixture name.

3.2 จากนั้นเลือกกดแท็บ View/Add Components บริเวณด้านล่างของหน้าแสดงผล ทำการเลือก Benzene เป็นส่วนผสมของสารผสม (mixture) และใส่ตัวเลข 12 ในช่อง Percent of Total Liquid Weight ตามข้อมูลเบื้องต้นของโจทย์คำถาม และ เลือก Add จากแท็บด้านล่าง จอแสดงผลต่อไป

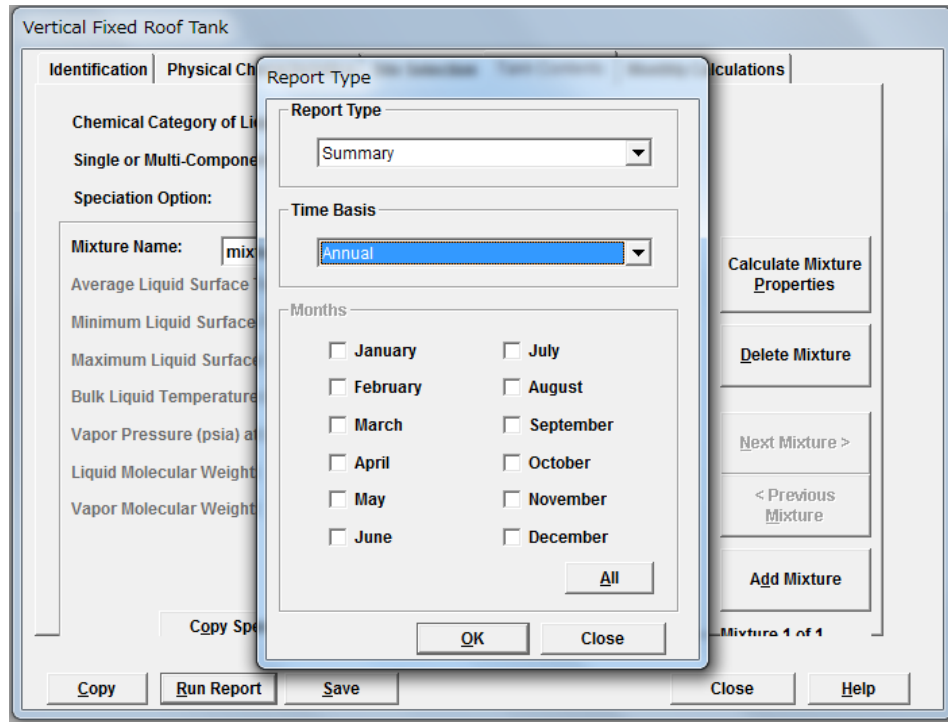


3.3 จากนั้นทำการใส่ข้อมูลของสารประกอบของสารผสมที่เหลือ คือ Toluene และ Xylene ตามข้อมูลที่มี เมื่อใส่ข้อมูลสารแล้ว เลือก Close และ Calculate Mixture Properties



4. ผลของการ Run TANKS model

4.1 เมื่อทำตามขั้นตอนเบื้องต้นเรียบร้อยแล้ว หน้าจอแสดงผลจะแสดงผลให้เห็นดังภาพด้านล่าง เลือกแท็บ Run Report และ เลือก Summary ใน Report Type และ Annual ใน Time Basis จากนั้นกดเลือกแท็บ OK.



TANKS 4.0.9d
Emissions Report - Summary Format
Individual Tank Emission Totals

Emissions Report for: Annual
mixture - Vertical Fixed Roof Tank

Components	Losses(lbs)		
	Working Loss	Breathing Loss	Total Emissions
Xylene (-m)	1.51	26.95	28.46
Benzene	0.67	11.98	12.65
Toluene	0.55	9.80	10.35
Xylenes (mixed isomers)	0.29	5.17	5.46

4.2 ปริมาณการระบายมลพิษสู่อากาศจะคำนวณในหน่วยปอนด์ (lbs) และยังสามารถคำนวณกลับไปเป็นหน่วยกิโลกรัมได้ด้วยการคูณด้วย 0.456 ดังนี้

	Losses (lbs)		
Components	Working loss	Breathing loss	Total emissions
Benzene	0.67	11.98	12.65
Toluene	0.55	9.80	10.35
Xylene	0.29	5.17	5.46
	Losses (kg)		
Components	Working loss	Breathing loss	Total emissions
Benzene	0.31	5.46	5.77
Toluene	0.25	4.47	4.72
Xylene	0.13	2.36	2.49

4.2.5 การบรรจุ/การขนถ่าย

4.2.5.1 การปลดปล่อยมลพิษ

สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่อยู่ในถังที่เป็นรถบรรทุก รถไฟ รถยนต์ หรือในเรือ ในระหว่างการบรรจุหรือขนถ่ายจะมีการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศด้วย

4.2.5.2 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

การระบายมลพิษจากการบรรจุสารเคมี สามารถทำการประเมินการปลดปล่อยมลพิษได้โดยใช้สมการนี้^[10]

$$R_{\text{air,voc}} = 0.12 \times \text{SPM}/T \times V_{\text{liq}}$$

เมื่อ

$R_{\text{air,voc}}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (กิโลกรัมต่อปี)

S = สัมประสิทธิ์การอิ่มตัว (saturation factor) อ้างอิงตารางที่ 4-5

P = ความดันไอที่เกิดขึ้นจริงของของไหลที่บรรจุ (kPa)

^[10] USEPA; Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Sources Fifth edition (AirChief CD-ROM, version 5.0) (1997)

$$M = \text{น้ำหนักโมเลกุลของไอระเหย (g/mol)}$$

$$T = \text{อุณหภูมิของของไหลที่บรรจุ (K) : } K=273+^{\circ}C$$

$$V_{liq} = \text{ปริมาตรของของไหลที่บรรจุต่อปี (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)}$$

ตารางที่ 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัว (Saturation Factor) สำหรับการคำนวณการสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุสารเคมี

การส่งสินค้า	รูปแบบการทำงาน	S Factor
รถไฟ รถบรรทุกถัง	Submerged loading of a clean cargo tank	0.50
รถแท็งก์/รถยนต์บรรทุกถัง (Tank cars)	Submerged loading: dedicated normal service	0.60
	Submerged loading: dedicated vapour balance service	1.00
	Splash loading of a clean cargo tank	1.45
	Splash loading: dedicated normal service	1.45
	Splash loading: dedicated vapour balance service	1.00
เรือสินค้าทางทะเล	Submerged loading: ships	0.2
	Submerged loading: barges	0.5

ที่มา: Environment Australia, Emission Estimation Technique Manual for Petroleum Refining (1999)

ตัวอย่าง 4.2.5(1)

ข้อมูลการบรรจุเป็นดังนี้

ประเภทการขนส่งสินค้าคือ เป็นรถแท็งก์

รูปแบบการทำงานคือ Submerged loading of a clean cargo tank (หัวถ่ายแบบจุ่ม; บรรจุลงในแท็งก์เปล่า สะอาด)

ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุคือสาร Benzene

ปริมาตรของสาร Benzene ที่บรรจุคือ 4,000 ลิตรต่อปี (4 ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

อุณหภูมิของสาร Benzene มีเท่ากับค่า $20^{\circ}C$

คำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene

วิธีการคำนวณ

ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม ดังนี้

$$R_{\text{air,benzene}} = 0.12 \times \text{SPM}/T \times V_{\text{liq}}$$

$$= 0.12 \times 0.50 \times 12.7 \times 78 / (20 + 273.15) \times 4 = 0.81 \text{ kg/yr}$$

เมื่อ

S = สัมประสิทธิ์การอึมตัว อ้างอิงตารางที่ 4-5 ; สำหรับการขนถ่ายด้วยรถแท็งก์แบบหัวจุ่มในถังเปล่าสะอาด s=0.5

P = ความดันไอของสาร Benzene มีเท่ากับค่า 12.7 kPa

M = น้ำหนักโมเลกุลของสาร Benzene มีเท่ากับค่า 78 g/mol

(คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารเคมีสามารถค้นหาได้จากฐานข้อมูลของ CHRIP (<http://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>))

นอกจากนี้ ถ้ามีการใช้อุปกรณ์ควบคุมเช่น vapour return unit การระดมมลพิษที่ถูกควบคุมสามารถทำการประเมินได้ดังนี้

$$\text{Controlled emission (kg/yr)} = \text{uncontrolled emission} \times (1 - \text{Efficiency}/100)$$

โดยที่ประสิทธิภาพของ vapour return unit มีค่าเท่ากับ 85 %^[11]

4.2.6 การบำบัดน้ำเสีย

4.2.6.1 การปลดปล่อยมลพิษ

สารประกอบอินทรีย์ระเหยหรือโลหะที่ถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหลังจากการบำบัดน้ำเสีย และนอกจากนี้แล้ว สารประกอบอินทรีย์ระเหยจะถูกปลดปล่อยสู่อากาศในระหว่างกระบวนการเติมอากาศ (Aeration Process)

4.2.6.2 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

(1) การตรวจวัดความเข้มข้นในน้ำเสียโดยตรง

จากระบบบำบัดน้ำเสีย สารประกอบอินทรีย์ระเหยและโลหะที่ถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ และปริมาณของการปลดปล่อยนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้การตรวจวัดความเข้มข้นในน้ำเสียโดยตรงดังนี้

^[11] Environment Agency, Japan; Hydrocarbon Emission Estimate Method Manual (1985)

$$R_{\text{water},i} = C_{\text{water},i} \times V_w \times 10^{-3}$$

เมื่อ

$R_{\text{water},i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยสารเคมีเป้าหมายลงสู่แหล่งน้ำ (กิโลกรัมต่อปี)

$C_{\text{water},i}$ = ความเข้มข้นของสารเคมีเป้าหมายในน้ำเสีย
(มิลลิกรัมต่อลิตร = กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

V_w = ปริมาณน้ำเสียต่อปี (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

10^{-3} = ค่าการแปลงหน่วย จากกรัมเป็นกิโลกรัม

ตัวอย่าง 4.2.6(1)

ข้อมูลน้ำเสียจากการตรวจวัดโดยตรงเป็นดังนี้

ความเข้มข้นของสาร Benzene ในน้ำเสียคือ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสาร Nickel ในน้ำเสียคือ 0.041 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณน้ำเสียต่อปีคือ 38,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำของสาร Benzene และ Nickel

วิธีการคำนวณ

ใช้ข้อมูลการตรวจวัดโดยตรง การปลดปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำของ Benzene มีค่าเท่ากับ

$$0.24 \text{ mg/L} \times 38,000 \text{ m}^3/\text{yr} \times 10^{-3} = 9.1 \text{ kg/yr}$$

ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำของ Nickel มีค่าเท่ากับ

$$0.041 \text{ mg/L} \times 38,000 \text{ m}^3/\text{yr} \times 10^{-3} = 1.6 \text{ kg/yr}$$

(2) การใช้หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม (โดยใช้ WATER9 Model)

สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ระบายออกมาจากน้ำเสียสามารถประเมินได้โดยใช้โปรแกรม “WATER 9” ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่

http://www.epa.gov/ttnchie1/software/water/water9_3/index.html รายละเอียดของ WATER9 Model สามารถอ้างอิงได้จากเอกสารที่จัดทำโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ฉ)

ตัวอย่าง 4.2.6(2)

ข้อมูลโดยสรุปของระบบบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

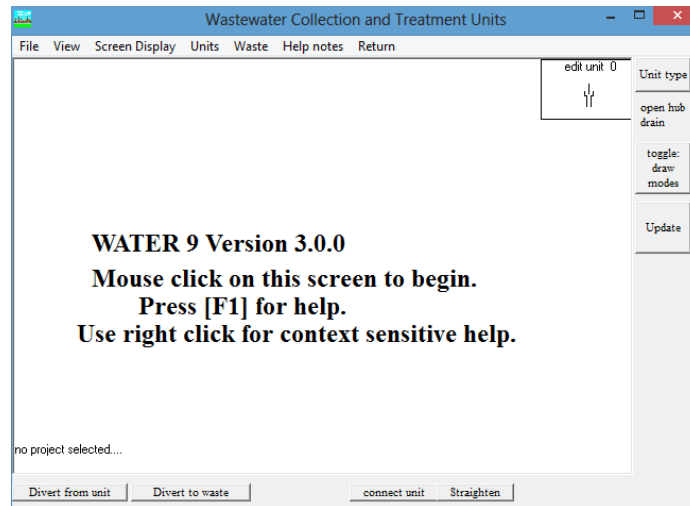
ลักษณะทางกายภาพของการบำบัดน้ำเสีย	การบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศ
ปริมาณของน้ำเสีย	38,000 m ³ /yr
ความเข้มข้นของสาร Benzene ในน้ำเสีย	0.24 mg/L
อัตราการไหล	2 L/s
Drop from pipe	
Area of opening at unit	40 cm ²
Radius of drop pipe	5 cm
Drop length to conduit	20 cm
ค่าจำเพาะของการบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศ (Aerated Biotreatment)	
อุณหภูมิของน้ำเสีย	25 °C
ความยาวของหน่วยเติมอากาศ	16 m
ความกว้างของหน่วยเติมอากาศ	8 m
ความลึกของหน่วยเติมอากาศ	5 m
พื้นที่ของตัวกวน (ของเครื่องเติมอากาศแต่ละเครื่อง)	8 m ²
จำนวนตัวกวนทั้งหมดของเครื่องเติมอากาศ	4
กำลังของตัวกวน (ของเครื่องเติมอากาศแต่ละเครื่อง)	50 Horse Power
เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด	100 cm
รอบการหมุนของใบพัด	200 rpm

วิธีการคำนวณ

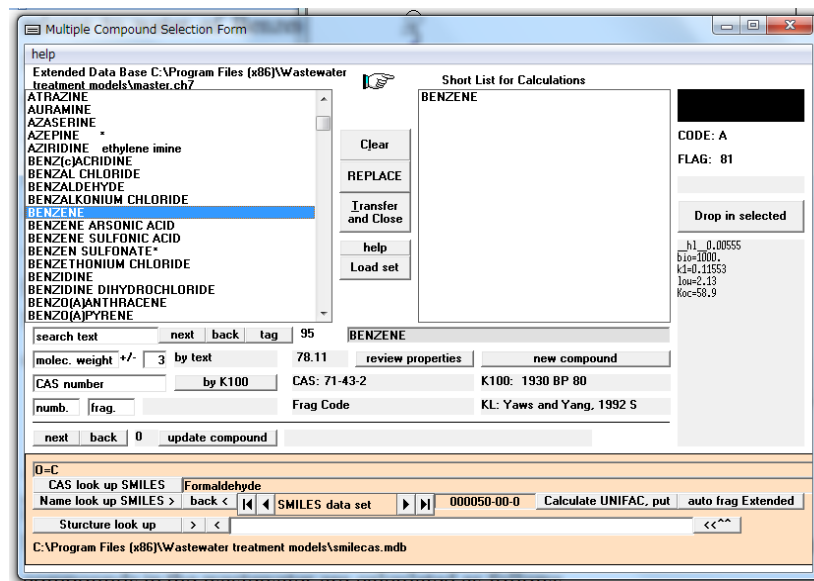
การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene สามารถคำนวณได้โดยใช้ WATER9 model ดังนี้

1. ป้อนชนิดของสารประกอบเข้าไปในบัญชีรายการ

1.1 สร้างข้อมูลใหม่ จาก แท็บคำสั่งด้านบนของโปรแกรม ไปที่คำสั่ง File จากนั้นจึงเลือก New Project

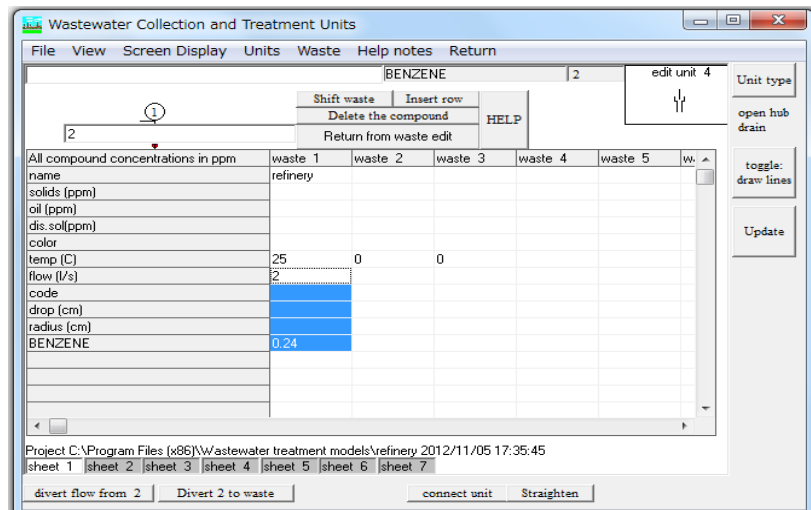


1.2 ทำการป้อนข้อมูลสารเคมีเข้าไปในคำสั่งการคำนวณ โดยไปที่คำสั่ง Waste จากนั้นเลือก Add compound to list ทำการเลือกสารเคมีในระบบที่ต้องการคำนวณ ซึ่งในตัวอย่างนี้คือ Benzene จากนั้นเลือก Transfer and close



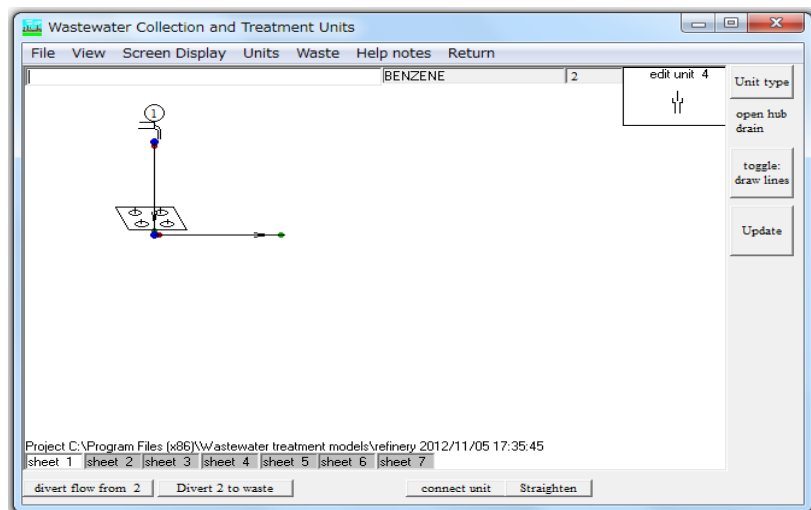
2. แก้ไขชุดข้อมูลคุณลักษณะของน้ำเสีย

2.1 ทำการแก้ไขชุดข้อมูลของน้ำเสีย โดยคำสั่ง Waste เลือก Edit waste set จากนั้นใส่ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำเสีย ซึ่งในตัวอย่างนี้ ทำการใส่ ชื่อกระบวนการ อุณหภูมิ อัตราการไหล ความเข้มข้นของสารที่ต้องการคำนวณ จากนั้นเลือก Return from waste edit



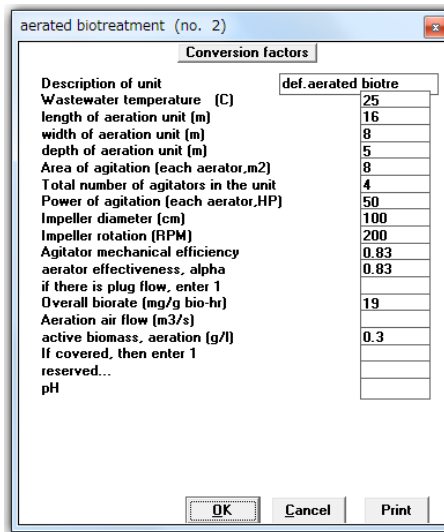
3. วาดระบบบำบัดน้ำเสีย

3.1 ทำการวาดระบบบำบัดน้ำเสียหรือโมเดลบำบัดน้ำเสียโดยเลือกคำสั่ง Units จากนั้นเลือก Edit unit default จะมีแท็บขึ้นด้านขวามือเพื่อให้เลือกระบบที่ใช้ ซึ่งตัวอย่างนี้ให้เลือก Waste drop from pipe จากนั้นทำการวาดระบบดังกล่าว บนจอแสดงผลและทำการเลือกระบบที่ใช้ในการบำบัด ตัวอย่างนี้ใช้ Aeration biotreatment ทำการวาดระบบดังกล่าวต่อจากภาพเดิม

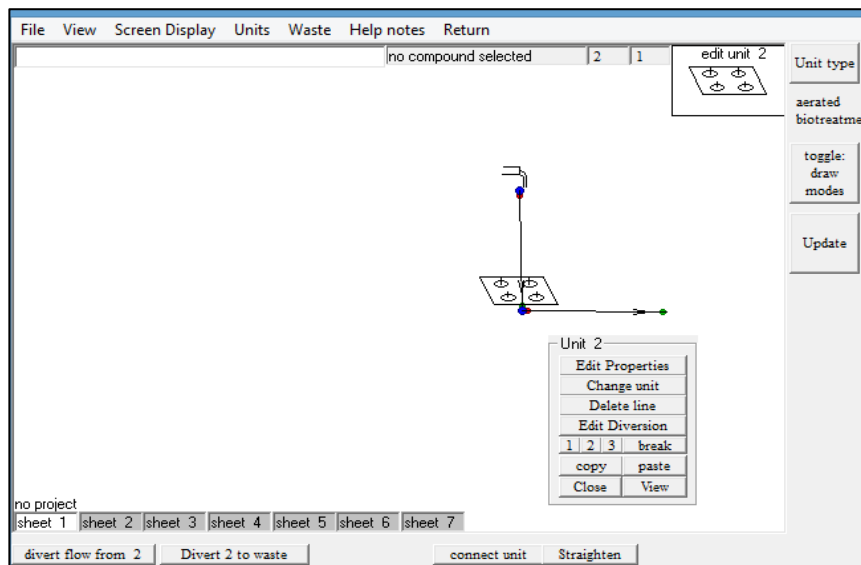


4. ใส่ข้อมูลคุณลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.1 ทำการเปลี่ยนคุณลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียโดย กดแท็บโมเดลบนภาพหน้าจอที่ทำการวาดระบบต่อเนื่องไว้จากขั้นตอนที่ 3.1 ซึ่งจะขึ้นแท็บให้เลือกของระบบที่ 2 โดยทำการเลือก Edit properties จากนั้นแท็บคำสั่งดังกล่าวด้านล่างจะแสดงผล ทำการใส่ข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนและกดเลือกแท็บ OK



4.2 ทำการเลือกระบบแหล่งน้ำเสีย โดยเลือก Edit Diversion ที่เลข 1 จากนั้นเลือกจำนวนของน้ำเสียที่ผ่านระบบ ซึ่งในตัวอย่างนี้ คือ Waste 1



5. ผลของการ Run WATER 9 Model

5.1 ทำการประมวลผลโดยเริ่ม เลือกแท็บ Update จากแท็บที่อยู่ด้านขวาของจอแสดงผล ต่อจากนั้นการเลือกคำสั่ง View จากแท็บคำสั่งด้านบนของจอแสดงผล เลือก Overall Summary

COMPOUND	RATE (g/s)	Air	Fraction	Removal	Exit	Adsorb	error	emissions
BENZENE	4.61E-04	.96	.0381		.001	0.0000	0.0000	(1.45E-02 Mg/yr)
TOTAL ALL COMPOUNDS	4.61E-04	g/s air emissions						
TOTAL ALL COMPOUNDS	1.46E-02	Mg/yr air emissions						

5.2 ตัวอย่างในข้อนี้ผลของการใช้ WATER 9 model ค่าการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene คือ 14.5 กิโลกรัมต่อปี

ตัวอย่าง 4.2.6(3)

ข้อมูลโดยสรุปของระบบบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

ลักษณะทางกายภาพของการบำบัดน้ำเสีย	การบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศ
ปริมาตรของน้ำเสีย	38,000 m ³ /yr
ความเข้มข้นของสาร Benzene ในน้ำเสีย	0.24 mg/L
ความเข้มข้นของสาร Toluene ในน้ำเสีย	0.78 mg/L
ความเข้มข้นของสาร Xylene ในน้ำเสีย	1.92 mg/L
อัตราการไหล	3 L/s
Drop from pipe	
Area of opening at unit	40 cm ²
Radius of drop pipe	5 cm
Drop length to conduit	20 cm
ค่าจำเพาะของการบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศ (Aerated Biotreatment)	
อุณหภูมิของน้ำเสีย	25 °C
ความยาวของหน่วยเติมอากาศ	16 m
ความกว้างของหน่วยเติมอากาศ	8 m
ความลึกของหน่วยเติมอากาศ	5 m
พื้นที่ของตัวกวน (ของเครื่องเติมอากาศแต่ละเครื่อง)	8 m ²

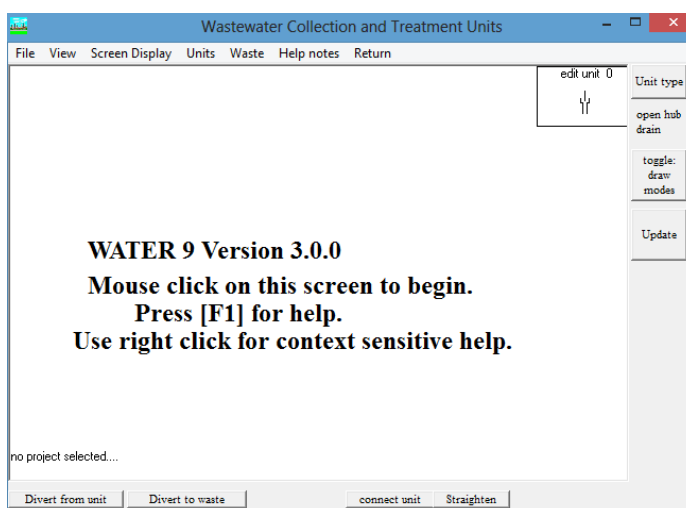
ลักษณะทางกายภาพของการบำบัดน้ำเสีย	การบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศ
จำนวนตัวกวนทั้งหมดของเครื่องเติมอากาศ	4
กำลังของตัวกวน (ของเครื่องเติมอากาศแต่ละเครื่อง)	50 Horse Power
เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด	100 cm
รอบการหมุนของใบพัด	200 rpm
ค่าจำเพาะของCircular Clarifier	
อุณหภูมิของน้ำเสีย	25 ^o C
ความกว้าง Secondary clarifier	10 m
ความลึก Secondary clarifier	5 m
ประสิทธิภาพของ Clarifier solids removal	0.85

วิธีการคำนวณ

การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene สามารถคำนวณได้โดยใช้ WATER9 model ดังนี้

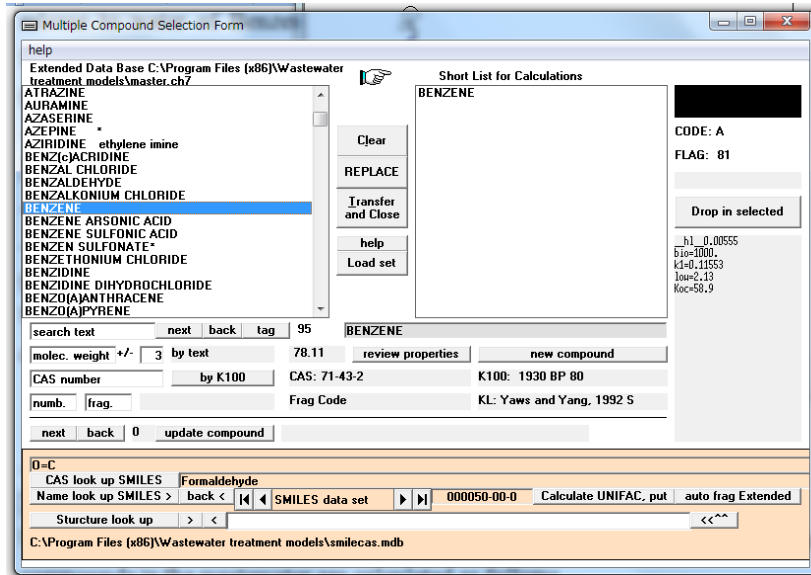
1. ป้อนชนิดของสารประกอบเข้าไปในบัญชีรายการ

1.1 สร้างข้อมูลใหม่ จาก แท็บคำสั่งด้านบนของโปรแกรม ไปที่คำสั่ง File จากนั้นจึงเลือก New Project



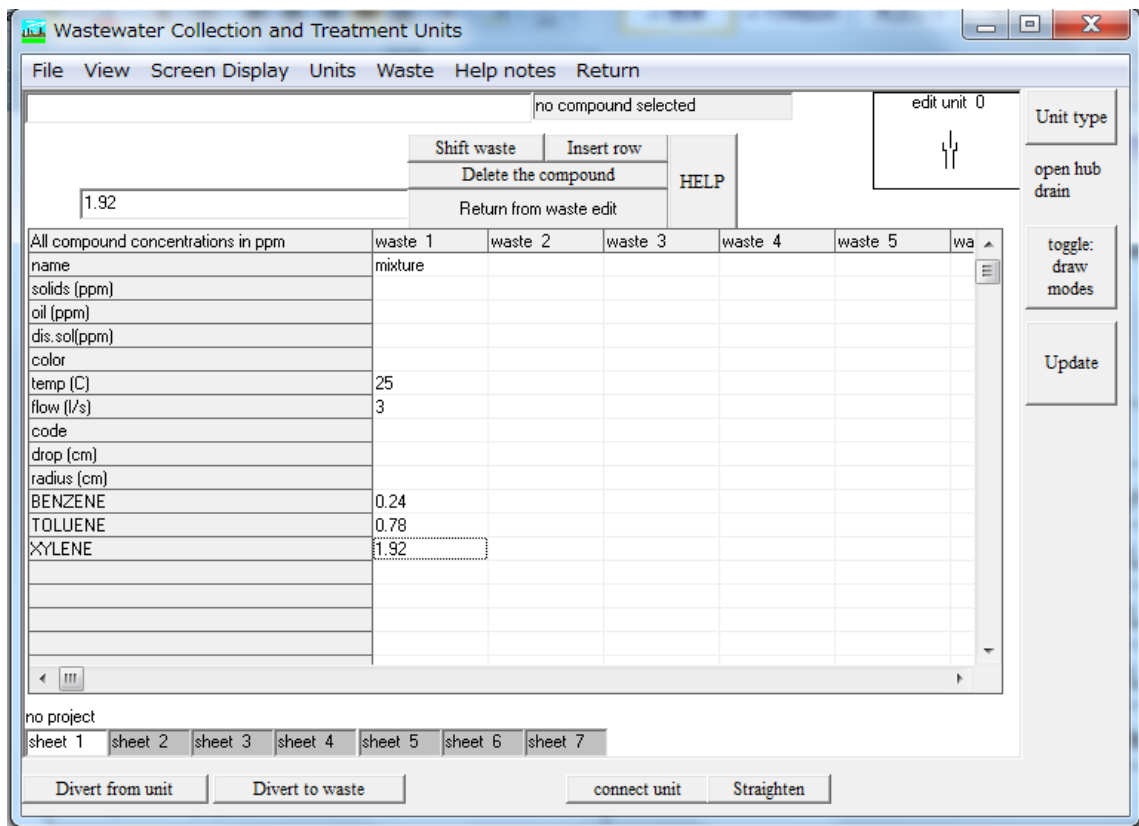
1.2 ทำการป้อนข้อมูลสารเคมีเข้าไปในคำสั่งการคำนวณ โดยไปที่คำสั่ง Waste จากนั้นจึงเลือก

Add compound to list ทำการเลือกสารเคมีในระบบที่ต้องการคำนวณ ซึ่งในตัวอย่างนี้คือ Benzene, Toluene, Xylene จากนั้นเลือก Transfer and close



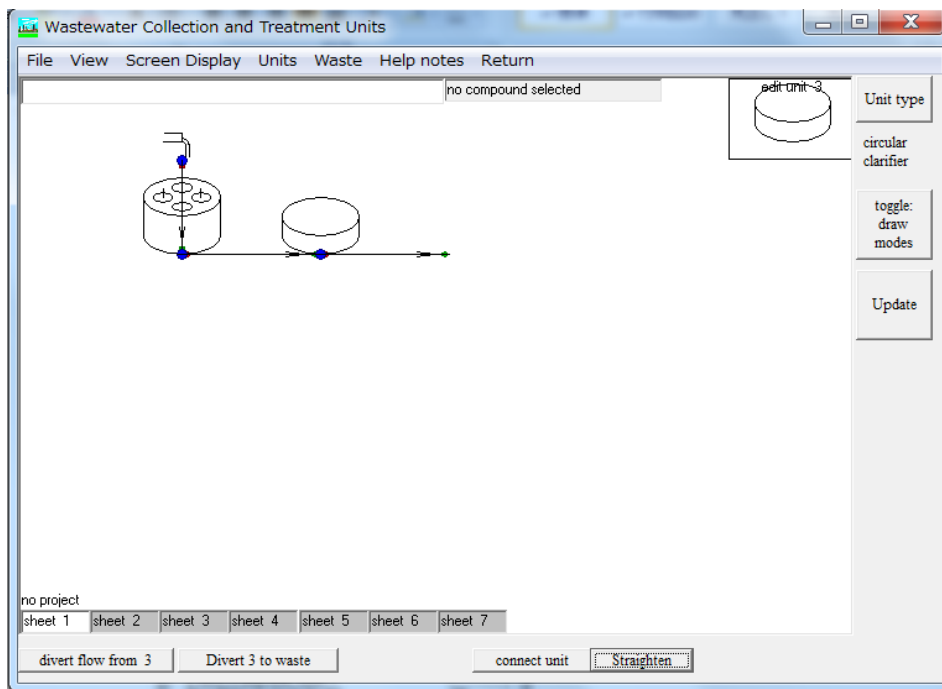
2. แก้ไขชุดข้อมูลคุณลักษณะของน้ำเสีย

2.1 ทำการแก้ไขชุดข้อมูลของน้ำเสีย โดยคำสั่ง Waste เลือก Edit waste set จากนั้นใส่ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำเสีย ซึ่งในตัวอย่างนี้ ให้ใส่ ชื่อกระบวนการ อุณหภูมิ อัตราการไหล ความเข้มข้นของสารที่ต้องการคำนวณ จากนั้นเลือก Return from waste edit



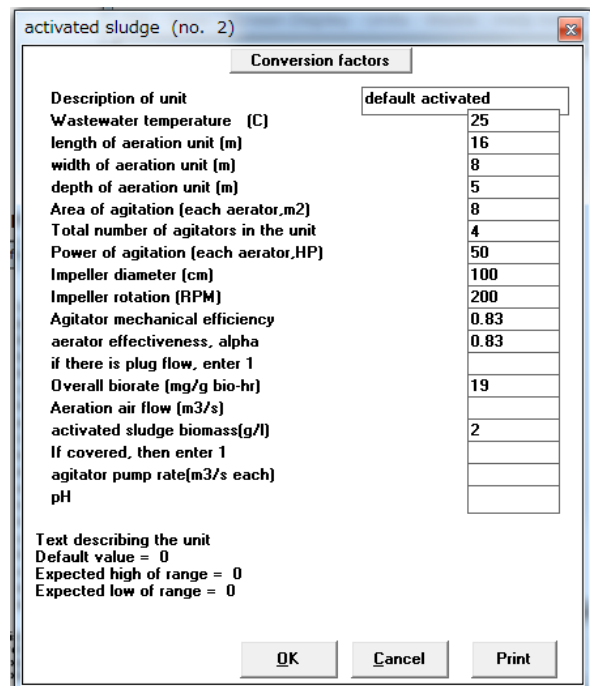
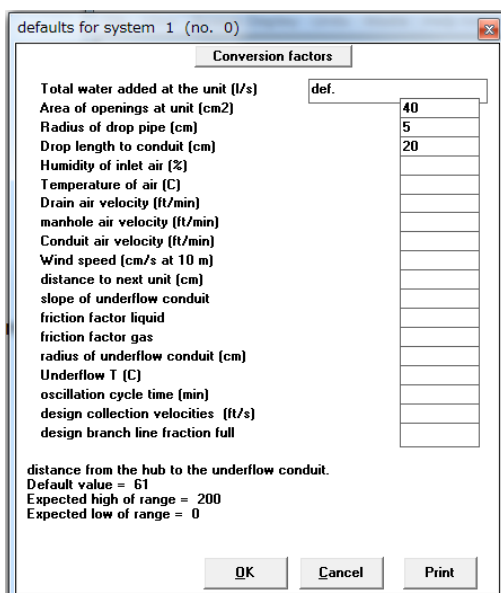
3. วาดระบบบำบัดน้ำเสีย

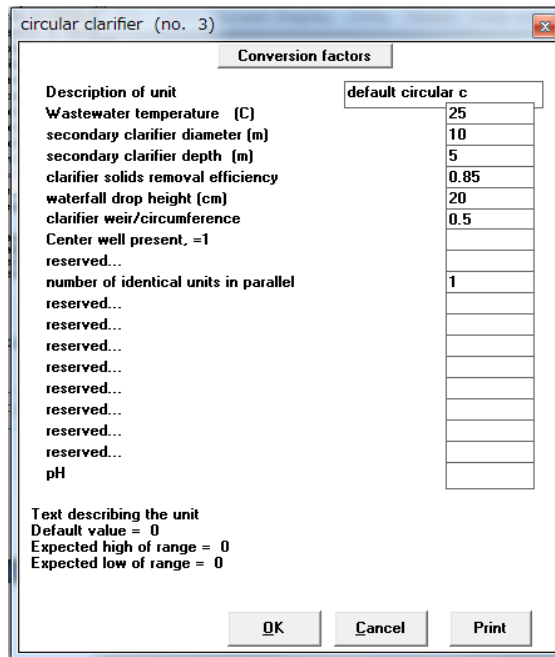
3.1 ทำการวาดระบบบำบัดน้ำเสียหรือโมเดลบำบัดน้ำเสียโดยเลือกคำสั่ง Units จากนั้นเลือก Edit unit default จะมีแท็บขึ้นด้านขวามือเพื่อให้เลือกระบบที่ใช้ ซึ่งตัวอย่างนี้ให้เลือก Waste drop from pipe จากนั้นทำการวาดระบบดังกล่าว บนจอแสดงผลและทำการเลือกระบบที่ใช้ในการบำบัด ตัวอย่างนี้ใช้ activated sludge และ circular clarifier ทำการวาดระบบดังกล่าวต่อจากภาพเดิม



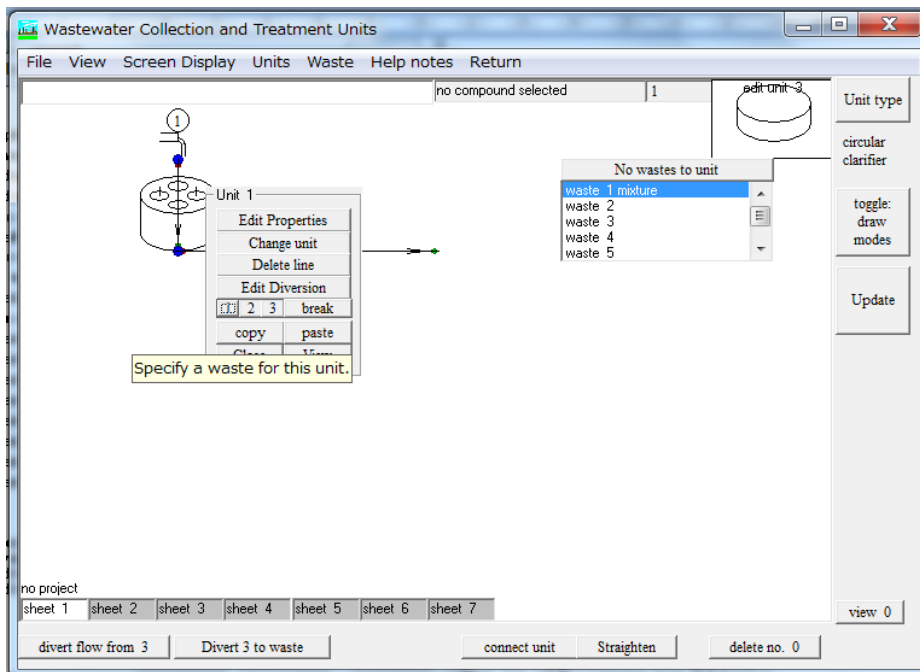
4. ใส่ข้อมูลคุณลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.1 ทำการเปลี่ยนคุณลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยกดแท็บสีน้ำเงินบนภาพหน้าจอที่ทำการวาดระบบต่อเนื่องไว้จากขั้นตอนที่ 3.1 ซึ่งจะขึ้นแท็บให้เลือกของระบบที่ 2 โดยเลือก Edit properties จากนั้นแท็บคำสั่งดังกล่าวด้านล่างจะแสดงผล ให้ใส่ข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนทั้งของ activated sludge และ circular clarifier กดเลือกแท็บ OK





4.2 ทำการเลือกระบบแหล่งน้ำเสีย โดยเลือก Edit Divertion ของ waste drop pipe ที่เลข 1 จากนั้นเลือกจำนวนของน้ำเสียที่ผ่านระบบ ซึ่งในตัวอย่างนี้ คือ Waste 1Mixture



5. ผลของการ Run WATER 9 Model

5.1 ทำการประมวลผลโดยเริ่ม เลือกแท็บ Update จากแท็บที่อยู่ด้านขวาของจอแสดงผล

ต่อจากนั้นการเลือกคำสั่ง View จากแท็บคำสั่งด้านบนของจอแสดงผล เลือก Overall Summary

no project COMPOUND	RATE (g/s)	Fraction			error	emissions
		Air	Removal	Exit		
BENZENE	5.90E-04	.81	.18	.001	0.0000	(1.86E-02 Mg/yr)
TOLUENE	1.79E-03	.76	.2347	.0008	0.0000	(5.64E-02 Mg/yr)
XYLENE	1.54E-03	.26	.729	.0032	0.0000	(4.87E-02 Mg/yr)
TOTAL ALL COMPOUNDS	3.92E-03	g/s air emissions				
TOTAL ALL COMPOUNDS	1.24E-01	Mg/yr air emissions				

5.2 ตัวอย่างในข้อนี้ ผลของการใช้ WATER 9 model ค่าการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene, Toluene, Xylene คือ 18.6 กิโลกรัมต่อปี, 56.4 กิโลกรัมต่อปี, 48.7 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ

4.2.7 การรั่วไหลของสารเคมี

4.2.7.1 ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษ

การหกรั่วไหลของสารเคมีลงพื้นดิน การแพร่กระจายจากการกักเก็บในบ่อดินหรือใต้ดิน

4.2.7.2 การประเมินการปลดปล่อยมลพิษ

การหกรั่วไหลของสารเคมีก่อให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ การปลดปล่อยมลพิษสู่แหล่งน้ำและดิน ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ระเหยบางส่วนเกิดการระเหยออกไปและส่วนที่เหลือถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำหรือถูกปลดปล่อยไปสู่ดิน

(1) การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ

หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม^[12] ถูกนำมาใช้ประเมินการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศโดยการระเหย โดยการประเมินการปลดปล่อยมลพิษคือ

$$R_{air,i} = ER_i \times t$$

$$ER_i = \frac{0.456 \times 1.2 \times 10^{-10} \times u^{0.78} \times MW_i^{2/3} \times (10.76 \times A) \times (7.50026 \times VP_i)}{(82.05 \times T)}$$

^[12] USEPA, Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis (2009): <http://www.epa.gov/osweroe1/docs/chem/oca-chps.pdf>

เมื่อ

- $R_{air,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสารเคมีเป้าหมายที่รั่วไหล (กิโลกรัม)
- t = ช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดการเก็บกู้สารตั้งแต่รั่วไหลจนถึงการจับเก็บเสร็จสิ้น (นาที)
- ER_i = อัตราการระเหยของสารเคมีเป้าหมาย (กิโลกรัมต่อวินาที)
- u = ความเร็วลมเหนือพื้นผิวของสารที่รั่วไหล (เมตรต่อวินาที)
- MW_i = น้ำหนักโมเลกุลของสารเคมีเป้าหมาย (g/mol)
- A = พื้นที่ของการรั่วไหลของสาร (ตารางเมตร)
- VP_i = ความดันไอของสารเคมีเป้าหมาย (kPa)
- T = อุณหภูมิ (K)

(2) การปลดปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำและดิน

ใช้หลักเกณฑ์สมดุลมวลเพื่อการประเมินการปลดปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำและดิน ซึ่งสำหรับ ส่วนที่เหลือ ถ้าการรั่วไหลถูกตัดพาไป จะถือว่าการระบายมลพิษจะถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ และในทางกลับกัน ถ้ายังคงมีการรั่วไหลอยู่และเกิดการแพร่กระจายต่อไป การระบายมลพิษจะถูกปลดปล่อยลงสู่ดิน

$$R_{water,i} \text{ or } R_{land,i} = Q_{spill} - R_{air,i}$$

เมื่อ

- $R_{water,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษลงสู่แหล่งน้ำ (กิโลกรัม)
- $R_{land,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่ดิน (กิโลกรัม)
- Q_{spill} = ปริมาณสารเคมีเป้าหมายที่รั่วไหล (กิโลกรัม)

ตัวอย่าง 4.2.7(1)

เกิดการรั่วไหลของสาร Benzene แล้วถูกพัดพาไปลงสู่แหล่งน้ำ โดยสถานการณ์ที่กำหนดให้เป็น
ดังนี้

- ปริมาณสาร Benzene ที่รั่วไหลมีเท่ากับค่า 50 กิโลกรัม
- ช่วงเวลาที่สารรั่วไหลอยู่ในสถานะของเหลว และเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดคือ 30 นาที
- ความเร็วลมเหนือพื้นผิวของสารที่รั่วไหลมีเท่ากับค่า 3.1 เมตรต่อวินาที
- การรั่วไหลของสารเป็นพื้นที่ 0.24 ตารางเมตร

อุณหภูมิมีเท่ากับค่า 25 °C หรือ 298 K

คำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศและแหล่งน้ำของสาร Benzene

วิธีการคำนวณ

ใช้การคำนวณวิศวกรรม โดยอัตราการระเหยของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ

$$\frac{0.456 \times 1.2 \times 10^{-10} \times 3.1 \text{ m/s}^{0.78} \times 78^{2/3} \times (10.76 \times 0.24 \text{ m}^2) \times (7.50026 \times 12.7 \text{ kPa})}{(82.05 \times 298 \text{ K})}$$

$$= 0.0575 \text{ kg/min}$$

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ

$$0.0575 \text{ kg/min} \times 30 \text{ min} = 1.7 \text{ kg}$$

ใช้การสมมูลมวล ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่แหล่งน้ำของสาร Benzene มีค่าเท่ากับ

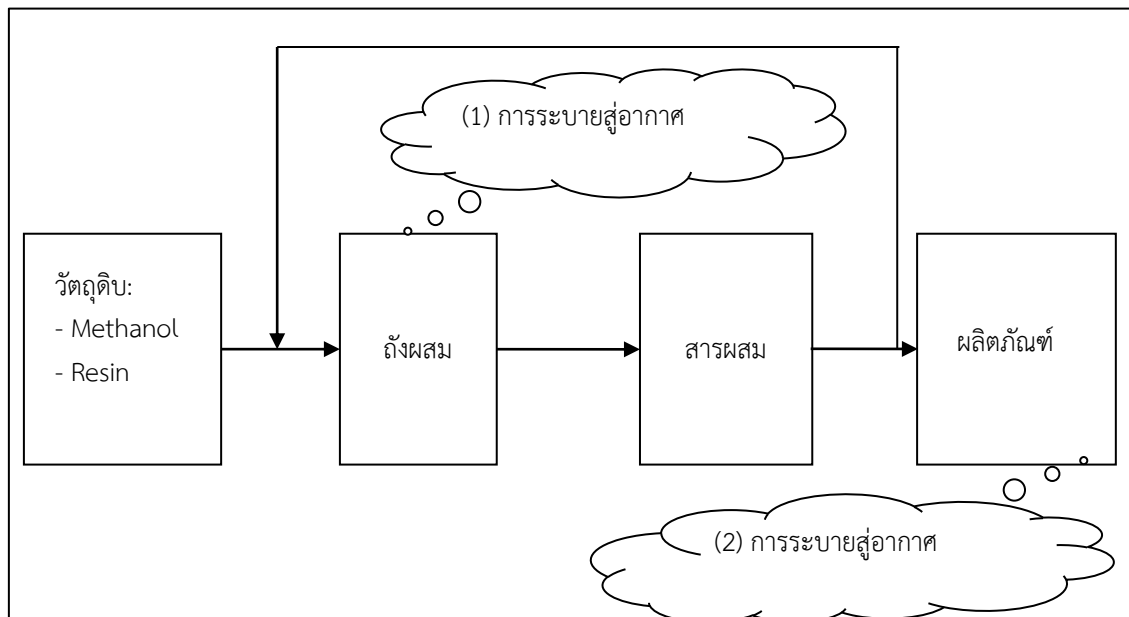
$$50 \text{ kg} - 1.7 \text{ kg} = 48.3 \text{ kg}$$

4.2.8 กรณีศึกษา-อุตสาหกรรมเคมี/ปิโตรเคมี

กรณีที่ 1

โรงงานผลิตสารเคมีมีหน่วยการผลิตที่มีการใช้สารเคมีเป้าหมายในโครงการ PRTR ดังนี้

a) กระบวนการผสม (batch type)



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนกระบวนการผสม

ตารางที่ 1 สภาวะของกระบวนการผสม

ปริมาณของวัตถุดิบ	Methanol (เมทานอล) : 140,000 กก./ปี Resin (เรซิน) : 65,000 กก./ปี
อุณหภูมิของถังปฏิกิริยา	30 องศาเซลเซียส

* Resin (เรซิน) ไม่มีสารเป้าหมายเป็นส่วนประกอบ

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อย Methanol

วิธีการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Methanol

จากตารางแสดง คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ของ-Methanol ที่ใช้ในการคาดประมาณการ

สารประกอบ	น้ำหนักโมเลกุล MW_{Met}	ความหนาแน่น d_{Met}	ความดันไอที่ 30 °C P_{Met}
Methanol	32	0.7915 g/cm ³ [13] = kg/L	163.75 mmHg ^[14]

เมื่อ Methanol เข้าสู่ถังปฏิกิริยา ไออิมตัวของ Methanol จะถูกปล่อยออกมา การระบายนี้คำนวณโดยใช้สมการทางวิศวกรรมต่อไปนี้

$$R_{a, Met} = \frac{A_{Met}}{d_{Met}} \times \frac{P_{Met}}{760} \times \frac{273}{(273 + T)} \times \frac{MW_{Met}}{(22.4 \times 1000)}$$

เมื่อ

- $R_{a, Met}$ = ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Methanol (กก./ปี)
- A_{Met} = ปริมาณของ Methanol charged ที่เข้าไปในถังปฏิกิริยา (ปี/.กก)
- d_{Met} = ค่าความหนาแน่นของ Methanol
- P_{Met} = ความดันไออิมตัวของ Methanol ที่ charging (mmHg)
- T = อุณหภูมิที่ถังปฏิกิริยา
- MW_{Met} = น้ำหนักโมเลกุลของ Methanol

ดังนั้น ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Methanol สามารถคำนวณได้ดังนี้

[13] <http://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>

[14] <http://ddbonline.ddbst.de/AntoineCalculation/AntoineCalculationCGI.exe?component=Methanol>

$$R_{a, \text{Met}} = \frac{A_{\text{Met}}}{d_{\text{Met}}} \times \frac{P_{\text{Met}}}{760} \times \frac{273}{(273 + T)} \times \frac{Mw_{\text{Met}}}{(22.4 \times 1000)}$$

$$R_{a, \text{Met}} = \frac{140,000}{0.7915} \times \frac{163.75}{760} \times \frac{273}{(273+30)} \times \frac{32}{(22.4 \times 1000)}$$

$$= 49.1 \text{ kg/yr}$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Methanol จากกระบวนการเติม

ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Methanol ระหว่างกระบวนการผลิต 49.1 กก./ปี ปริมาณของ Methanol ในผลิตภัณฑ์จะเท่ากับปริมาณของวัตถุดิบลบกับปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศ; เช่น 140,000 กก./ปี - 49.1 กก./ปี = 139,950.9 กก./ปี

อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาณของ Methanol บางส่วนที่เติมก่อนเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกไปนั้น จะถือว่าปริมาณของ Methanol ที่เติมเข้าไปปลดปล่อยสู่อากาศ

$$R_{a, \text{Met}} = A_{\text{Met, made-up}}$$

เมื่อ

$R_{a, \text{Met}}$ = ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Methanol (กก./ปี)

$A_{\text{Met, made-up}}$ = ปริมาณของ Methanol ที่เติมเข้าไป (กก./ปี)

ดังนั้น ถ้า Methanol ถูกเติมเข้าไป 24.3 กก. ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Methanol สามารถคำนวณได้ดังนี้

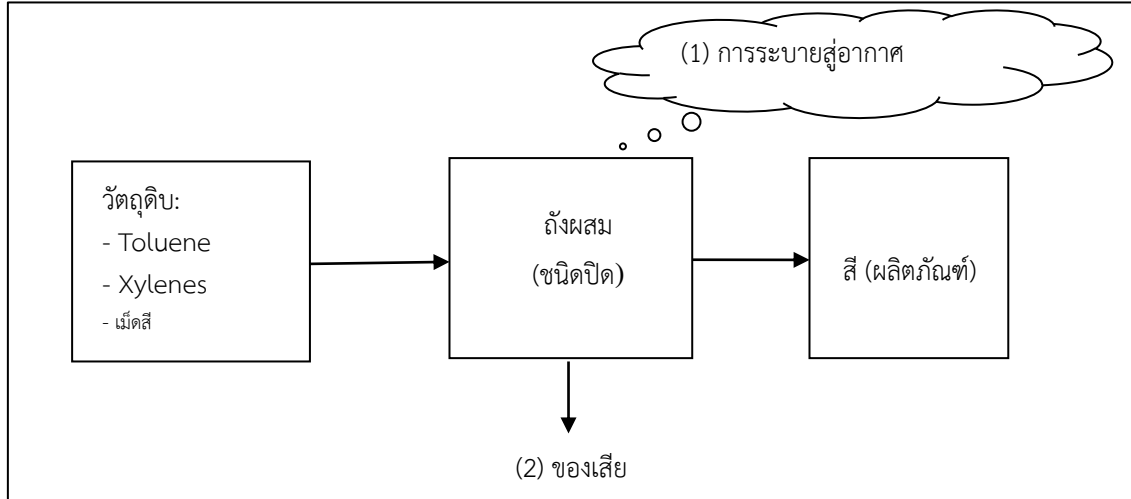
$$R_{a, \text{Met}} = A_{\text{Met, made-up}}$$

$$= 24.3 \text{ kg/yr}$$

กรณีที่ 2

อุตสาหกรรมผลิตสีมีหน่วยการผลิตซึ่งมีการใช้สารเคมีเป้าหมายในโครงการ PRTR ดังนี้

b) การผลิตสี



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตสี 2

ตารางที่ 2 สภาวะของกระบวนการผลิตสี

ปริมาณของวัตถุดิบ	Toluene: 5200 ตัน/ปี Xylenes: 2400 ตัน/ปี เม็ดสี*: 180 ตัน/ปี
ปริมาณของเสีย (ทั้งหมด)	7.3 ตัน/ปี

* เม็ดสีไม่มีสารเคมีเป้าหมายเป็นส่วนประกอบ

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยของสาร Toluene และ Xylenes

วิธีการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณการปลดปล่อยสู่อากาศของสาร Toluene และ Xylenes

ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษที่ใช้พัฒนาโดยสมาคมผู้ผลิตสีญี่ปุ่น การปลดปล่อยสู่อากาศของ Toluene และ Xylenes สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R_{a,Tol} = A_{Tol} \times \frac{EF_{Tol}}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 5,200 \times \frac{0.8}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 41,600 \text{ kg/yr}$$

$$R_{a,Xyl} = A_{Xyl} \times \frac{EF_{Xyl}}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 2,400 \times \frac{0.5}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 12,000 \text{ kg/yr}$$

เมื่อ

$R_{a,Tol}$ = ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Toluene (กก./ปี)

A_{Tol} = ปริมาณการใช้ Toluene (ตัน/ปี)

EF_{Tol} = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของ Toluene สำหรับถังผสมแบบปิด (%)
(ตารางอ้างอิงที่ 2)

$R_{a,Xyl}$ = ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของ Xylene (กก./ปี)

A_{Xyl} = ปริมาณการใช้ Xylene (ตัน/ปี)

EF_{Xyl} = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษของ Xylene สำหรับถังผสมแบบปิด (%)
(ตารางอ้างอิงที่ 2)

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสำหรับกระบวนการผลิตสี (การผสม) ^[15]

ความดันไอที่ 20° C	ตัวอย่างสารเคมี เป้าหมาย	ค่าสัมประสิทธิ์การ ปลดปล่อยมลพิษ สำหรับถังผสมแบบ ปิด (%)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ปลดปล่อยมลพิษ สำหรับถังผสมแบบ เปิด (%)
10 mmHg >	Toluene	0.8	1.1
1 – 10 mmHg	Xylenes, Styrene	0.5	0.7
1 mmHg <	Amino ethanol	0.3	0.4

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณปริมาณการเคลื่อนย้าย Toluene และ Xylenes ในรูปของเสีย

กรณีไม่ทราบเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Wt%) ของ Toluene และ Xylenes ในรูปของเสีย ให้สันนิษฐานว่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Toluene หรือ Xylenes ในรูปของเสียเท่ากับอัตราส่วนของ Toluene หรือ Xylenes ในปริมาณทั้งหมดของวัตถุดิบ ดังนั้นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Toluene และ Xylenes ในรูปของเสีย คำนวณได้ดังนี้

^[15] Release estimation manual for paint manufacturers, Japan Paint Manufacturers Association (2001)

$$Wt\%_{wt,Tol} = \frac{A_{Tol}}{(A_{Tol} + A_{Xyl} + A_{Pig})} \times 100$$

$$= \frac{5,200}{(5,200 + 2,400 + 180)} \times 100$$

$$= 66.8\%$$

$$Wt\%_{wt,Xyl} = \frac{A_{Xyl}}{(A_{Tol} + A_{Xyl} + A_{Pig})} \times 100$$

$$= \frac{2,400}{(5,200 + 2,400 + 180)} \times 100$$

$$= 30.8\%$$

เมื่อ

$Wt\%_{wt,Tol}$ = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Toluene ในของเสีย (%)

$Wt\%_{wt,Xyl}$ = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Xylenes ในของเสีย (%)

A_{pig} = ปริมาณการใช้เม็ดสี (ตัน/ปี)

การใช้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Toluene และ Xylenes ในรูปของเสีย ซึ่งการเคลื่อนย้ายในรูปของเสียของ Toluene และ Xylenes คำนวณได้ดังนี้

$$T_{wt,Tol} = A_{wt} \times \frac{Wt\%_{wt,Tol}}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 7.3 \times \frac{66.8}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 4,879 \text{ kg/yr}$$

$$T_{wt,Xyl} = A_{wt} \times \frac{Wt\%_{wt,Xyl}}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 7.3 \times \frac{30.8}{100} \times 1,000 \text{ kg/ton}$$

$$= 2,252 \text{ kg/yr}$$

เมื่อ

$T_{wt,Tol}$ = ปริมาณการเคลื่อนย้ายในรูปของเสียของ Toluene (กก./ปี)

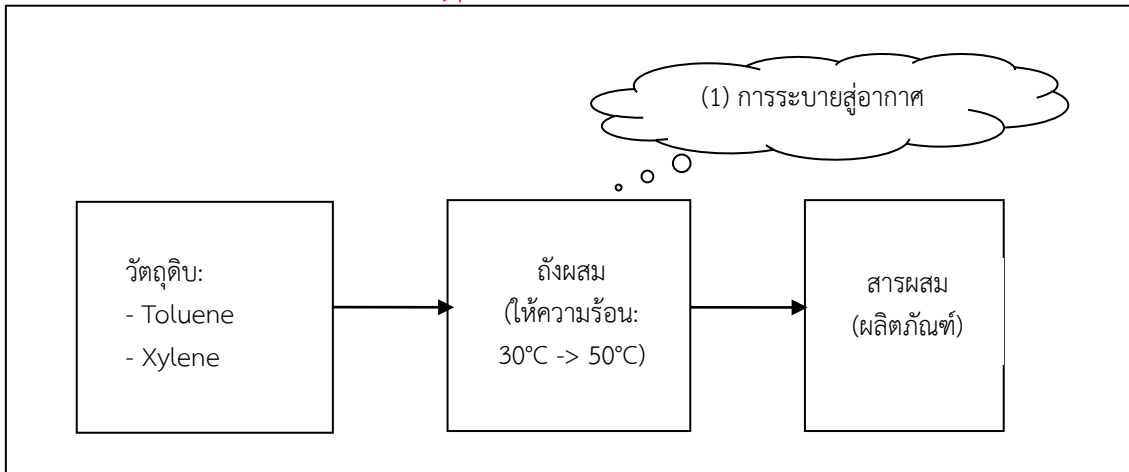
$T_{wt,Xyl}$ = ปริมาณการเคลื่อนย้ายในรูปของเสียของ Xylenes (กก./ปี)

A_{wt} = ปริมาณของเสีย (ทั้งหมด) (ตัน/ปี)

กรณีที่ 3

โรงงานผลิตสารเคมีมีหน่วยการผลิตที่มีการใช้สารเคมีเป้าหมายในโครงการ PRTR ดังนี้

c) กระบวนการคายความร้อน (batch type)



รูปที่ 3 กระบวนการคายความร้อน

ตารางที่ 4 สภาวะของกระบวนการให้ความร้อน

ความจุของถังปฏิกรณ์	7500 ลิตร
การบรรจุสารละลายในถังปฏิกรณ์	5000 ลิตร
องค์ประกอบของสารละลาย	Toluene: 60 wt% m-Xylene: 40 wt%
ความดันของถังปฏิกรณ์	760 mmHg
อุณหภูมิของถังปฏิกรณ์	30 °C -> 50 °C
จำนวนการทำงานใน 1 ปี	200 ครั้ง / ปี

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อย Toluene และ Xylene

วิธีการคำนวณ

สมการต่อไปนี้เป็น^[16] ถูกนำมาใช้ในการประมาณการการปลดปล่อยต่อการทำงานจากถังให้ความร้อน

^[16] USEPA, Methods for Estimating Air Emissions from Chemical Manufacturing Facilities (2007)

$$R_{n,i} = N_{ave} \times \ln \left(\frac{p_{nc,1}}{p_{nc,2}} \right) - (n_{i,2} - n_{i,1})$$

$$N_{ave} = \frac{1}{2} (n_1 + n_2)$$

เมื่อ

$R_{n,i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของสารประกอบ "i" ต่อการทำงาน (โมล/ครั้ง)

N_{ave} = average gas space molar volume ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน (โมล)

$p_{nc,1}$ = ความดันย่อยของก๊าซที่ไม่ควบแน่น(อากาศ) ใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T1

$p_{nc,2}$ = ความดันย่อยของก๊าซที่ไม่ควบแน่น(อากาศ) ใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T2

$n_{i,1}$ = โมลของสารประกอบระเหยง่าย "i" ใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T1

$n_{i,2}$ = โมลของสารประกอบระเหยง่าย "i" ใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T2

n_1 = โมลรวมของก๊าซใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T1

n_2 = โมลรวมของก๊าซใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T2

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณความดันไอย่อยของแก๊สสำหรับแต่ละสารประกอบในของเหลวโดยใช้กฎของเรอท์ และความดันไอย่อยที่เหลือของแก๊สไนโตรเจน

สารประกอบ	wt fraction of compound Wt_i	ความดันไอที่ 30°C (mmHg) $P_{i(30C)}$	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol) MW_i	wt fraction of compound $X_i = Wt_i/Mw_i / \sum Wt_i/Mw_i$
Toluene	0.60	36.66 ^[17]	92.14	0.633
m-Xylene	0.40	10.98 ^[18]	106.17	0.367
Total	1.00			1.00

^[17] Antoine equation of toluene; $p_{\text{toluene}, T} = \exp(16.0137 - 3096.52 / (T - 53.67))$, USEPA, Methods for Estimating Air Emissions from Chemical Manufacturing Facilities (2007)

^[18] <http://dcbonline.dcbst.com/AntoineCalculation/AntoineCalculationCGI.exe>

สารประกอบ	ความดันไอที่ 30°C (mmHg) $P_{i(30C)}$	ความดันไอย่อย ที่ 30 °C (mmHg) $X_i \times P_{i(30C)}$	ความดันไอที่ 50 °C (mmHg) $P_{i(50C)}$	ความดันไอย่อยที่ 50 °C (mmHg) $X_i \times P_{i(50C)}$
Toluene	36.66 ^[19]	23.21	92.11 ^[5]	58.31
m-Xylene	10.98 ^[20]	4.03	30.75 ^[6]	11.29
รวม		27.24		69.59
		$p_{nc,1}$ (mmHg)		$p_{nc,2}$ (mmHg)
อากาศ (ก๊าซที่ไม่ควบแน่น)		732.76 (=760-27.24)		690.41 (=760-69.59)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณ the average gas space molar volume

$$\begin{aligned}
 N_{ave} &= \frac{1}{2} (n_1 + n_2) \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{PV}{RT_1} + \frac{PV}{RT_2} \right) \\
 &= \left(\frac{PV}{2R} \right) \times \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right)
 \end{aligned}$$

เมื่อ

P = ความดันของถังปฏิกรณ์ (760 mmHg)

R = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ (62.4 L mmHg / mol K)

V = ปริมาตรแก๊ส (= 7500 ลิตร - 5000 ลิตร)

T_1 = อุณหภูมิเริ่มต้น (=273.15+30° C)

T_2 = อุณหภูมิสุดท้าย (=273.15+50° C)

$$\begin{aligned}
 N_{ave} &= \frac{1}{2} (n_1 + n_2) \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{PV}{RT_1} + \frac{PV}{RT_2} \right) \\
 &= \left(\frac{PV}{2R} \right) \times \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \\
 &= \left(\frac{760 \times 2,500}{2 \times 62.4} \right) \times \left(\frac{1}{303.15} + \frac{1}{323.15} \right) \\
 &= 97.33 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

^[19] Antoine equation of toluene; $p_{\text{toluene}, T} = \exp(16.0137 - 3096.52 / (T - 53.67))$, USEPA, Methods for Estimating Air Emissions from Chemical Manufacturing Facilities (2007)

^[20] <http://databases.dbst.com/AntoineCalculation/AntoineCalculationCGI.exe>

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณจำนวนโมลเริ่มต้นและสุดท้ายของ toluene ใน vessel headspace
ใช้กฎของแก๊สในการคำนวณโมลของไอผสมของ toluene และ m-xylene

$$n_{\text{total},1} = \frac{(p_{\text{total},1} \times V)}{(RT_1)}$$

$$= \frac{(27.24 \times 2,500)}{(62.4 \times 303.15)}$$

$$= 3.60 \text{ mol}$$

$$n_{\text{total},2} = \frac{(p_{\text{total},2} \times V)}{(RT_1)}$$

$$= \frac{(69.59 \times V=2,500)}{(62.4 \times 323.15)}$$

$$= 8.63 \text{ mol}$$

เมื่อ

$n_{\text{total},1}$ = โมลรวมของสารประกอบระเหยง่ายใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T1

$n_{\text{total},2}$ = โมลรวมของสารประกอบระเหยง่ายใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T2

$p_{\text{total},1}$ = ความดันย่อยรวมของสารประกอบระเหยง่ายใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T1

$p_{\text{total},2}$ = ความดันย่อยรวมของสารประกอบระเหยง่ายใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T2

$$R_{n,\text{total}} = N_{\text{ave}} \times \ln \left(\frac{p_{\text{nc},1}}{p_{\text{nc},2}} \right) - (n_{\text{total},2} - n_{\text{total},1})$$

$$= 97.33 \times \ln \left(\frac{732.76}{690.41} \right) - (8.63 - 3.60)$$

$$= 0.76 \text{ mol/time}$$

เมื่อ

$R_{n,\text{total}}$ = ปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดสู่อากาศของสารประกอบระเหยง่ายต่อการทำงาน (โมล/ครั้ง)

$p_{\text{nc},1}$ = ความดันย่อยของก๊าซที่ไม่ควบแน่น(ก๊าซไนโตรเจน) ใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T1

$p_{nc, 2}$ = ความดันย่อยของก๊าซที่ไม่ควบแน่น(ก๊าซไนโตรเจน) ใน vessel headspace ที่อุณหภูมิ T2

ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของสารประกอบแต่ละชนิดต่อการทำงาน คำนวณได้ดังในตาราง

สารประกอบ	ค่าเฉลี่ยความดันย่อยระหว่าง 30°C และ 50°C (mmHg) $1/2 \times (X_i \times P_{i(30C)} + X_i \times P_{i(50C)})$	Fraction to total a_i	ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศต่อการทำงานในหน่วยโมล (โมล/ครั้ง) $R_{n,i} = R_{n, total} \times a_i$	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol) MW_i	ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศต่อการทำงานในหน่วยกรัม (กรัม/ครั้ง) $R_{w,i} = R_{n,i} \times MW_i$
Toluene	40.76	0.842	0.64	92.14	59.0
m-Xylene	7.66	0.158	0.12	106.17	12.8
รวม	48.41	1.000	0.76		71.7

ตั้งแต่กระบวนการผลิตนี้ทำงาน 200 ครั้ง ปี ปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดของ/toluene และ m-xylene คำนวณดังนี้

$$R_{a, \text{toluene}} = R_{w, \text{toluene}} \times O_{pr}$$

$$= 59.0 \text{ (g/time)} \times \frac{200 \text{ (time/yr)}}{1,000 \text{ (g/kg)}}$$

$$= 11.8 \text{ kg/yr}$$

$$R_{a, \text{m-xylene}} = R_{w, \text{m-xylene}} \times O_{pr}$$

$$= 12.8 \text{ (g/time)} \times \frac{200 \text{ (time/yr)}}{1,000 \text{ (g/kg)}}$$

$$= 2.6 \text{ kg/yr}$$

เมื่อ

$R_{a, i}$ = ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศของสารประกอบ "i" (กก./ปี)

O_{pr} = จำนวนการทำงานต่อปี (ครั้ง/ปี)

เอกสารอ้างอิง

1. Japan Chemical Industry Association, Determination of Release Amounts of Specific Chemical Substances in the Environment and Promotion of Improvements to the Management Thereof (2001)
2. USEPA, Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors
<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>
3. USEPA, TANKS model
<http://www.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/>
4. Environment Australia, Emission Estimation Technique for Organic Chemical Processing Industry (1999)
<http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/forgchem.html>
5. Environment Australia, Emission Estimation Technique for Chemical Product Manufacture (1999)
<http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/fchempro.html>
6. Environment Australia, Emission Estimation Technique for Petroleum Refining (1999)
<http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/petroleum.html>
7. Ministry of Economy, Trade and Industry and Ministry of the Environment, Japan, Manual for PRTR Release Estimation Methods (2004)
<http://www.env.go.jp/en/chemi/prtr/manual/index.html>
8. OECD, Resource Compendium of PRTR Release Estimation Techniques, Part 1: Summary of Point Source Techniques (2002)
[http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/jm/mono\(2002\)20](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/jm/mono(2002)20)
9. OECD, Pollutant Release and Transfer Registers: Framework for Selecting and Applying PRTR Release Estimation Techniques (2005)
[http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2005\)18&doclanguage=en](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2005)18&doclanguage=en)

ภาคผนวก ก บัญชีรายการสารเคมีเป้าหมาย

No.	Name of Chemical substance	Molecula Formula	CAS Registry Number (CAS No.)
1	Acetaldehyde	CH ₃ CHO	75-07-0
2	Acetone	C ₃ H ₆ O	67-64-1
3	Acrylamide	C ₃ H ₅ NO	79-06-1
4	Acrylic Acid	C ₃ H ₄ O ₂	79-10-7
5	Acrylonitrile	C ₃ H ₃ N	107-13-1
6	Ametryn	C ₉ H ₁₇ N ₅ S	834-12-8
7	Antimony and its compounds		
	Antimony (metallic)	Sb	7440-36-0
8	Arsenic and its compounds		
	Arsenic	As	7440-38-2
9	Atrazine	C ₈ H ₁₄ ClN ₅	1912-24-9
10	Benzene	C ₆ H ₆	71-43-2
11	Benzyl Chloride	C ₇ H ₇ Cl	100-44-7
12	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	117-81-7
13	Bisphenol A	C ₁₅ H ₁₆ O ₂	80-05-7
14	Boron and its compounds		
	Orthoboric Acid	BH ₃ O ₃	10043-35-3
	Sodium Tetraborate	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	1330-43-4
	Borax Pentahydrate	BH ₁₃ NaO ⁸⁺	11130-12-4
15	Bromo-2-chloroethane, 1-	CH ₂ BrCl	107-04-0
16	Butachlor	C ₁₇ H ₂₆ ClNO ₂	23184-66-9
17	Butadiene,1,3-	C ₄ H ₆	106-99-0
18	Cadmium and its compounds		7440-43-9
19	Captan	C ₉ H ₈ Cl ₃ NO ₂ S	133-06-2

ภาคผนวก ก บัญชีรายการสารเคมีเป้าหมาย (ต่อ)

No.	Name of Chemical substance	Molecula Formula	CAS Registry Number (CAS No.)
20	Carbon Disulfide	CS ₂	75-15-0
21	Chloroacetaldehyde, 2-	C ₂ H ₃ ClO	107-20-0
22	Chloroacetic Acid	C ₂ H ₃ ClO ₂	79-11-8
23	Chloroform (trichloromethane)	CHCl ₃	67-66-3
24	Chlorothalonil	C ₈ Cl ₄ N ₂	1897-45-6
25	Chlorpyrifos	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS	2921-88-2
26	Chromium and its compounds		
	Chromium acid	CrO ₃	1333-82-0
	Chromium(VI)	Cr ⁺⁶	18540-29-9
	Chromium, Total	Cr	7440-47-3
27	Copper and soluble salts		
	Copper Sulfate	CuSO ₄	7758-98-7
28	Cyclohexanone	C ₆ H ₁₀ O	108-94-1
29	D-Butotyl,2,4-	C ₁₄ H ₁₈ Cl ₂ O ₄	1929-73-3
30	D-Butyl,2,4-	C ₁₂ H ₁₄ Cl ₂ O ₃	94-80-4
31	D-Dimmethylammonium,2, 4-	C ₁₀ H ₁₃ Cl ₂ NO ₃	2008-39-1
32	Dialifos(Dialifor)	C ₁₄ H ₁₇ ClNO ₄ PS ₂	10311-84-9
33	Dichlorobenzene, 1,4-	C ₆ H ₄ Cl ₂	106-46-7
34	Dichloroethane, 1,2-	C ₂ H ₄ Cl ₂	107-06-2
35	Dichlorophenoxy Acetic Acid, 2,4-	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	94-75-7
36	Dichlorvos	C ₄ H ₇ Cl ₂ O ₄ P	62-73-7
37	Diethylene Glycol Monobutyl Ether	C ₈ H ₁₈ O ₃	112-34-5
38	Dithiopyr	C ₁₅ H ₁₆ F ₅ NO ₂ S ₂	97886-45-8

ภาคผนวก ก บัญชีรายการสารเคมีเป้าหมาย (ต่อ)

No.	Name of Chemical substance	Molecula Formula	CAS Registry Number (CAS No.)
39	Epichlorohydrin	C ₃ H ₅ ClO	106-89-8
40	Ethyl Acetate	C ₄ H ₈ O ₂	141-78-6
41	Ethyl Acrylate	C ₅ H ₈ O ₂	140-88-5
42	Ethylene Glycol	C ₂ H ₆ O ₂	107-21-1
43	Ethylene Glycol Monobutyl Ether	C ₆ H ₁₄ O ₂	111-76-2
44	Ethylene Oxide	C ₂ H ₄ O	75-21-8
45	Formaldehyde	CH ₂ O	50-00-0
46	Formic Acid	CH ₂ O ₂	64-18-6
47	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	98-01-1
48	Glyphosate-Isopropylammonium	C ₆ H ₁₇ N ₂ O ₅ P	38641-94-0
49	Hexachlorocyclohexane	C ₆ H ₆ Cl ₆	319-86-8
50	Hexane, N-	C ₆ H ₁₄	110-54-3
51	Hexanedioic Acid	C ₆ H ₁₀ O ₄	124-04-9
52	Hydrogen Fluoride	HF	7664-39-3
53	Hydroquinone	C ₆ H ₆ O ₂	123-31-9
54	Imazaquin-Ammonium	C ₁₇ H ₂₀ N ₄ O ₃	81335-47-9
55	Isobutyl Alcohol	C ₄ H ₁₀ O	78-83-1
56	Isophorone	-	78-59-1
57	Isopropyl Alcohol	C ₃ H ₈ O	67-63-0
58	Lead and compounds	Pb	7439-92-1
59	Maleic Anhydride	C ₄ H ₂ O ₃	108-31-6
60	Managenses and its compounds		
	Manganese dioxide	MnO ₂	1313-13-9

ภาคผนวก ก บัญชีรายการสารเคมีเป้าหมาย (ต่อ)

No.	Name of Chemical substance	Molecula Formula	CAS Registry Number (CAS No.)
61	Methanol	CH ₄ O	67-56-1
62	(p-Methoxyphenyl)-2-Methyl-1,3-Propanediol-Methylene Ether,1-	-	5689-72-5
63	Methyl Acetate	C ₃ H ₆ O ₂	79-20-9
64	Methyl Acrylate	C ₄ H ₆ O ₂	96-33-3
65	Methyl Ethyl Ketone (2-Butanone)	C ₄ H ₈ O	78-93-3
66	Methyl Isobutyl Ketone (4-methyl-2-pentanone)	C ₆ H ₁₂ O	108-10-1
67	Methyl Methacrylate	C ₅ H ₈ O ₂	80-62-6
68	Methyl tert-Butyl Ether (MTBE)	C ₅ H ₁₂ O	1634-04-4
69	Methylene Chloride	CH ₂ Cl ₂	75-09-2
70	Methylenediphenyl Diisocyanate	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	101-68-8
71	Molybdenum and its compounds		
	Molybdenum	Mo	7439-98-7
72	Naphthalene	C ₁₀ H ₈	91-20-3
73	Nickel and its compounds		
	Nickel Soluble Compound	Ni	7440-02-0
	Nickel Chloride	NiCl ₂	7718-54-9
74	Paraquat Dichloride	C ₁₂ H ₁₄ Cl ₂ N ₂	1910-42-5
75	Pentane, n-	C ₅ H ₁₂	109-66-0
76	Phenol	C ₆ H ₆ O	108-95-2
77	Phosphoric Acid	H ₃ PO ₄	7664-38-2
78	Phosphorus pentoxide and other	P ₂ O ₅	1314-56-3
79	Phthalic Anhydride	C ₈ H ₄ O ₃	85-44-9
80	Polyethylene glycol nonylphenyl ether	C ₁₉ H ₃₂ O ₃	9016-45-9

ภาคผนวก ก บัญชีรายการสารเคมีเป้าหมาย (ต่อ)

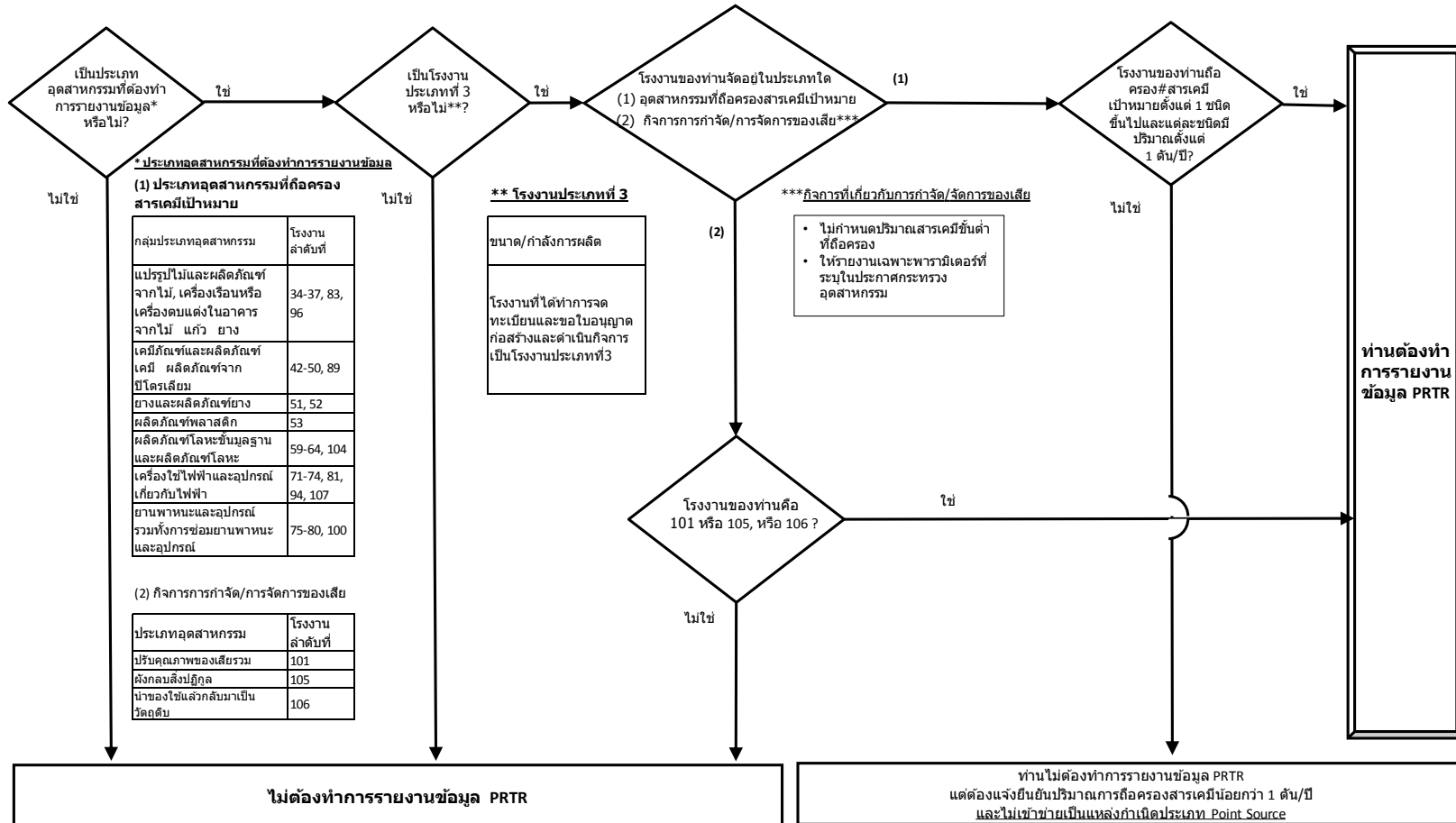
No.	Name of Chemical substance	Molecula Formula	CAS Registry Number (CAS No.)
81	Potassium Chlorate	ClKO ₃	3811-04-9
82	Propanil	C ₉ H ₉ Cl ₂ NO	709-98-8
83	Propionicacid	C ₃ H ₆ O ₂	79-09-4
84	Propylene	C ₃ H ₆	115-07-1
85	Propylene Glycol	C ₃ H ₈ O ₂	57-55-6
86	Propylene Oxide	C ₃ H ₆ O	75-56-9
87	Prothiocarb	C ₈ H ₁₉ ClN ₂ OS	19622-08-3
88	Pyrene	C ₁₆ H ₁₀	129-00-0
89	Ryania	C ₂₅ H ₃₅ NO ₉	15662-33-6
90	Sodium Chlorate	ClNaO ₃	7775-09-9
91	Sodium Cyanide	NaCN	143-33-9
92	Styrene	C ₈ H ₈	100-42-5
93	Tebuthiuron	C ₉ H ₁₆ N ₄ OS	34014-18-1
94	Tetrachloroethylene	C ₂ Cl ₄	127-18-4
95	Tin and its compounds		
	Tin	Sn	7440-31-5
96	Toluene	CH ₃ C ₆ H ₅	108-88-3
97	Trichloroethylene	C ₂ HCl ₃	79-01-6
98	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C ₉ H ₁₂	95-63-6
99	Trimethylbenzene, 1,3,5-	C ₉ H ₁₂	108-67-8
100	Trinitrotoluene, 2,4,6-	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	118-96-7
101	Vinyl Acetate	C ₄ H ₆ O ₂	108-05-4
102	Vinyl Chloride	C ₂ H ₃ Cl	75-01-4

ภาคผนวก ก บัญชีรายการสารเคมีเป้าหมาย (ต่อ)

No.	Name of Chemical substance	Molecula Formula	CAS Registry Number (CAS No.)
103	Xylenes	C_8H_{10}	
	Xylene, Mixture	C_8H_{10}	1330-20-7
	Xylene, P-	C_8H_{10}	106-42-3
104	Zinc and its compounds		
	Zinc (Metallic)	Zn	7440-66-6
	Zinc oxide	ZnO	1314-13-2
105	SO_x		
106	NO_x		
107	Dioxin and Furan		

ภาคผนวก ข คำนิยามแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องทำการรายงานข้อมูล PRTR (แหล่งกำเนิดประเภท Point Source) จะอยู่ในคู่มือฉบับสมบูรณ์

ผังขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อรายงานข้อมูล PRTR สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรม



ปริมาณสารเคมีที่ครอง (chemical handle) หมายถึง ปริมาณการผลิต ผลพลอยได้ การใช้ การเก็บรักษา

ภาคผนวก ค แบบฟอร์มการรายงานข้อมูล PRTR

แบบ PRTR01หน้าที่ 1

(ร่าง) แบบรายงานข้อมูลการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่มีการถือครองสารเคมีเป้าหมาย							
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป							
ชื่อโรงงาน/สถานประกอบการ.....							
หมายเลขทะเบียนสถานประกอบการ (เลขทะเบียนโรงงาน).....ลักษณะการประกอบกิจการ.....							
ที่ตั้ง เลขที่.....หมู่ที่.....ตรอก/ซอย.....ถนน.....							
แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....							
เขตการปกครอง (เทศบาล/อบต).....							
พิกัดตำแหน่งที่ตั้งสถานประกอบการ ละติจูด..... N ลองจิจูด..... E							
หรือพิกัด UTM (WGS84) X..... Y.....โซน.....							
ผู้ประสานงาน.....ตำแหน่ง.....							
โทรศัพท์.....โทรสาร..... Email address.....							
ปี พ.ศ.ที่ประเมิน(ตามรอบปีปฏิทิน นับตั้งแต่ 1 ม.ค. - 31 ธ.ค.).....							
ส่วนที่ 2 ตารางสรุปข้อมูลปริมาณการถือครอง การปลดปล่อยและการเคลื่อนย้ายมลพิษ							
ส่วนที่2/1 ตารางสรุปข้อมูลปริมาณการถือครอง การปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ (ปริมาณสารเคมี \geq 1 ตัน/ปี)							
ลำดับที่	ชื่อสารเคมี	CAS No.	PRTR No.	ปริมาณการถือครอง	ปริมาณสารเคมี (กก./ปี)		
					การปลดปล่อย	การเคลื่อนย้าย	ปริมาณรวม
หมายเหตุ * ปริมาณการถือครอง ก เท่ากับหรือมากกว่า 1 - 10 ตัน/ปีข. มากกว่า 10 - 100 ตัน/ปีค.มากกว่า 100 - 500 ตัน/ปี ง.มากกว่า 500 - 1,000 ตัน/ปีจ.มากกว่า 1,000 ตัน/ปี							
ส่วนที่2/2 ตารางสรุปข้อมูลปริมาณการถือครองสารเคมี (ปริมาณสารเคมี < 1 ตัน/ปี)							
ลำดับที่	ชื่อสารเคมี	CAS No.	PRTR No.	ปริมาณการถือครอง (กก./ปี)			
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลข้างต้นเป็นจริงทุกประการ							
ลงชื่อ.....				ลงชื่อ.....			
(.....)				(.....)			
ตำแหน่ง.....				ตำแหน่ง.....			
ผู้รายงาน				ผู้มีอำนาจลงนาม/ผู้ประกอบการ			
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....				วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....			

ส่วนที่ 3 แบบรายงานข้อมูลการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ (แยกรายสารเคมี)		
ข้อมูลสารเคมีที่มีปริมาณถือครอง ≥ 1 ตัน/ปี (1 สารเคมี/1 รายงาน)		
ชื่อโรงงาน/สถานประกอบการ.....		
หมายเลขทะเบียนสถานประกอบการ (เลขทะเบียนโรงงาน).....		
PRTR ลำดับที่.....ชื่อสารเคมี.....CAS Number.....		
ปริมาณการปลดปล่อยสู่อากาศ.....กิโลกรัม/ปี	<input type="checkbox"/> สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor) <input type="checkbox"/> สมดุลมวล (Mass Balance) <input type="checkbox"/> การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation) <input type="checkbox"/> การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)	
ปริมาณการปลดปล่อยสู่น้ำ.....กิโลกรัม/ปี ระบุแหล่งรองรับ <input type="checkbox"/> ท่อน้ำทิ้งสาธารณะ <input type="checkbox"/> แม่น้ำ/ลำคลอง <input type="checkbox"/> สระ/หนอง/บึง/ทะเลสาบ <input type="checkbox"/> ทะเล	<input type="checkbox"/> สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor) <input type="checkbox"/> สมดุลมวล (Mass Balance) <input type="checkbox"/> การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation) <input type="checkbox"/> การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)	
ปริมาณการปลดปล่อยสู่ดินกิโลกรัม/ปี	<input type="checkbox"/> สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor) <input type="checkbox"/> สมดุลมวล (Mass Balance) <input type="checkbox"/> การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation) <input type="checkbox"/> การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)	
รวมปริมาณการปลดปล่อยกิโลกรัม/ปี		
ปริมาณการเคลื่อนย้ายของเสียออกนอกสถานประกอบการ <input type="checkbox"/> ฝังกลบ <input type="checkbox"/> อื่นๆกิโลกรัม/ปี	<input type="checkbox"/> สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor) <input type="checkbox"/> สมดุลมวล (Mass Balance) <input type="checkbox"/> การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation) <input type="checkbox"/> การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)
ปริมาณการเคลื่อนย้ายน้ำเสียออกนอกสถานประกอบการกิโลกรัม/ปี	<input type="checkbox"/> สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor) <input type="checkbox"/> สมดุลมวล (Mass Balance) <input type="checkbox"/> การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation) <input type="checkbox"/> การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)
รวมปริมาณการเคลื่อนย้ายกิโลกรัม/ปี		
ปริมาณการบำบัด/กำจัดภายในสถานประกอบการ <input type="checkbox"/> ฝังกลบ (Landfill) <input type="checkbox"/> กองเก็บบนดิน (Surface Impoundment) <input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)กิโลกรัม/ปี	<input type="checkbox"/> สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor) <input type="checkbox"/> สมดุลมวล (Mass Balance) <input type="checkbox"/> การคำนวณทางวิศวกรรม (Engineering Calculation) <input type="checkbox"/> การตรวจวัดโดยตรง (Direct Measurement)
รวมปริมาณการบำบัด/กำจัดภายในสถานประกอบการกิโลกรัม/ปี		
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลข้างต้นเป็นจริงทุกประการ		
ลงชื่อ..... (.....) ตำแหน่ง..... ผู้รายงาน วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....	ลงชื่อ..... (.....) ตำแหน่ง..... ผู้มีอำนาจลงนาม/ผู้ประกอบการโรงงาน วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....	

ภาคผนวก ง วิธีการติดตามตรวจวัดที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย USEPA

ไอเสีย

สารประกอบอินทรีย์ระเหย

1. Method 18 (Determination of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography)

<http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-18.pdf>

โลหะ

2. Method 29 Method 29 (Determination of Metals Emissions from Stationary Sources)

<http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-29.pdf>

For more information, please visit the USEPA website;

<http://www.epa.gov/ttnemc01/promgate.html>

น้ำเสีย

สารประกอบอินทรีย์ระเหย

3. Method 624 (GC/MS)

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/organics/upload/2007_07_10_methods_method_organics_624.pdf

4. Method 601 (Trichloroethylene, Methylene Chloride, Vinyl Chloride, etc. by GC)

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/organics/upload/2007_07_10_methods_method_organics_601.pdf

5. Method 602 (Benzene, Toluene, etc. by GC)

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/organics/upload/2007_07_10_methods_method_organics_602.pdf

โลหะ

6. Method 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 4.4)

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/bioindicators/upload/2007_07_10_methods_method_200_7.pdf

7. Method 200.8 (Determination of Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry Revision 5.4)

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/bioindicators/upload/2007_07_10_methods_method_200_8.pdf

8. Method 200.9 (Determination of Trace Elements by Stabilized Temperature Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry Revision 2.2)

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/bioindicators/upload/2007_07_10_methods_method_200_9.pdf

For more information, please visit the USEPA website;

http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/methods_index.cfm

ของเสีย

9. EPA Method SW-846

<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/index.htm>

ภาคผนวก จ ตัวอย่างอัตราประสิทธิภาพของอุปกรณ์บำบัดไอเสียและน้ำเสีย^[21]

ตารางที่ จ-1 ประสิทธิภาพของการกำจัดและอัตราการย่อยสลาย (%) ของอุปกรณ์บำบัดไอเสีย

อุปกรณ์ในการบำบัด		สารที่ถูกบำบัด					
		ฝุ่นละออง		สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นก๊าซ		สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นก๊าซ	
		ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย
ระบบไซโคลน (Cyclone)	Representative value	60	0	0	0	0	0
	Minimum to maximum	60 - 90	0	-	-	-	-
	Factor taking up minimum to maximum	ขนาดของอนุภาค		-	-	-	-
ระบบถุงกรอง (Bag filter)	Representative value	95	0	0	0	0	0
	Minimum to maximum	90 - 99.9	0	-	-	-	-
	Factor taking up minimum to maximum	ขนาดของอนุภาค		-	-	-	-

^[21] Ministry of Economy, Trade and Industry and Ministry of the Environment, Japan, Manual for PRTR Release Estimation Methods (2004)

อุปกรณ์ในการบำบัด		สารที่ถูกบำบัด					
		ฝุ่นละออง		สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นก๊าซ		สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นก๊าซ	
		ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย
Electric dust collector	Representative value	90	0	0	0	0	0
	Minimum to maximum	90 - 99	0	-	-	-	-
	Factor taking up minimum to maximum	ขนาดของอนุภาค		-	-	-	-
อุปกรณ์ห้องเผา (Combustion equipment)	Representative value	0	0	99.5	99.5	0	0
	Minimum to maximum	-	-	95 - 99.5	95 - 99.5	-	-
	Factor taking up minimum to maximum	-	-	ความสามารถในการติดไฟของสาร		-	-
Absorber ^[a] (scrubber)	Representative value	80	0	0	0	93	93
	Minimum to maximum	60 - 99	0	20 - 99*	0	80 - 99	80 - 99
	Factor taking up minimum to maximum	ขนาดของอนุภาค		*ข้อจำกัดต่อการละลายน้ำได้ของสาร		การทำปฏิกิริยากับ กรด/ด่าง	

อุปกรณ์ในการบำบัด		สารที่ถูกบำบัด					
		ฝุ่นละออง		สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นก๊าซ		สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นก๊าซ	
		ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย
ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorber)	Representative value	10	0	87	0	50	
	Minimum to maximum	0 - 30	0	30 - 99	0	20 - 99	
	Factor taking up minimum to maximum	ความเข้มข้นและระดับการดูดซับของสาร					

^[a] Absorber ที่ใช้คือสารละลายกรดหรือด่าง: ความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับอัตราการย่อยสลายจะเท่ากับปริมาณของของเสีย เช่น เถ้าที่เก็บได้หรือวัสดุกรองที่ใช้ไปแล้ว

ที่มา: Questionnaire survey to the exhaust gas treatment device manufacturer in 2001

ตารางที่ จ-2 ประสิทธิภาพของการกำจัดและอัตราการย่อยสลาย (%) ของอุปกรณ์บำบัดน้ำเสีย

อุปกรณ์ในการบำบัด		สารที่ถูกบำบัด							
		สารประกอบอินทรีย์แขวนลอย ^[b]		สารประกอบอินทรีย์แขวนลอย ^[b]		สารประกอบอินทรีย์ที่ละลายได้ ^[c]		สารประกอบอินทรีย์ที่ละลายได้ ^[c]	
		ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย	ประสิทธิภาพการบำบัด	อัตราการย่อยสลาย
ตกตะกอนทั่วไป (General precipitation)	Representative value	40	0	20	0	0	0	0	0
	Minimum to maximum	40 - 50	—	20 - 50	—	—	—	—	—
	Factor taking up minimum to maximum	ขนาดอนุภาคของสารแขวนลอย				—	—	—	—
Coagulating sedimentation	Representative value	80	0	70	0	0	0	0	0
	Minimum to maximum	66 - 95	—	90 - 95	—	0 - 10	—	0 - 10	—
	Factor taking up minimum to maximum	ขนาดอนุภาคของสารแขวนลอย				ชนิดของสารสร้างตะกอน			
Microbial decomposing ^[a]	Representative value	70	0	70	30	0	0	60	40
	Minimum to maximum	70 - 80	0	70 - 80	30	—	—	60 - 95	40 - 70
	Factor taking up minimum to maximum	คุณสมบัติการดูดซับกับตะกอน				—	—	ความสามารถในการสลายตัวของสาร	

อุปกรณ์ในการบำบัด		สารที่ถูกบำบัด							
		สารประกอบอินทรีย์ แขวนลอย ^[b]		สารประกอบอินทรีย์ แขวนลอย ^[b]		สารประกอบอินทรีย์ ที่ละลายได้ ^[c]		สารประกอบอินทรีย์ ที่ละลายได้ ^[c]	
		ประสิทธิภาพ การบำบัด	อัตราการ ย่อยสลาย	ประสิทธิภาพ การบำบัด	อัตราการ ย่อยสลาย	ประสิทธิภาพ การบำบัด	อัตราการ ย่อยสลาย	ประสิทธิภาพ การบำบัด	อัตราการ ย่อยสลาย
brane filter	Representative value	100	0	100	0	0	0	0	0
	Minimum to maximum	—	—	—	—	70 - 98*	0	90 - 95*	0
	Factor taking up minimum to maximum	—	—	—	—	* ในกรณีของ reverse osmosis membrane (RO)			
Activated carbon adsorber	Representative value	10	0	10	0	20	0	80	0
	Minimum to maximum	0 - 10	0	0 - 10	0	0 - 20	0	80 - 90	0
	Factor taking up minimum to maximum	คุณสมบัติการดูดซับของสาร							

^[a] ค่าที่ได้เหล่านี้ค่อนข้างคงที่ เมื่อมีการบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน เช่นวิธีบำบัดเหล่านี้ activated sludge, submerged biofilter, biological contact aeration, and rotary disc method เป็นต้น

^[b] “สารแขวนลอย” (สารประกอบอินทรีย์หรืออินทรีย์) หมายถึงสารบางชนิดที่อยู่ในรูปของอนุภาคในน้ำทั้ง

^[c] “ละลายน้ำได้” (สารประกอบอินทรีย์หรืออินทรีย์) หมายถึงสารบางชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำทั้ง โดยความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและอัตราการย่อยสลายจะเท่ากับปริมาณของเสีย

ที่มา: Questionnaire survey to the effluent treatment device manufacturer in 2001

ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ^[22]

- Polyvinyl chloride manufacture: ตารางที่ VI-1
- Polystyrene manufacture: ตารางที่ VI-2 to VI-5
- Polypropylene manufacture: ตารางที่ VI-6
- Synthetic resins manufacture: ตารางที่ VI-7
- Synthetic rubber manufacture: ตารางที่ VI-8

ตารางที่ ฉ-1 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษในกรณีที่ไม่มีการควบคุม สำหรับโรงงานผลิต polyvinyl chloride

สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ vinyl chloride (kg/t of PVC produced)
8.5

- หมายเหตุ: 1. ภายใต้สมมติฐานว่าโรงงานไม่มีการควบคุมการระบายมลพิษ
2. สัมประสิทธิ์การระบายมลพิษที่กำหนดโดย USEPA สำหรับก๊าซเช่น vinyl chloride. ในกรณีที่ไม่ใช่ข้อมูลลักษณะเฉพาะของสารอาจสมมติว่ามีค่าเท่ากับ vinyl chloride ได้

^[22] สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษนี้ได้รับการพัฒนาโดย USEPA ในกรณีที่โรงงานมีข้อมูลไม่เพียงพอ ค่าสัมประสิทธิ์นี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการผลิตสารเคมี

ตารางที่ ๑-2 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ สำหรับโรงงานผลิต polystyrene ที่ผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง

กระบวนการ	สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (kg VOC/t of product)
Monomer storage and feed dissolver tanks	0.09 ^[a]
Reactor vent drum vent	0.74 ^[b]
Devolatiliser condenser vent	0.50 ^[b]
Devolatiliser condenser tank	0.002 ^[a]
Extruder quench vent	0.23 ^[b]
Product storage	- ^[c]
Total plant	1.55

^[a] ขึ้นอยู่กับการออกแบบถังในกรณีของถังแบบ fixed roof

^[b] ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดโดย USEPA

^[c] พิจารณาว่าการระบายมลพิษมีน้อยมาก ในกรณีที่ไม่มีข้อมูล ให้สมมติว่าการระบายมลพิษเป็นศูนย์

ตารางที่ ๓-3 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ สำหรับโรงงานผลิต polystyrene ที่ผลิตแบบต่อเนื่อง

กระบวนการ	สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (kg VOC/t of product)
Monomer storage	0.08
General purpose additives	0.002
High impact additives	0.001
Ethylbenzene storage	0.001
Dissolvers	0.008
Devolatiliser condenser vent ^[g]	0.05 ^[a] , (0.04) ^[a,b] 2.96 ^c
Styrene recovery unit condenser vent	0.05 ^[a] 0.13 ^[c]
Devolatiliser + Styrene recovery unit	0.024 – 0.3 ^[f] , (0.004) ^[e]
Extruder quench vent	0.01 ^[a] 0.15 ^[c,e]
Pellet storage	- ^[d]
General purpose other storage	0.008
High impact other storage	0.007
Total plant	0.21 ^[a] 3.34 ^[c]

^[a] สำหรับโรงงานที่ใช้ vacuum pumps

^[b] Condenser ที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการควบแน่นเพื่อควบคุมการระเหย ค่าสัมประสิทธิ์นี้รวมถึงการระบายมลพิษจากตัวทำละลายด้วย

^[c] สำหรับโรงงานที่ใช้ steam jets

^[d] พิจารณาว่าการระบายมลพิษมีน้อยมาก ในกรณีที่ไม่มีข้อมูล ให้สมมติว่าการระบายมลพิษเป็นศูนย์

^[e] สำหรับโรงงานที่ใช้ organic scrubber เพื่อลดการระบายมลพิษ สารอินทรีย์ที่ละลายจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้

^[f] ค่าต่ำสุดอ้างอิงกับโรงงานที่มีการใช้ condenser ในการทำความเย็นรวมทั้ง conventional cooling water exchanges; vacuum pumps ที่ใช้ โดยมีค่าที่สูงกว่าของโรงงานที่ใช้ vacuum pumps

^[g] โรงงานขนาดใหญ่อาจมีท่อส่งไอน้ำไปยังส่วนที่เป็น styrene recovery ระบบนี้อาจจะแพงสำหรับโรงงานที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ ๑-4 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษในกรณีที่ไม่มีการควบคุม สำหรับโรงงานผลิต expandable polystyrene post impregnation suspension process of polystyrene

การระบายสารประกอบอินทรีย์ระเหย (kg/t of polystyrene produced)
8.75

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดได้จัดทำขึ้นโดย USEPA

ตารางที่ ๑-5 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจากกระบวนการผลิต polystyrene

กระบวนการ	สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (kg VOC/t of product)
Mix tank vents	0.13
Regranulator hoppers	- ^[a]
Reactor vents	1.09 ^[b]
Holding tank vents	0.053
Wash tank vents	0.023
Drier vents	2.77 ^[b]
Product improvement vents	0.008
Storage vessel and conveying losses	1.3
Total plant	5.37 ^[c]

^[a] พิจารณาว่าการระบายมลพิษมีน้อยมาก ในกรณีที่ไม่มีการควบคุม ให้สมมติว่าการระบายมลพิษเป็นศูนย์

^[b] ภายใต้สมมุติฐานว่าไม่มีการควบคุมการระบายมลพิษในโรงงาน

^[c] สำหรับโรงงานที่ท่อระบายอากาศของถังปฏิกิริยาและถังอบแห้งที่ถูกควบคุมด้วยหม้อไอน้ำ โดยอัตราการระบายมลพิษทั้งหมดคือ 3.75 โดยประมาณ

ตารางที่ ๑-6 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษในกรณีที่ไม่มีการควบคุมจากกระบวนการผลิต polypropylene

สัมประสิทธิ์ปลดปล่อย VOC (kg/t of polypropylene produced)
0.35

- หมายเหตุ:** 1. ภายใต้อสมมุติฐานว่าไม่มีการควบคุมการระบายมลพิษในโรงงาน
 2. สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษนี้พัฒนาขึ้นโดย USEPA สำหรับก๊าซ polypropylene ในกรณีที่ไม่ใช่ข้อมูลจำเพาะของโรงงานก็อาจสมมติให้ว่ามีค่าเท่ากับปริมาณ VOC ทั้งหมด

ตารางที่ ๑-7 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจากการผลิตพลาสติกสังเคราะห์

กระบวนการ	การระบายสารประกอบอินทรีย์ระเหย (kg VOC/t of fibre spun)
Rayon viscose	0
Cellulose acetate, filter row	112 ^[a]
Cellulose acetate and triacetate, filament yarn	0.05 ^[a,b]
Polyester, melt spun	
Staple	0.6 ^[c]
Yarn	0.05 ^[c]
Acrylic, dry spun	
Uncontrolled	40
Controlled	32 ^[d]
Modacrylic, dry spun	125 ^[c,e]
Acrylic and modacrylic, wet spun	6.75 ^[f]
Acrylic, inorganic wet spun	
Homopolymer	20.7 ^[c]
Copolymer	2.75 ^[c]
Nylon 6, melt spun	
Staple	3.93 ^[c]
Yarn	0.45 ^[d,g]

กระบวนการ	การระบายสารประกอบอินทรีย์ระเหย (kg VOC/t of fibre spun)
Nylon 66, melt spun Uncontrolled	2.13 ^[h]
Controlled	0.31 ^[i]
Polyolefin, melt spun	5 ^[c]
Spandex, dry spun	4.23 ^[d]
Spandex, reaction spun	138 ^[j]
Vinyon, dry spun	150 ^[d]

^[a] ภายหลัง recovery จาก spin cells และ dryers

^[b] ในกรณีที่ใช้ methyl chloride หรือ methanol เป็นตัวทำละลาย โดยในกรณีของ acetone จะมีค่าเป็นสองเท่าของค่าสัมประสิทธิ์นี้

^[c] การระบายมลพิษที่ไม่มีการควบคุม

^[d] ภายหลัง recovery จาก spin cells

^[e] ภายหลังการควบคุมในกระบวนการทำความสะอาดชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปแล้ว

^[f] ภายหลัง solvent recovery จากขั้นตอน spinning washing และ drawing การระบายมลพิษนี้จะมีสาร acrylonitrile เป็นองค์ประกอบด้วย

^[g] สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษที่ไม่มีการควบคุมมีค่าเท่ากับ 1.39 กิโลกรัมต่อตัน

^[h] บวกเพิ่มอีก 0.1 กิโลกรัมต่อตันสำหรับโรงงานที่ผลิตเส้นใย (tow or staple) สำหรับกระบวนการ polymerization แบบต่อเนื่อง คุณด้วย 1.7 สำหรับกระบวนการ polymerization แบบไม่ต่อเนื่อง คุณด้วย 0.8

^[i] ภายหลังการควบคุม spin cells บวกเพิ่มอีก 0.02 กิโลกรัมต่อตัน สำหรับโรงงานที่ผลิตเส้นใย สำหรับกระบวนการ polymerization แบบต่อเนื่อง คุณด้วย 2.0 สำหรับกระบวนการ polymerization แบบไม่ต่อเนื่อง ลบออก 0.01 กิโลกรัมต่อตัน

^[j] ภายหลัง recovery โดยใช้การดูดซับด้วย carbon จาก spin cells และ post spinning ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวม 83%

ตารางที่ ๘-8 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษจากกระบวนการ emulsion ของโรงงานผลิตยางสังเคราะห์

กระบวนการ	สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ (kg VOC/t of product)
Emulsion crumb	
Monomer recovery, uncontrolled	2.6
Absorber vent	0.26
Blend/coagulation tank, uncontrolled	0.42
Dryers	2.51 ^[a]
Emulsion latex	
Monomer removal condenser vent	8.45
Blend tanks, uncontrolled	0.1

^[a] ภายใต้อสมมติฐานว่าไม่มีการควบคุมการระบายมลพิษในโรงงาน

ภาคผนวก ข ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับ TANKS Model

ข้อมูลสารประกอบอินทรีย์ระเหยดังกล่าวถัดไปนั้น จากเอกสารอ้างอิง: สารประกอบอินทรีย์ระเหย แนวทางการจัดทำบัญชีการปล่อยและควบคุม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

จ. ระยอง

เดือน	City = Rayong		State = Rayong	
	Daily avg T =83.6°F	atm pr =14.6 psia	Solar Radiation	Average wind
	Tmax	Tmin		
	°F	°F	Btu/ft ² /day	mph
ม.ค.	89.2	71.9	1649.4853	3.1
ก.พ.	90.1	76.9	1701.0399	4.6
มี.ค.	91.0	78.7	1760.2672	4.7
เม.ย.	93.4	80.8	1803.3080	4.3
พ.ค.	91.5	80.8	1570.3804	5.5
มิ.ย.	90.1	80.6	1463.8620	7.2
ก.ค.	89.5	80.3	1237.1360	7.2
ส.ค.	88.8	80.0	1052.9574	6.9
ก.ย.	88.8	78.5	1343.2668	4.9
ต.ค.	90.1	76.7	1468.5484	3.0
พ.ย.	90.8	74.5	1570.3452	3.4
ธ.ค.	89.9	71.7	1641.6981	3.7
เฉลี่ย	90.3	77.6	1521.8579	4.9

กรุงเทพฯ

หมายเหตุ:

1. อุณหภูมิ, ความเร็วลม, ความกดอากาศ: ข้อมูลปี 2001-2011 (กรมอุตุนิยมวิทยาไทย)
2. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation) : ข้อมูล 1983-2005 (NASA Database “Surface meteorology and Solar Energy”, <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>)

เดือน	City = Bangkok Metropolis		State = Bangkok	
	Daily avg T =84.5 °F	atm pr =14.6 psia	Solar Radiation	Average wind
	Tmax	Tmin		
	°F	°F	Btu/ft ² /day	mph
ม.ค.	90.9	73.9	1607.8187	3.6
ก.พ.	92.7	77.3	1782.2369	5.0
มี.ค.	93.7	79.0	1899.5728	5.7
เม.ย.	96.4	81.1	1975.6825	6.0
พ.ค.	94.0	79.8	1702.9559	5.2
มิ.ย.	93.1	79.3	1563.4213	5.2
ก.ค.	92.1	78.9	1528.5377	5.2
ส.ค.	91.9	78.6	1522.1952	5.2
ก.ย.	91.7	77.7	1499.9965	4.2
ต.ค.	91.9	77.2	1423.8868	3.0
พ.ย.	91.7	76.0	1503.1678	3.3
ธ.ค.	90.7	73.9	1541.2226	3.1
เฉลี่ย	92.6	77.7	1629.2246	4.6

จ. ชลบุรี

หมายเหตุ:

3. อุณหภูมิ, ความเร็วลม, ความกดอากาศ: ข้อมูลปี 2001-2011 (กรมอุตุนิยมวิทยาไทย)
4. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation) : ข้อมูล 1983-2005 (NASA Database “Surface meteorology and Solar Energy”, <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>)

เดือน	City = Chon Buri		State =Chon Buri	
	Daily avg T = 84.3°F	atm pr = 14.6 psia	Solar Radiation	Average wind
	Tmax	Tmin		
	°F	°F	Btu/ft ² /day	mph
ม.ค.	90.6	73.1	1614.1612	4.1
ก.พ.	91.5	76.5	1696.6134	3.4
มี.ค.	92.7	78.1	1763.2094	3.4
เม.ย.	94.9	80.2	1788.5794	2.9
พ.ค.	93.4	79.9	1566.5926	2.7
มิ.ย.	92.8	79.9	1474.6266	3.0
ก.ค.	91.9	79.8	1427.0580	3.1
ส.ค.	91.6	79.3	1436.5717	3.2
ก.ย.	90.9	78.0	1468.2841	2.4
ต.ค.	91.3	77.0	1480.9691	3.0
พ.ย.	91.5	74.8	1557.0788	4.6
ธ.ค.	90.9	72.8	1553.9076	4.5
เฉลี่ย	92.0	77.4	1568.9710	3.4

ภาคผนวก ข คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของสารเคมีเป้าหมายในประเทศไทย

ประเภทเชื้อเพลิง	Reid Vapor Pressure (psia)	Reid Vapor Pressure (kPa)	Liquid Molecular Weight	Liquid Density (lb/ga @ 60F) (g/ml) at 15 C	สารเคมีเป้าหมายในเชื้อเพลิง (wt%)							
					Benzene	Toluene	Xylene	Naphtalene	Pentane	Hexane	1,2,4-Trimethylbenzene	1,3,5-Trimethylbenzene
Gasoline 91	8.59	57.2	89.8	0.74	0.79	11.8	7.0	0.14	8.1	3.3	3.7	0.92
Gasoline 95	8.64	N/A	N/A	0.76	0.68	19.0	4.4	0.10	3.5	2.6	4.5	1.1
Gasohol 91	8.64	59.7	N/A	0.74	0.70	10.4	5.5	0.13	8.0	3.2	4.2	1.0
Gasohol 95	8.77	58.9	N/A	0.75	0.84	16.2	6.1	0.13	7.2	2.6	4.8	1.2

ที่มา: Data from Refining Companies in Thailand

ภาคผนวก ณ คู่มือฉบับย่อสำหรับการใช้ WATER 9 Model

จัดทำโดยกระทรวงอุตสาหกรรม