

แนวทางการจัดการ สารอินทรีย์ระเหย VOCs

Volatile Organic Compounds (VOCs) Management Guideline



เขียนและเรียบเรียงเนื้อหาโดย รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุธ เสือดี



แนวทางการจัดการสารอินทรีย์ระเหย

Volatile Organic Compounds (VOCs) Management Guideline

แนวทางการจัดการสารอินทรีย์ระเหย Volatile Organic Compounds (VOCs) Management Guideline

บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุธ เสือดี ดร. จิราวรรณ จำปานิล
จัดทำโดย	กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย เลขที่ 60 ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ถนนรัชดาภิเษกตัดใหม่ คลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110 โทรศัพท์ 0 2345 1005 โทรสาร 0 2654 5005 www.ftipc.or.th
พิมพ์ที่	มาบตาพุดการพิมพ์ เลขที่ 78/5 ถนนเนินพยอม ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง 21150 โทรศัพท์ 0 3868 2281, 0 3869 1952 โทรสาร 0 3869 1952
จัดพิมพ์และเผยแพร่โดย	สมาคมเพื่อนชุมชน และ บริษัท เอ็นพีซี เซฟตี้ แอนด์ เอ็นไวรอนเมนทอล เซอร์วิส จำกัด 20/9 ถนนปภกรณ์สงครามห้วยราชบุรี ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง 21150 โทรศัพท์ 0 3868 5666 โทรสาร 0 3869 3200 www.community.or.th www.npc-se.co.th
พิมพ์ครั้งแรก	กันยายน 2555
จำนวน	310 เล่ม
ISBN	978-616-91147-1-0
ออกแบบปก	รัชชาติ เจริญพงษ์

คำนำ

การจัดทำหนังสือ “แนวทางการจัดการสารอินทรีย์ระเหย” เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินการภายใต้แผนงานปฏิบัติการโรงงานสีเขียว (Green Operation) ปี 2555 ของสมาคมเพื่อนชุมชน และคณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ดำเนินการโดยนักวิชาการที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ในการจัดการสารอินทรีย์ระเหยภาคอุตสาหกรรม ภายใต้การสนับสนุนเงินทุนจากสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการในการจัดการและควบคุมสารอินทรีย์ระเหยในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะโรงงานที่มีสารอินทรีย์ระเหยเป็นวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์หลัก รวมทั้งสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการเผยแพร่เทคนิคต่างๆ อันเป็นประโยชน์แก่บุคคลทั่วไปในการคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับสถานประกอบการของตนในการควบคุมสารอินทรีย์ระเหย ตลอดจนการจัดทำบัญชีสารอินทรีย์ระเหยเพื่อประเมินสภาพการระบายสู่สิ่งแวดล้อม อันนำไปสู่กระบวนการจัดการเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยต่อไปในอนาคต

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านและสามารถนำไปใช้อ้างอิงได้ในเชิงวิชาการ และมีส่วนช่วยสนับสนุนให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมนำสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการดำเนินงานเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีต่อไป ทั้งนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้จัดทำจักขออภัยไว้ ณ ที่นี้

กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

กันยายน 2555

กิตติกรรมประกาศ

หนังสือ “แนวทางการจัดการสารอินทรีย์ระเหย” ได้ดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ภายใต้การสนับสนุนของเหล่าเพื่อนสมาชิกเพื่อนชุมชนที่แบ่งปันข้อมูลเชิงเทคนิคและถ่ายทอดความรู้ของตนไปสู่เพื่อนๆ ผู้ประกอบการด้วยกัน และร่วมให้ความคิดเห็นเพื่อให้หนังสือเล่มนี้มีความสมบูรณ์และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้สูงสุด สมาคมเพื่อนชุมชนขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุธ เสือดี สำหรับข้อมูลเชิงวิชาการด้านสารอินทรีย์ระเหย ดร.จิราวรรณ จำปานิล และคณะทำงานของสมาคมเพื่อนชุมชน ที่ร่วมตรวจสอบความถูกต้องและเนื้อหาประกอบหนังสือให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ สมาคมเพื่อนชุมชนใคร่ขอขอบคุณ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) กลุ่มบริษัท ดาว ในประเทศไทย บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด บริษัท ไทยแทงค์เทอร์มินัล จำกัด และบริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพประกอบเพื่อเสริมให้เนื้อหา มีความชัดเจนและทำให้ผู้อ่านมีความเข้าใจชัดเจนมากขึ้น

สุดท้ายสมาคมเพื่อนชุมชน ใคร่ขอขอบพระคุณกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนเงินทุนในการจัดทำหนังสือเล่มนี้ จนสามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สมาคมเพื่อนชุมชน

กันยายน 2555

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	iii
กิตติกรรมประกาศ	iv
สารบัญ	v
สารบัญรูป	viii
สารบัญตาราง	xii
1. ข้อมูลทั่วไป	1
1.1 VOCs คืออะไร	1
1.2 คำจำกัดความ	1
1.3 แหล่งกำเนิด VOCs	13
1.4 ความเป็นพิษและกลไกการเกิดพิษของ VOCs	15
1.4.1 VOCs เป็นสารตั้งต้นการเกิดโอโซนที่ระดับผิวพื้น	15
1.4.2 ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ระเหยรายชนิด	15
1.5 วิธีการประเมินการรั่วซึมของ VOCs (Fugitive and Stationary Sources)	33
1.5.1 LDAR Program	34
1.5.2 วิธีการควบคุมสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในประเทศไทย	35
1.5.3 วิธีการตรวจวัดเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์	36
1.6 การจัดทำบัญชีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย	46
1.6.1 จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitives)	49
1.6.2. การเผาไหม้	58
1.6.3 ถังเก็บสารเคมี (Storage Tank)	60
1.6.4 จากการขนถ่าย	66
1.6.5 ระบบเผาทิ้งหรือแฟลร์ (Flare)	67
1.6.6 จากระบบบำบัดน้ำเสีย	67
2. ระบบการบริหารจัดการ VOCs	72
2.1 เทคโนโลยีการควบคุม VOCs	74
2.2 เทคนิคการควบคุม VOCs จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitive Sources Control)	75
2.2.1 ใช้เทคนิค Leak Detection and Repair (LDAR) Program	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 เทคนิคการควบคุมการปล่อย VOCs โดยการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบเพิ่มเติม	80 87
2.3 การควบคุมการรั่วระเหยจากถังเก็บ (Evaporative Loss from Tanks)	
2.3.1 ถังหลังคาตรึง (Fixed Roof Tanks)	87
2.3.2 ถังหลังคาลอยภายนอก (External Floating Roof Tanks)	88
2.3.3 ถังหลังคาลอยภายใน (Internal Floating Roof Tanks)	96
2.3.4 ถังหลังคาลอยภายนอกรูปโดม (Domed External (or covered) Floating Roof Tanks)	96
2.4 เทคนิคในการควบคุม VOCs เนื่องจากการขนถ่าย (Emission from loading/unloading activities)	98
2.4.1. ปรับเปลี่ยนวิธีการถ่ายสาร VOCs ลงรถหรือเรือ	98
2.4.2 การใช้วิธีสมดุลไอ (Vapor Balance)	99
2.4.3 การควบคุมที่จุดปล่อย	99
2.5 การควบคุม VOCs จากระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment)	100
2.6 การควบคุมที่จุดปล่อย (Stationary Source Control)	100
2.6.1 ระบบการเผาทำลาย (Incineration)	100
2.6.2 ระบบการดูดซับ (Adsorption)	104
2.6.3 ระบบการดูดกลืน (Absorption)	107
2.6.4 ระบบการกรองชีวภาพ (Biofiltration)	108
2.7 แนวทางการเลือกใช้ Technology ที่เหมาะสม ในการควบคุม VOCs	109
2.7.1 ระบบการเผาไหม้โดยตรง	109
2.7.2 ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	109
2.7.3 ระบบออกซิเดชัน (Oxidation)	110
2.7.4 ระบบกำจัด VOCs ด้วยวิธีชีวภาพ	110
2.7.5 ระบบสครับบิง (Scrubbing)	111
2.7.6 ระบบดูดซับ	111
2.7.7 การควบแน่นและการนำมาใช้ใหม่	113

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. การกำหนดมาตรการควบคุม VOCs ตามแหล่งกำเนิดและการดำเนินการแก้ไข จุดที่รั่วซึมในกระบวนการผลิต	114
3.1 Walkthrough Survey Technique or Quick Win	115
3.2 ระบบการควบคุม VOCs จากการรั่วซึมของอุปกรณ์ (Fugitives)	118
3.2.1 การกำหนดให้มีการวัดสำรวจการรั่วระเหย	118
3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	119
3.2.3 การลดจำนวนอุปกรณ์ที่ปล่อยสาร VOCs ในระบบ	121
3.2.4 การใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบให้ไม่มีรอยต่อ	122
3.3 ระบบการเผาทำลาย (Combustion)	123
3.3.1 การเผาทิ้งที่ระดับพื้น	123
3.3.2 ระบบเผาทำลายด้วยความร้อน (Thermal Incinerator)	123
3.4 ระบบการดูดซับ (Adsorption)	125
3.5 ระบบ Vapor Recovery Unit (VRU)	125
3.6 ระบบการควบคุม VOCs จากถังเก็บสารเคมี (Storage Tank)	127
3.7 ระบบการควบคุม VOCs จากการขนถ่าย	129
3.8 ระบบการควบคุม VOCs จากระบบบำบัดน้ำเสีย	131
3.8.1 การปิดคลุมระบบ	131
3.8.2 การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำให้มีการระเหย VOCs น้อยลง	133
3.9 วิธีการจัดการ VOCs ช่วง Plant Turnaround & Tank Inspection	135

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ดัชนีคำค้น

ภาคผนวก ข กฎหมายในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ระเหย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	แหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่สำคัญ	14
1-2	สัดส่วนการรั่วระเหยของ VOCs จากอุปกรณ์	34
1-3	ตัวอย่างเครื่องวัดสารอินทรีย์ระเหยแบบพกพา	39
1-4	ตัวอย่างการวัดเพื่อตรวจสอบการรั่วรายอุปกรณ์	41
1-5	ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับวาล์วประตู (Gate Valves)	42
1-6	ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับ โกลบวาล์ว (Globe Valves)	43
1-7	ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับ ลูบริเคตเตด ปลั๊ก วาล์ว (Lubricated Plug Valve)	43
1-8	ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับบอลวาล์ว (Ball Valve)	43
1-9	ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับวาล์วปีกผีเสื้อ	44
1-10	ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับวาล์วไดอะแฟรมแบบเวียร์ (Weir-Type Diaphragm Valve) และ เช็ควาล์ว (Check Valve)	44
1-11	วิธีการประเมินการปล่อยสารมลพิษ	50
1-12	การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการรั่วระเหยโดยวิธีดึงอากาศผ่านจุดรั่วระเหย (Vacuum Method)	55
1-13	การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการรั่วระเหยโดยวิธีเป่าอากาศผ่านจุดรั่วระเหย (Blow-Through)	56
1-14	ถังหลังคาตึ้งแนวตั้ง (Vertical Fixed Roof Tank)	60
1-15	ถังหลังคาตึ้งแนวนอน (Horizontal Fixed Roof Tanks)	61
1-16	ถังหลังคาลอยภายนอก (External Floating Roof Tanks)	62
1-17	ถังหลังคาลอยภายใน (Internal Floating Roof Tanks)	63
1-18	ถังหลังคาลอยรูปโดมภายนอก (Domed External Floating Roof tank)	63
1-19	ตัวอย่างการระบุระยะต่างๆ ของถังหลังคาตึ้งแนวตั้งที่ใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้า TANK-4	65
2-1	ตัวอย่างการดำเนินการจัดการและควบคุม VOCs โดยเริ่มจากการตั้งคณะกรรมการ	73
2-2	ผังแสดงแสดงถึงผลการวัดสำรวจและการซ่อมบำรุงในกรณีที่มีแผนการวัดสำรวจ 4 ครั้งต่อปี	77
2-3	ผนึกกันรั่วด้วยแรงกลชั้นเดียว (Single Mechanical Seal)	81
2-4	ผนึกกันรั่วด้วยแรงกล 2 ชั้น (Double Mechanical Seal)	81
2-5	ปั๊มที่ไร้ระบบผนึก (Seal-less Pump)	82
2-6	การผนึก (seal) แบบต่างๆ เพื่อป้องกันการรั่วระเหยจากเครื่องอัดอากาศ (compressor)	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2-7	การติดตั้ง Rupture-disk ร่วมกับวาล์วลดความดัน	84
2-8	ผังแสดงระบบเก็บตัวอย่างโดยใช้เทคนิควนสารเข้าในระบบ	85
2-9	วาล์วและการผนึกการรั่ว หรือ seal แบบต่างๆ	85
2-10	ผนึกกันรั่วชั้นเดียวสัมผัสกับก๊าซ	89
2-11	ผนึกกันรั่วแบบสัมผัสกับของเหลว	90
2-12	ผนึกกันรั่วแบบ 2 ชั้น	91
2-13	ช่องทางเข้า (Access hatches)	92
2-14	ลูกลอยวัดระดับ (Gauge-floats)	92
2-15	ช่องวัดระดับ/เก็บตัวอย่าง (Gauge-hatch/sample ports)	93
2-16	ช่องระบายระหว่างฝาถังลอยกับตัวถัง (Rim vents)	93
2-17	ช่องระบายบนฝาถัง (Deck drains)	94
2-18	เสาค้ำฝาถัง (Deck legs)	94
2-19	ช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบไม่เจาะรูและช่องรับ (Unslotted guidepoles and wells)	95
2-20	ช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบมีรูเจาะผ่านและช่องรับ (Slotted (perforated) guidepoles และ wells)	95
2-21	ชุดลดความเป็นสุญญากาศ (vacuum breaker)	96
2-22	ช่องบันได (Ladder well)	97
2-23	การถ่ายสาร VOCs ลงรถและเรือแบบ Top Load	98
2-24	การถ่ายสาร VOCs ลงรถและเรือแบบ Bottom Load	98
2-25	การถ่ายน้ำมันลงถังใต้ดินและมีระบบสมดุลไอ (Vapor Balance)	99
2-26	การใช้ระบบควบคุมที่จุดปล่อยเพื่อควบคุม VOCs จากถังลงรถ	99
2-27	เตาเผาไหม้ตาม (after burner)	101
2-28	ผลของอุณหภูมิกับเวลาและความเร็วของปฏิกิริยา	102
2-29	องค์ประกอบของเตาเผาแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา	103
2-30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและประสิทธิภาพในเตาเผาแบบมีสารเร่งปฏิกิริยา (Pt/AI ₂ O ₃)	103
2-31	รูป Packed Column ที่พบโดยทั่วไป	107
2-32	ระบบการกรองชีวภาพ (Biofiltration)	108
3-1	ตัวอย่างการออกแบบในกระบวนการผลิตเป็นระบบปิด	114
3-2	การทำฝาปิดที่จุดเก็บตัวอย่าง เนื่องจากได้กลิ่น VOCs ขณะเดินสำรวจ	118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-3	การวัดสำรวจการรั่วระเหยและแก้ไขหรือซ่อมบำรุงในเวลาที่กำหนด	119
3-4	ตัวอย่างการหุ้มคลุมปั๊มจนมีลักษณะไม่มีจุดรั่วระเหย	119
3-5	ตัวอย่างการปรับปรุงจุดเก็บตัวอย่างเป็นระบบปิด	120
3-6	เปลี่ยนภาชนะรับสารปล่อยทิ้งเป็นระบบปิด	120
3-7	การอุดผนึกท่อปลายเปิด	121
3-8	ใช้ระบบการเชื่อม (Welding) แทน Flange ในระบบท่อ	121
3-9	วาล์วแบบไม่มีรอยต่อ	122
3-10	วาล์วแบบไม่มีรอยต่อ	122
3-11	แสดงการใช้ปั๊มชนิดไม่มีรอยต่อ	122
3-12	การใช้ปั๊มชนิด double mechanical seal	122
3-13	Rupture Disk สำหรับวาล์วระบายเพื่อลดความดันในระบบ และต่อเข้าระบบปิด	123
3-14	Ground Flare	124
3-15	ตัวอย่าง Thermal Incinerator	124
3-16	ตัวอย่างการใช้ Charcoal Adsorber เพื่อดูดซับไอจากถังเก็บ	125
3-17	ตัวอย่าง VRU ที่เทคนิคการดูดซับแบบ 2 ถัง	126
3-18	แสดงตัวอย่างของ VRU ที่ใช้เทคนิคการดูดกลืน (absorption)	126
3-19	แสดงตัวอย่าง VRU ที่ใช้เทคนิคการควบแน่น (Condensation)	127
3-20	ตัวอย่างการใช้ Charcoal Adsorber เพื่อดูดซับไอจากถังเก็บ	127
3-21	ตัวอย่างการใช้ระบบควบแน่น (Condensation)	128
3-22	ตัวอย่าง Ground Flare	128
3-23	ใช้วิธีการปิดด้วยถุงครอบเพื่อทำให้เป็นระบบปิด	129
3-24	การสูบล้างแบบ Bottom loading	130
3-25	การสูบล้างแบบมี Vapor Return Line	130
3-26	การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย	131
3-27	การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย	132
3-28	การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย	132
3-29	การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย	133
3-30	ตัวอย่างการใช้ ระบบ Charcoal Adsorber และ Wet Scrubber	134
3-31	ตัวอย่างการใช้ระบบ Activated Carbon Adsorber	134
3-32	ระบบ Biotrickling Filter Tank	135

สารบัญรูป (ต่อ)

3-33	ตัวอย่างการเตรียมภาชนะเพื่อบรรจุ VOCs ที่ตกค้างในระบบพร้อมระบบควบคุม	136
3-34	การ Drain VOCs จากหอกลิ้นหรือจาก Vessel เข้ารถ Tank Car	136
3-35	ตัวอย่างการทำ De-contamination โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Spray	137

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	รายชื่อสารที่ยกเว้นไม่นับเป็น VOCs ในความหมายของ “แผนการจัดการด้านอากาศ” ของสหรัฐอเมริกา	2
1-2	รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990	5
1-3	กลุ่ม VOCs เป็นพิษและปรากฏอยู่ในน้ำที่ระบุใน “แผนการจัดการน้ำ (Water Program)”	11
1-4	บัญชีรายชื่อ VOCs ในงานด้านมลพิษทางอากาศในอาคาร	12
1-5	ค่าระดับความเป็นพิษสารอินทรีย์ระเหย 19 สาร ที่ประเทศไทยกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศและค่าเฝ้าระวัง	21
1-6	เกณฑ์การควบคุมการรั่วซึมสารอินทรีย์ระเหยของอุปกรณ์	36
1-7	ลักษณะเครื่องมือวัดที่ผ่านเกณฑ์ วิธีที่ 21 ที่กำหนด โดย US.EPA	37
1-8	ตัวอย่างเครื่องมือวัดที่ผ่านเกณฑ์ วิธีที่ 21 ที่กำหนด โดย US.EPA	38
1-9	ตัวอย่างแบบสำรวจในงานการสำรวจเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์	40
1-10	ตัวอย่างแบบบันทึกขณะการตรวจวัดการรั่ว	45
1-11	ตัวอย่าง Benchmark ของการปล่อย VOCs	47
1-12	สัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs สำหรับอุตสาหกรรมเคลือบผิว	48
1-13	ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่ม SOCM I	51
1-14	ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่มโรงกลั่นและโรงแยกก๊าซ	52
1-15	ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Screening Ranges สำหรับอุตสาหกรรม กลุ่ม SOCM I	53
1-16	ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Screening Ranges สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่มโรงกลั่นและโรงแยกก๊าซ	53
1-17	ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Leak Rate/Screening Value Correlations สำหรับอุตสาหกรรม กลุ่ม SOCM I	54
1-18	ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Leak Rate/Screening Value Correlations สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่มโรงกลั่นโรงแยกก๊าซ	54
1-19	ตัวอย่างผลการวัดการรั่วระเหยเพื่อนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์ (correlation equation)	56
1-20	ตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ (correlation equation) เพื่อกำหนดการปล่อย VOCs	57
1-21	สัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs จากการเผาไหม้ ตามชนิดเชื้อเพลิง และแหล่งกำเนิด	59
1-22	ค่า S Factor สำหรับการขนถ่ายโดยวิธีต่างๆ	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
1-23 ผลการทำบัญชีการปล่อย VOCs จาก กิจกรรมต่างๆของประเทศไทย ในช่วง พ.ศ. 2550 - 2555	71
2-1 ตัวอย่าง มาตรฐานการควบคุมการปล่อย VOCs จากแหล่งกำเนิด โดยใช้การทำบัญชีการปล่อย VOCs ในการประเมินการปล่อย VOCs เทียบกับค่ามาตรฐาน	74
2-2 ตัวอย่างประสิทธิภาพของการควบคุม การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิค LDAR Program สำหรับ อุปกรณ์สำหรับอุตสาหกรรมในกลุ่ม SOCM I	78
2-3 ตัวอย่างประสิทธิภาพของการควบคุม การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิค LDAR Program สำหรับ อุปกรณ์สำหรับกระบวนการกลั่นแยกปิโตรเลียม	78
2-4 ตัวอย่างประสิทธิภาพการลดการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย ของการควบคุม การรั่วระเหย จากอุปกรณ์ สำหรับ วาล์ว และ ป้อน โดยใช้เทคนิค LDAR Program สำหรับอุตสาหกรรม ในกลุ่ม SOCM I	79
2-5 ตัวอย่างประสิทธิภาพการลดการปล่อย VOCs จากโดยเทคนิคต่างๆ สำหรับอุตสาหกรรมในกลุ่ม SOCM I	80
2-6 ประสิทธิภาพของการควบคุม Fugitive Sources	86
2-7 ความสามารถในการดูดซับสำหรับไอสารบางชนิดบน BC-AC activated carbon ^a 6x10 mesh	106
2-8 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบการเผาไหม้โดยตรง	109
2-9 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	109
2-10 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบออกซิเดชัน	110
2-11 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบตัวกรองชีวภาพ	111
2-12 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบสครับบิง	111
2-13 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์	112
2-14 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี	113
2-15 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบการควบแน่น	113
3-1 แหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญของการรั่วระเหยของสาร VOCs จากการปฏิบัติงาน และแนวทางในการควบคุม	115
3-2 แหล่งกำเนิดอื่นที่อาจมีการระเหยของสาร VOCs จากการปฏิบัติงาน และแนวทางในการควบคุม	117

1. ข้อมูลทั่วไป

1.1 VOCs คืออะไร

ในทางวิชาเคมีสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของของแข็งหรือของเหลวที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) เช่น พันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนหรือซัลเฟอร์ ยกเว้น คาร์บอนเตตระคาร์บอน (เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต, CaCO_3) กลุ่มคาร์บอนคาร์ไบด์ (เช่น แคลเซียมคาร์ไบด์, CaC_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbonmonoxide, CO) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide, CO_2) และมีความดันไอ (Vapor Pressure) อย่างมีนัยสำคัญ ณ อุณหภูมิปกติ (มีส่วนที่มีสภาพเป็นก๊าซมากอย่างมีนัยสำคัญ) คือมีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเมื่อระเหยสู่บรรยากาศสามารถคงตัวอยู่ในอากาศได้เป็นระยะเวลานาน

1.2 คำจำกัดความ

จากคำจำกัดความของ VOCs ข้างต้นทำให้สารเคมีในกลุ่มนี้กินขอบเขตกว้างขวางมาก เมื่อรัฐบาลของหลายประเทศมีแนวความคิดในการควบคุมสารกลุ่มนี้ จึงมีการตีความเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมและจัดการ VOCs ที่กำหนดไว้ให้ชัดเจนมากขึ้นสำหรับนำไปปฏิบัติจริง ตัวอย่างเช่นในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีประวัติการจัดการและควบคุมสารกลุ่มนี้มานานและมีขอบเขตในการควบคุมและจัดการจำแนกตามขอบเขต “แผนการจัดการ (program)” ซึ่งมักจำแนกตามตัวกลาง (media) ที่สารกลุ่มนี้ปรากฏอยู่ เช่น

1) คำจำกัดความใน “แผนการจัดการด้านอากาศ (Air Program)” ของสหรัฐอเมริกา

รายละเอียดที่ปรากฏอยู่ใน “แผนการจัดการด้านอากาศ” ของสหรัฐอเมริกากำหนดคำจำกัดความของ VOCs ไว้ว่า “สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) เป็นส่วนหนึ่งของสารประกอบในกลุ่ม ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสามารถอยู่ในสภาพไอได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (โดยการระเหย) และโดยทั่วไปจะหมายถึงสารที่มีองค์ประกอบคาร์บอน ที่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลในบรรยากาศ (ทำให้เกิดโอโซน) ยกเว้น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนิก เมททอลลิคคาร์ไบด์ คาร์บอนเนต และแอมโมเนียมคาร์บอนเนต” ซึ่งมีข้อความที่สำคัญในคำจำกัดความของกฎหมายฉบับนี้คือต้องการควบคุมหรือลดความเข้มข้นของ “ก๊าซโอโซน” ที่ระดับผิวพื้น โดยการควบคุมหรือลดการปล่อยสารที่มีผลต่อการเกิด (precursor) โอโซน ซึ่งจะมีผลให้ความเข้มข้นก๊าซโอโซนที่ระดับผิวพื้นลดลงนั่นเอง

ในระยะเวลาต่อมาหลังการประกาศบังคับใช้กฎหมายฉบับนี้ ได้มีคำร้องขอยกเว้นการควบคุม VOCs ในกลุ่มที่ไม่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาการเกิดโอโซนในระดับผิวพื้น โดยอ้างว่า มี VOCs หลายชนิดที่ไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการเกิดโอโซน ซึ่ง VOCs ในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ คือ กลุ่มฮาโลเจน (Halogen Group) โดยจำนวนชนิดของสาร VOCs ที่ได้รับการยกเว้นยังคงมีการเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบันรายการสารเคมีที่ได้รับการยกเว้นดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1-1 รายชื่อสารที่ยกเว้นไม่นับเป็น VOCs ในความหมายของ “แผนการจัดการด้านอากาศ” ของสหรัฐอเมริกา

1	มีเทน (Methane)
2	อีเทน (Ethane)
3	เมทิลีน คลอไรด์ หรือ ไดคลอโรอีเทน (Methylene chloride หรือ dichloroethane, DCE)
4	1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน หรือ คลอโรฟอร์ม (1,1,1,-trichloroethane หรือ methyl chloroform)
5	1,1,2-ไตรคลอโร-1,2,2-ไตรฟลูออโรอีเทน (1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane หรือ CFC-113)
6	ไตรคลอโรฟลูออโรมีเทน (Trichlorofluoromethane หรือ CFC-11)
7	ไดคลอโรไดฟลูออโรมีเทน (Dichlorodifluoromethane หรือ CFC-12)
8	คลอโรไดฟลูออโรมีเทน (Chlorodifluoromethane หรือ HCFC-22)
9	ไตรฟลูออโรมีเทน (Trifluoromethane หรือ HFC-23)
10	1,2-ไดคลอโร-1,1,2,2-เตตราฟลูออโรอีเทน (1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane หรือ CFC-114)
11	คลอโรเพนตาฟลูออโรอีเทน (Chloropentafluoroethane หรือ CFC-115)
12	1,1,1-ไตรฟลูออโร-2,2-ไดคลอโรอีเทน (1,1,1-trifluoro-2,2-dichloroethane, HCFC-123)
13	1,1,1,2-เตตราฟลูออโรอีเทน (1,1,1,2-tetrafluoroethane, HFC-134a)
14	1,1- ไดคลอโร-1-ฟลูออโรอีเทน (1,1- dichloro-1-fluoroethane, HCFC-141b)
15	1-คลอโร-1-ไดฟลูออโรอีเทน, 1-chloro-1-difluoroethane, HCFC-142b)
16	1-คลอโร-1,1,1,2-เตตราฟลูออโรอีเทน, (1-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane, HCFC-124)
17	เพนตาฟลูออโรอีเทน, (Pentafluoroethane, HFC-125)
18	1,1,2,2-เตตราฟลูออโรอีเทน, (1,1,2,2-tetrafluoroethane, HFC-134)
19	1,1,1-ไตรฟลูออโรอีเทน (1,1,1-trifluoroethane, HFC-143a)
20	1,1-ไดฟลูออโรอีเทน (1,1-difluoroethane, HFC-152a)
21	พาราคลอโรเบนโซไตรฟลูออไรด์, (Parachlorobenzotrifluoride, PCBTF)
22	เมทิลเลต ซิโลเซน ทั้งในรูปโครงสร้างเป็นวง เป็นกิ่ง หรือเป็นเส้น (Cyclic, branched, หรือ linear methylated siloxanes)
23	อะซีโตน (Acetone)
24	เปอร์คลอโรเอททีลีน หรือ เตตราคลอโรเอททีลีน (Perchloroethylene หรือ tetrachloroethylene)
25	3,3-ไดคลอโร-1,1,1,2,2-เพนตาฟลูออโรโพรเพน (3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane, HCFC-225ca)
26	1,3-ไดคลอโร-1,1,1,2,2,3-เพนตาฟลูออโรโพรเพน (1,3-dichloro-1,1,1,2,2,3-pentafluoropropane (HCFC-225cb)

ตารางที่ 1-1 รายชื่อสารที่ยกเว้นไม่นับเป็น VOCs ในความหมายของ “แผนการจัดการด้านอากาศ” ของสหรัฐอเมริกา (ต่อ)

27	1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-เดคาฟลูออโรเพนเทน (1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-decafluoropentane, HFC 43-10mee)
28	ไดฟลูออโรอีเทน (Difluoromethane, -HFC-32)
29	เอทิลฟลูออไรด์ (Ethylfluoride, HFC-161)
30	1,1,1,3,3,3-เฮกซะฟลูออโรโพรเพน (1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane, -HFC-236fa)
31	1,1,2,2,3-เพนตาฟลูออโรโพรเพน (1,1,2,2,3-pentafluoropropane, -HFC-245ca)
32	1,1,2,3,3-เพนตาฟลูออโรโพรเพน (1,1,2,3,3-pentafluoropropane, HFC-245ea)
33	1,1,1,2,3-เพนตาฟลูออโรโพรเพน (1,1,1,2,3- pentafluoropropane, -HFC-245eb)
34	1,1,1,3,3-เพนตาฟลูออโรโพรเพน (1,1,1,3,3,-pentafluoropropane, -HFC-245fa)
35	1,1,1,2,3,3-เฮกซะฟลูออโรโพรเพน (1,1,1,2,3,3-hexafluoropropane, -HFC-236ea)
36	1,1,1,3,3-เพนตาฟลูออโรบิวเทน 1,1,1,3,3-pentafluorobutane, HFC-365mfc)
37	คลอโรฟลูออโรมีเทน (Chlorofluoromethane, -HCF-31)
38	1-คลอโร-1-ฟลูออโรมีเทน (1-chloro-1-fluoroethane, -HCFC-151a)
39	1-2-ไดคลอโร-1,1,2-ไตรฟลูออโรอีเทน (1,2-dichloro-1,1,2-trifluoroethane, -HCFC-123a)
40	1,1,1,2,2,2,3,3,4,4-โนนาฟลูออโร-4-เมททอกซี-บิวเทน (1,1,1,2,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-4-methoxy-butane , C ₄ F ₉ OCH ₃) หรือ HFE-7100)
41	2- (ไดฟลูออโรเมททอกซีเมทิล)-1,1,1,2,3,3,3-เฮปตาฟลูออโรโพรเพน (2-(difluoromethoxymethyl)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane, (CF ₃) ₂ CFCF ₂ OCH ₃)
42	1-อีทอกซี-1,1,2,2,3,3,4,4,4-โนนาฟลูออโรบิวเทน (1-ethoxy-1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutane, (CF ₃) ₂ CFCF ₂ OC ₂ H ₅ หรือ HFE-7200)
43	2-(อีทอกซีไดฟลูออโรเมทิล)-1,1,1,2,3,3,3-เฮปตาฟลูออโรโพรเพน (2-(ethoxydifluoromethyl)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane, (CF ₃) ₂ CFCF ₂ OC ₂ H ₅)
44	เมมทิลอะซิเตท (methyl acetate), 1,1,1,2,2,3,3-เฮปตาฟลูออโร-3-เมททอกซี-โพรเพน (heptafluoro-3-methoxy-propane), 1,1,1,2,2,3,3-เฮปตาฟลูออโร-3-เมททอกซี-โพรเพน (1,1,1,2,2,3,3-heptafluoro-3-methoxy-propane,n-C ₃ F ₇ OCH ₃ หรือ HFE-7000), 1,1,1,2,3,3,3-เฮปตาฟลูออโร-3-เมททอกซี-โพรเพน (1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane, HFC 227ea), เมทิลฟอร์มเมท (methyl formate, HCOOCH ₃), (1) 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-เดคาฟลูออโร-3-เมททอกซี-4-ไตรฟลูออโรเมทิล-เพนเทน ((1) 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-3-methoxy-4-trifluoromethyl-pentane หรือ HFE-7300)
45	โพรพิลีน คาร์บอเนต (Propylene carbonate)

ตารางที่ 1-1 รายชื่อสารที่ยกเว้นไม่นับเป็น VOCs ในความหมายของ “แผนการจัดการด้านอากาศ” ของสหรัฐอเมริกา (ต่อ)

46	ไดเมทิลคาร์บอเนต (Dimethyl carbonate)
47	เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน ในกลุ่มต่อไปนี้ (i) ฟลูออริเนท อัลเคน ทั้งในรูปโครงสร้างเป็นวง เป็นกิ่ง หรือเป็นเส้น (fluorinated alkanes) (ii) ฟลูออริเนท อีเทอร์ ทั้งในรูปโครงสร้างเป็นวง เป็นกิ่ง หรือเป็นเส้น (fluorinated ethers) (iii) ฟลูออริเนท เตอเชียรี เอมีน ทั้งในรูปโครงสร้างเป็นวง เป็นกิ่ง หรือเป็นเส้น (fluorinated tertiary amines) (iv) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนที่มีซัลเฟอร์ ที่ไม่มีพันธะไม่อิ่มตัว และ ซัลเฟอร์มีพันธะกับเฉพาะคาร์บอนและฟลูออรีน

ที่มา : U.S. Code of Federal Regulations (CFR). 2009.

2) คำจำกัดความสำหรับ VOCs ใน “แผนจัดการสารพิษทางอากาศ (Toxic Air Program)” ของสหรัฐอเมริกา

บทบัญญัติใน “แผนจัดการสารพิษทางอากาศ” ของสหรัฐอเมริกา ให้คำจำกัดความของสารพิษทางอากาศเอาไว้ว่า “สารพิษทางอากาศ (Hazardous air pollutants) หรือ มลพิษทางอากาศที่เป็นพิษ (toxic air pollutants or air toxics) คือมลพิษในอากาศที่เป็นสารก่อมะเร็งหรือมีผลกระทบต่อสุขภาพร้ายแรง เช่น ทำให้เกิดการพิการของเด็กแรกเกิด หรือมีผลร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์” โดยทั่วไป สารพิษทางอากาศ (hazardous air pollutants, HAPs) คือสารมลพิษทางอากาศซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งและผลกระทบอื่นๆ ที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยในปี 1990 “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act, CAA)” ของสหรัฐอเมริกา ฉบับแก้ไขได้มีการระบุเจาะจงถึงสารประกอบทั้งสิ้น 189 ชนิด ที่อยู่ในกลุ่มของสารพิษทางอากาศ ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency, US. EPA) ต้องดำเนินการควบคุมและจัดทำข้อกำหนดเพื่อการจัดการและควบคุม แต่ที่สำคัญคือในจำนวนสารพิษทางอากาศ 189 ชนิดนั้น ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหย หรือ VOCs รายชื่อสารพิษทางอากาศในกฎหมายดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990

ลำดับที่	CAS No.	จัดเป็น VOCs	สารพิษทางอากาศ
1	75-07-0	VOC	อะเซตตาลดีไฮด์ (Acetaldehyde)
2	60-35-5	VOC	อะเซตตามิโด (Acetamide)
3	75-05-8	VOC	อะซีโตไนไตรล์ (Acetonitrile)
4	98-86-2	VOC	อะซีโตฟีโนน (Acetophenone)

ตารางที่ 1-2 รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990 (ต่อ)

ลำดับที่	CAS No.	จัดเป็น VOCs	สารพิษทางอากาศ
5	53-96-3	VOC	2-อะซีติลลามิโนฟลูออรีน (2-Acetylaminofluorene)
6	107-02-8	VOC	อะโครเลอิน (Acrolein)
7	79-06-1	VOC	อะคริลาไมด์ (Acrylamide)
8	79-10-7	VOC	อะคริลิก แอซิด (Acrylic acid)
9	107-13-1	VOC	อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile)
10	107-05-1	VOC	อัลลิล คลอไรด์ (Allyl chloride)
11	92-67-1	VOC	4-อะมิโนไบเฟนนิล (4-Aminobiphenyl)
12	62-53-3	VOC	อะนิลีน (Aniline)
13	90-04-0	VOC	ออร์โธ-อะนิซิดีน (o-Anisidine)
14	1332-21-4		แอสเบสตอส (Asbestos)
15	71-43-2	VOC	เบนซีน รวมถึง เบนซีนจากน้ำมันเบนซิน (Benzene)
16	92-87-5	VOC	เบนซิไดน์ (Benzidine)
17	98-07-7	VOC	เบนโซไตรคลอไรด์ (Benzotrichloride)
18	100-44-7	VOC	เบนซิล คลอไรด์ (Benzyl chloride)
19	92-52-4	VOC	ไบเฟนนิล (Biphenyl)
20	117-81-7	VOC	บิส (2-เอทิลเฮกซิล) พทาเลต (Bis(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP)
21	542-88-1	VOC	บิส (คลอโรเมทิล) อีเทอร์ (Bis(chloromethyl) ether)
22	75-25-2	VOC	โบรมอฟอร์ม (Bromoform)
23	106-99-0	VOC	1,3-บิวตาไดเอน (1,3-Butadiene)
24	156-62-7	VOC	แคลเซียม ไฮยানাไมด์ (Calcium cyanamide)
25	105-60-2	VOC	คาโพรแลคแตม (Caprolactam)
26	133-06-2	VOC	แคปแทน (Captan)
27	63-25-2	VOC	คาร์บาริล (Carbaryl)
28	75-15-0	VOC	คาร์บอน ไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide)
29	56-23-5	VOC	คาร์บอน เตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride)
30	463-58-1	VOC	คาร์บอนิล ซัลไฟด์ (Carbonyl sulfide)
31	120-80-9	VOC	แคตเตคอล (Catechol)
32	133-90-4	VOC	คลอแรมเบน (Chloramben)
33	57-74-9	VOC	คลอแดน (Chlordane)
34	7782-50-5	VOC	คลอรีน (Chlorine)
35	79-11-8	VOC	คลอโรอะเซติก แอซิด (Chloroacetic acid)
36	532-27-4	VOC	2-คลอโรอะซีโตฟีโนน (2-Chloroacetophenone)
37	108-90-7	VOC	คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene)
38	510-15-6	VOC	คลอโรเบนซิลเลต (Chlorobenzilate)

ตารางที่ 1-2 รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990 (ต่อ)

ลำดับที่	CAS No.	จัดเป็น VOCs	สารพิษทางอากาศ
39	67-66-3	VOC	คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
40	107-30-2	VOC	คลอโรเมทิล เมทิล อีเทอร์ (Chloromethyl methyl ether)
41	126-99-8	VOC	คลอโรพรีน (Chloroprene)
42	1319-77-3	VOC	ครีซอล/ครีซิลิก แอซิด ทุก ไอโซเมอร์ (Cresol/Cresylic acid)
43	95-48-7	VOC	ออร์โท-ครีซอล (o-Cresol)
44	108-39-4	VOC	เมตา-ครีซอล (m-Cresol)
45	106-44-5	VOC	พารา-ครีซอล (p-Cresol)
46	98-82-8	VOC	คิวมิน (Cumene)
47	N/A	VOC	2,4-D (ไดคลอโรฟีนอกซีอะซีติก แอซิด) รวมถึงเกลือ และ เอสเทอร์ (2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid)
48	72-55-9	VOC	DDE (1,1'-ไดคลอโร-2,2-บิส(p-คลอโรเฟนิล) เอททีลีน) (DDE (1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl) ethylene)
49	334-88-3	VOC	ไดอะโซมีเทน (Diazomethane)
50	132-64-9	VOC	ไดเบนโซฟูแรน (Dibenzofuran)
51	96-12-8	VOC	1,2-ไดโบรม-3-คลอโรโพรเพน (1,2-Dibromo-3-chloropropane)
52	84-74-2	VOC	ไดบิวทิล ฟทาเลต (Dibutyl phthalate)
53	106-46-7	VOC	1,4-ไดคลอโรเบนซีน (1,4-Dichlorobenzene)
54	91-94-1	VOC	3,3'-ไดคลอโรเบนซิดีน (3,3'-Dichlorobenzidine)
55	111-44-4	VOC	ไดคลอโรเอทิล อีเทอร์ หรือ บิส(2-คลอโรเอทิล)อีเทอร์ (Dichloroethyl ether หรือ Bis(2-chloroethyl)ether
56	542-75-6	VOC	1,3-ไดคลอโรโพรเพน (1,3-Dichloropropene)
57	62-73-7	VOC	ไดคลอโรวอส (Dichlorvos)
58	111-42-2	VOC	ไดเอทานอลามีน (Diethanolamine)
59	64-67-5	VOC	ไดเอทิล ซัลเฟต (Diethyl sulfate)
60	119-90-4	VOC	3,3'-ไดเมทอกซีเบนซิดีน (3,3'-Dimethoxybenzidine)
61	60-11-7	VOC	4-ไดเมทิลลามิโนอาโซเบนซีน (4-Dimethylaminoazobenzene)
62	121-69-7	VOC	N,N-ไดเมทิลลานิลีน (N,N-Dimethylaniline)
63	119-93-7	VOC	3,3'-ไดเมทิลเบนซิดีน (3,3'-Dimethylbenzidine)
64	79-44-7	VOC	ไดเมทิลคาร์บาไมล คลอไรด์ (Dimethylcarbamoyl chloride)
65	68-12-2	VOC	N,N-ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (N,N-Dimethylformamide)
66	57-14-7	VOC	1,1-ไดเมทิลดราไซด์ (1,1-Dimethylhydrazine)
67	131-11-3	VOC	ไดเมทิล ฟทาเลต (Dimethyl phthalate)
68	77-78-1	VOC	ไดเมทิลซัลเฟต (Dimethyl sulfate)
69	N/A	VOC	4,6-ไดไนโตร-ออร์โท-ครีซอล รวมทั้งเกลือของสารนี้ (4,6-Dinitro-o-cresol)

ตารางที่ 1-2 รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990 (ต่อ)

ลำดับที่	CAS No.	จัดเป็น VOCs	สารพิษทางอากาศ
70	51-28-5	VOC	2,4-ไดไนโตรฟีนอล (2,4-Dinitrophenol)
71	121-14-2	VOC	2,4-ไดไนโตรโทลูอีน (2,4-Dinitrotoluene)
72	123-91-1	VOC	1,4-ไดออกเซน หรือ 1,4-ไดเอทิลีนออกไซด์ (1,4-Dioxane หรือ 1,4-Diethyleneoxide)
73	122-66-7	VOC	1,2-ไดเฟนิลไฮดราซีน (1,2-Diphenylhydrazine)
74	106-89-8	VOC	เอพิคลอโรไฮดริน หรือ 1-คลอโร-2,3-อีพอกซีโพรเพน (Epichlorohydrin หรือ 1-Chloro-2,3-epoxypropane)
75	106-88-7	VOC	1,2-อีพอกซีบิวเทน (1,2-Epoxybutane)
76	140-88-5	VOC	เอทิล อคริเลต (Ethyl acrylate)
77	100-41-4	VOC	เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)
78	51-79-6	VOC	เอทิล คาร์บาเมต หรือ ยูรีเทน (Ethyl carbamate หรือ Urethane)
79	75-00-3	VOC	เอทิลคลอไรด์ หรือ คลอโรเอเทน (Ethyl chloride หรือ Chloroethane)
80	106-93-4	VOC	เอทิลีน ไดโบรไมด์ หรือ ไดโบรโมเอเทน (Ethylene dibromide หรือ Dibromoethane)
81	107-06-2	VOC	เอทิลีนไดคลอไรด์ หรือ 1,2-ไดคลอโรเอเทน (Ethylene dichloride หรือ 1,2-Dichloroethane)
82	107-21-1	VOC	เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene glycol)
83	151-56-4	VOC	เอทิลีนอิมีน หรือ อาซิไรดิน (Ethyleneimine หรือ Aziridine)
84	75-21-8	VOC	เอทิลีน ออกไซด์ (Ethylene oxide)
85	96-45-7	VOC	เอทิลีน ไทโอยูเรีย (Ethylene thiourea)
86	75-34-3	VOC	เอทิลีนไดคลอไรด์ หรือ 1,1-ไดคลอโรเอเทน (Ethylidene dichloride หรือ 1,1-Dichloroethane)
87	50-00-0	VOC	ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)
88	76-44-8	VOC	เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)
89	118-74-1	VOC	เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)
90	87-68-3	VOC	เฮกซะคลอโรบิวตาไดอีน (Hexachlorobutadiene)
91	N/A	VOC	1,2,3,4,5,6-เฮกซะคลอโรไซโครเฮกเซน รวมสเตอริโอไอโซเมอร์ทั้งหมด และ ลินเดน (1,2,3,4,5,6-Hexachlorocyclohexane)
92	77-47-4	VOC	เฮกซะคลอโรไซโครเพนตาไดอีน (Hexachlorocyclopentadiene)
93	67-72-1	VOC	เฮกซะคลอโรเอเทน (Hexachloroethane)
94	822-06-0	VOC	เฮกซะเมทิลีน ไดไอโซไซยานาต (Hexamethylene diisocyanate)
95	680-31-9	VOC	เฮกซะเมทิลฟอสโฟราไมด์ (Hexamethylphosphoramide)
96	110-54-3	VOC	เฮกเซน (Hexane)
97	302-01-2	VOC	ไฮดราซีน (Hydrazine)

ตารางที่ 1-2 รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990 (ต่อ)

ลำดับที่	CAS No.	จัดเป็น VOCs	สารพิษทางอากาศ
98	7647-01-0		ไฮโดรคลอริก แอซิด หรือ ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrochloric acid หรือ Hydrogen Chloride)
99	7664-39-3		ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ หรือ ไฮโดรฟลูออริก แอซิด (Hydrogen fluoride หรือ Hydrofluoric acid)
100	123-31-9	VOC	ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone)
101	78-59-1	VOC	ไอโซโฟรอน (Isophorone)
102	108-31-6	VOC	มาลเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride)
103	67-56-1	VOC	เมทานอล (Methanol)
112	624-83-9	VOC	เมทิลไอโซไซยาเนต (Methyl isocyanate)
113	80-62-6	VOC	เมทิล เมทาคริเลต (Methyl methacrylate)
114	1634-04-4	VOC	เมทิล เทอร์-บิวทิล อีเทอร์ (Methyl tert-butyl ether)
115	101-14-4	VOC	4,4'-เมทิลีนบิส หรือ 2-คลอโรอานิลีน (4,4'-Methylenebis หรือ 2-chloroaniline)
116	75-09-2	VOC	เมทิลีนคลอไรด์ หรือ ไดคลอโรมีเทน (Methylene chloride หรือ Dichloromethane)
117	101-68-8	VOC	4,4'-เมทิลีนไดเฟนิล ไดไอโซไซยาเนต (4,4'-Methylenediphenyl diisocyanate, MDI)
118	101-77-9	VOC	4,4'-เมทิลีนไดอานิลีน (4,4'-Methylenedianiline)
119	91-20-3	VOC	แนฟทาลีน (Naphthalene)
120	98-95-3	VOC	ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene)
121	92-93-3	VOC	4-ไนโตรไบเฟนิล (4-Nitrobiphenyl)
122	100-02-7	VOC	4-ไนโตรฟีนอล (4-Nitrophenol)
123	79-46-9	VOC	2-ไนโตรโพรเพน (2-Nitropropane)
124	684-93-5	VOC	N-ไนโตรโซ-N-เมทิลยูเรีย (N-Nitroso-N-methylurea)
125	62-75-9	VOC	N-ไนโตรโซไดเมทิลลามีน (N-Nitrosodimethylamine)
126	59-89-2	VOC	N-ไนโตรโซมอร์โพลีน (N-Nitrosomorpholine)
127	56-38-2	VOC	พาราไทออน (Parathion)
128	82-68-8	VOC	เพนตาคลอโรไนโตรเบนซีน หรือ ควินโตเบนซีน (Pentachloronitrobenzene หรือ Quintobenzene)
129	87-86-5	VOC	เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)
130	108-95-2	VOC	ฟีนอล (Phenol)
131	106-50-3	VOC	พารา-เฟนิลีนไดอามีน (p-Phenylenediamine)
132	75-44-5	VOC	ฟอสจีน (Phosgene)
133	7803-51-2	VOC	ฟอสฟีน (Phosphine)
134	7723-14-0		ฟอสฟอรัส (Phosphorus)
135	85-44-9	VOC	พทาสิก แอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride)
136	1336-36-3	VOC	โพลีคลอริเนตเตดไบเฟนิล หรือ อารอคลอร์ (Polychlorinated biphenyls หรือ Aroclors)

ตารางที่ 1-2 รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990 (ต่อ)

ลำดับที่	CAS No.	จัดเป็น VOCs	สารพิษทางอากาศ
137	1120-71-4	VOC	1,3-โปรเพน ซัลไทน์ (1,3-Propane sultone)
138	57-57-8	VOC	เบตา-โปรปิโอแลคโตน (beta-Propiolactone)
139	123-38-6	VOC	โปรปิโอนัลดีไฮด์ (Propionaldehyde)
140	114-26-1	VOC	โปรพอกเซอร์ หรือ ไบกอง (Propoxur หรือ Baygon)
141	78-87-5	VOC	โปรปีลีน ไดคลอไรด์ หรือ 1,2-ไดคลอโรโปรเพน (Propylene dichloride หรือ 1,2-Dichloropropane)
142	75-56-9	VOC	โปรปีลีน ออกไซด์ (Propylene oxide)
143	75-55-8	VOC	1,2-โปรปีลีนมีน หรือ 2-เมทิลลาซิรีดีน (1,2-Propylenimine หรือ 2-Methylaziridine)
144	91-22-5	VOC	ควิโนลีน (Quinoline)
145	106-51-4	VOC	ควิโนน หรือ พารา-เบนโซควิโนน (Quinone หรือ p-Benzoquinone)
146	100-42-5	VOC	สไตรีน (Styrene)
147	96-09-3	VOC	สไตรีน ออกไซด์ (Styrene oxide)
148	1746-01-6	VOC	2,3,7,8-เตตราคลอโรไดเบนโซ-พารา-ไดออกซิน (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin)
149	79-34-5	VOC	1,1,2,2-เตตราคลอโรอีเทน (1,1,2,2-Tetrachloroethane)
150	127-18-4	VOC	เตตราคลอโรเอทิลีน หรือ เปอร์คลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene หรือ Perchloroethylene)
151	7550-45-0		ไททาเนียม เตตราคลอไรด์ (Titanium tetrachloride)
152	108-88-3	VOC	โทลูอีน (Toluene)
153	95-80-7	VOC	โทลูอีน-2,4-ไดเอมีน (Toluene-2,4-diamine)
154	584-84-9	VOC	2,4-โทลูอีน ไดไอโซไซยาเนต (2,4-Toluene diisocyanate)
155	95-53-4	VOC	ออร์โท-โทลูอิดีน (o-Toluidine)
156	8001-35-2	VOC	ทอกซาฟีน หรือ คลอรีเนตเตด แคมฟีน (Toxaphene หรือ chlorinated camphene)
157	120-82-1	VOC	1,2,4-ไตรคลอโรเบนซีน (1,2,4-Trichlorobenzene)
158	79-00-5	VOC	1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)
159	79-01-6	VOC	ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)
160	95-95-4	VOC	2,4,5-ไตรคลอโรฟีนอล (2,4,5-Trichlorophenol)
161	88-06-2	VOC	2,4,6-ไตรคลอโรฟีนอล (2,4,6-Trichlorophenol)
162	121-44-8	VOC	ไตรเอทิลลามีน (Triethylamine)
163	1582-09-8	VOC	ไตรฟลูรัลีน (Trifluralin)
164	540-84-1	VOC	2,2,4-ไตรเมทิลเพนเทน (2,2,4-Trimethylpentane)
165	108-05-4	VOC	ไวนิล อะซิเตต (Vinyl acetate)
166	593-60-2	VOC	ไวนิลโบรมได์ (Vinyl bromide)
167	75-01-4	VOC	ไวนิล คลอไรด์ (Vinyl chloride)

ตารางที่ 1-2 รายชื่อสารพิษทางอากาศตาม “กฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act)” ฉบับแก้ไขปี 1990 (ต่อ)

ลำดับที่	CAS No.	จัดเป็น VOCs	สารพิษทางอากาศ
168	75-35-4	VOC	ไวนิลิดีน คลอไรด์ หรือ 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (Vinylidene chloride หรือ 1,1-Dichloroethylene)
169	1330-20-7	VOC	ไซลีน รวมทุกไอโซเมอร์ (Xylenes)
170	95-47-6	VOC	ออร์โท-ไซลีน (o-Xylene)
171	108-38-3	VOC	เมตา-ไซลีน (m-Xylene)
172	106-42-3	VOC	พารา-ไซลีน (p-Xylene)
173	N/A		สารประกอบ แอนติโมนี (Antimony Compounds)
174	N/A		สารประกอบ อาซีนิก รวมถึง อาซายน์ (Arsenic Compounds รวมถึง arsine)
175	N/A		สารประกอบ เบริลเลียม (Beryllium Compounds)
176	N/A		สารประกอบแคดเมียม (Cadmium Compounds)
177	N/A		สารประกอบโครเมียม (Chromium Compounds)
178	N/A		สารประกอบโคบอลต์ (Cobalt Compounds)
179	N/A		มลพิษจากเตาโค้ก (Coke Oven Emissions)
180	N/A	VOC	สารประกอบไซยาไนด์ (Cyanide Compounds)
181	N/A	VOC	ไกลคอล อีเทอร์ (Glycol Ethers)
182	N/A		สารประกอบตะกั่ว (Lead Compounds)
183	N/A		สารประกอบแมงกานีส (Manganese Compounds)
184	N/A		สารประกอบปรอท (Mercury Compounds)
185	N/A		เส้นใยแร่ธาตุละเอียด (Fine Mineral Fibers)
186	N/A		สารประกอบนิกเกิล (Nickel Compounds)
187	N/A	VOC	สารอินทรีย์กลุ่มโพลีไซคลิก (Polycyclic Organic Matter)
188	N/A		อนุภาคกัมมันตรังสี รวมทั้ง เรดอน (Radionuclides และ radon)
189	N/A		สารประกอบ เซเลเนียม Selenium Compounds

ที่มา: David R. Patrick, 1994.

จากบัญชีรายชื่อข้างต้นนี้พบว่าจะมี VOCs ที่อยู่ในคำจำกัดความของ กฎหมายอากาศสะอาด (Air Program) ปรากฏอยู่ในบัญชีรายชื่อนี้ประมาณ 70 ชนิด จากรายชื่อ HAPs ทั้งหมด 189 ชนิด แต่จัดเป็น VOCs ตามคำจำกัดความของ VOCs ทางเคมีประมาณ 150 ชนิด

3) คำจำกัดความสำหรับ VOCs ใน “แผนการจัดการน้ำ (Water Program)” ของสหรัฐอเมริกา

คำจำกัดความในขอบเขตงานนี้คือ “สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) เป็นสารปนเปื้อนที่อาจพบในแหล่งน้ำสำหรับน้ำดื่มทั่วประเทศ โดย VOCs เป็นสารเคมีอินทรีย์ เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้าและ สารเคมีอื่นๆ ซึ่ง

สามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ” ในคำจำกัดความนี้จึงระบุเฉพาะเพียงกลุ่ม VOCs ที่เป็นพิษและปรากฏอยู่ในน้ำโดยเฉพาะน้ำใต้ดิน ซึ่งใน แผนการจัดการนี้ได้ระบุบัญชีรายชื่อสารเคมีที่อยู่ในแผนการจัดการน้ำไว้อย่างชัดเจนในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 กลุ่ม VOCs เป็นพิษและปรากฏอยู่ในน้ำที่ระบุใน “แผนการจัดการน้ำ (Water Program)”

อะลาคลอ (Alachlor)	อะทราซีน (Atrazine)	เบนซีน (Benzene)
โบรมोไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane)	โบรมอฟอร์ม (Bromoform)	คาร์โบฟูแรน (Carbofuran)
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene)	คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
Chloropicrin (คลอโรพิกคริน)	2,4 ดี (2,4-D)	ไดโบรมอคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane, THM)
ไดโบรมอคลอโรมีเทน Dibromochloropropane (DBCP)	ออร์โท-ไดคลอโรเบนซีน (o-Dichlorobenzene)	พารา-ไดคลอโรเบนซีน (p-Dichlorobenzene)
1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)
ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	1,2-ไดคลอโรโพรเพน (1,2-Dichloropropane)	ซิส-1,3-ไดคลอโรโพรพิลีน (cis-1,3-Dichloropropylene)
ไดโนเซบ (Dinoseb)	Endrin (เอนดริน)	Ethylbenzene (เอทิลเบนซีน)
เอทิลีนไดโบรมไนด์ (Ethylene Dibromide, EDB)	ฮาโลอะซิโตไนตริล (Haloacetonitriles, HAN): โบรมอคลอโรอะซิโตไนตริล (bromochloroacetonitrile), ไดโบรมอคลอโรอะซิโตไนตริล (dibromoacetonitrile), ไดคลอโรอะซิโตไนตริล (dichloroacetonitrile), ไตรคลอโรอะซิโตไนตริล (trichloroacetonitrile)	ฮาโลคีโตน (Haloketones, HK): 1,1-ไดคลอโร-2-โพรพานอน (1,1-dichloro-2-propanone) 1,1,1-ไตรคลอโร-2-โพรพานอน (1,1,1-trichloro-2-propanone)
เฮปตาคลอ (Heptachlor)	เฮปตาคลอ เอพออกไซด์ (Heptachlor Epoxide)	เฮกซะคลอโรบิวตาไดเอิน (Hexachlorobutadiene)
เฮกซะคลอโรไซโครเพนตาไดเอิน (Hexachlorocyclopentadiene)	ลินเดน (Lindane)	เมททอกซีคลอ (Methoxychlor)

ตารางที่ 1-3 กลุ่ม VOCs เป็นพิษและปรากฏอยู่ในน้ำที่ระบุใน “แผนการจัดการน้ำ (Water Program)” (ต่อ)

เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	ไซมาซีน (Simazine)	สไตรีน (Styrene)
1,1,2,2-เตตราคลอโรอีเทน (1,1,2,2-Tetrachloroethane)	เตตราคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	ไตรโบรโมอะซีติก แอซิด (Tribromoacetic acid)
โทลูอีน (Toluene)	2,4,5-TP (silvex)	1,2,4-Trichlorobenzene
1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)
ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes)	ไซลีน (ทั้งหมด) (Xylenes, total)	

ที่มา: David R. Patrick, 1994.

4) คำจำกัดความของ VOCs ใน งานด้านมลพิษทางอากาศในอาคาร (Indoor Air Quality, IQA) ของสหรัฐอเมริกา

คำจำกัดความในขอบเขตงานนี้คือสารมลพิษทางอากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ทั้งในกรณีปรากฏผลในระยะเฉียบพลันหรือระยะเรื้อรังที่ปรากฏพบบ่อยภายในอาคาร ซึ่งในขอบเขตงานนี้ได้ระบุบัญชีรายชื่อไว้ในตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4 บัญชีรายชื่อ VOCs ในงานด้านมลพิษทางอากาศในอาคาร

อะซีติก แอซิด (Acetic Acid)	เอทิล อะซีเตต (Ethyl Acetate)	ไนโตรอีเทน (Nitroethane)
อะซีโตน (Acetone)	เอทิล แอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)	ไนโตรมีเทน (Nitromethane)
อะเซทิลีน (Acetylene)	เอทิล คลอไรด์ (Ethyl Chloride)	เพนทิลลามีน (Pentylamine)
เอมิลแอลกอฮอล์ (Amyl Alcohol)	เอทิล ไซยาไนด์ (Ethyl Cyanide)	เพนทิลีน (Pentylene)
เบนซีน (Benzene)	เอทิล ฟอร์มेट (Ethyl Formate)	โพรเพน (Propane)
บิวเทน (Butane)	เอทิล โพรปิโนเอต (Ethyl Propionate)	โพรพินาลดีไฮด์ (Propionaldehyde)
บิวทิล แอลกอฮอล์ (Butyl Alcohol)	เอทิลีน (Ethylene)	โพรพิลแอลกอฮอล์ (Propyl Alcohol)
บิวทิล ฟอร์มेट (Butyl Formate)	เอทิลีน ออกไซด์ (Ethylene Oxide)	ไอโซโพรพิลคลอไรด์ (i-Propyl Chloride)
บิวทิลลามีน (Butylamine)	ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	โพรพิลไซยาไนด์ (Propyl Cyanide)
บิวทิลีน (Butylene)	ฟอร์มิก แอซิด (Formic Acid)	โพรพิลฟอร์มेट (Propyl Formate)
คาร์บอน เตตราคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	เฮปเทน (Heptane)	โพรพิลลามีน (Propylamine)

ตารางที่ 1-4 บัญชีรายชื่อ VOCs ในงานด้านมลพิษทางอากาศในอาคาร (ต่อ)

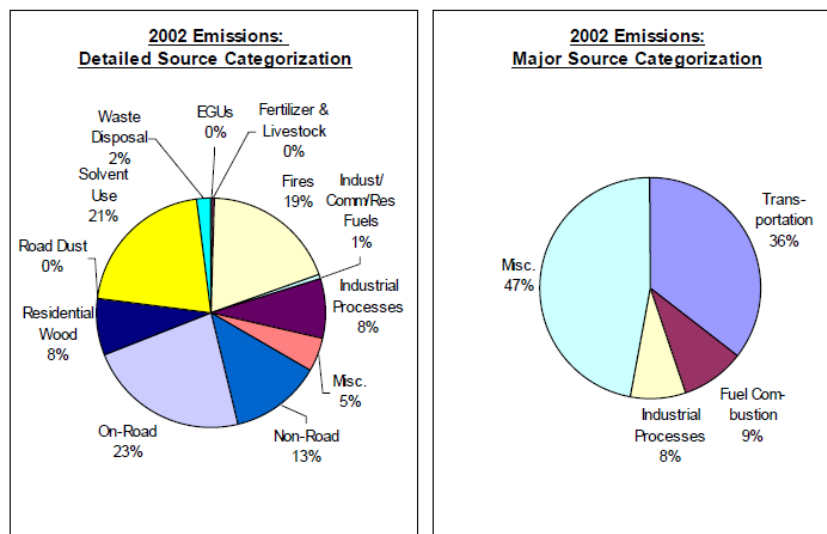
คลอโร เบนซีน (Chloro Benzene)	ไอโซ บิวเทน (Iso-Butane)	โพรไพลีน (Propylene)
คลอโร ไซโคร เฮกเซน (Chloro Cyclo Hexane)	เฮกซิลแอลกอฮอล์ (Hexyl Alcohol)	เตอเชียรี บิวทิล แอลกอฮอล์ (Tertiary Butyl Alcohol)
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	เมทิล โปรปิล คีโตน (Methyl Propyl Ketone)	เตตราคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)
คลอโรเฮกเซน (Cyclohexane)	เมทิลีนคลอไรด์ (Methylene Chloride)	โทลูอีน (Toluene)
1-ไดคลอโรอีเทน (1-Dichloroethane)	มีเทน (Methane)	1,1,2- ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)
1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	เมทิล แอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol)	ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)
ไดเอทิล คีโตน (Diethyl Ketone)	เมทิล คลอไรด์ (Methyl Chloride)	ไตรเอทิลลามีน (Triethylamine)
ไดเอทิลลามีน (Diethylamine)	เมทิล คลอโรฟอร์ม (Methyl Chloroform)	ไซลีน (Xylene)
อีเทน (Ethane)	เมทิลไซยาไนด์ (Methyl Cyanide)	
ไอโซโพรปิล อะซิเตต (Isopropyl Acetate)	เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl Ethyl Ketone)	

ที่มา: David R. Patrick, 1994.

1.3 แหล่งกำเนิด VOCs

แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยมีทั้งที่เป็นแหล่งกำเนิดที่ทราบตำแหน่งแน่นอน (Point Source) แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area Source) และแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ (Mobile Source) โดยแหล่งกำเนิดเหล่านี้ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมจากบ้านเรือนและอุตสาหกรรม ซึ่งมีทั้งแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี โรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมและโรงงานผลิตไฟฟ้าและแหล่งกำเนิดขนาดเล็ก เช่น ร้านซักแห้ง เป็นต้น

จากการศึกษาขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US. EPA) ในปี 2002 พบว่า มีแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญรวม 10 แหล่ง แสดงดังรูปที่ 1-1 โดยสัดส่วนการปล่อย VOCs โดยมวลที่สูงที่สุดมาจากแหล่งกำเนิดชนิดเคลื่อนที่ สัดส่วนที่รองลงมาก็คือจากการใช้ตัวทำละลายต่างๆ



รูปที่ 1-1 แหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่สำคัญ

ที่มา : US. EPA, 2002.

นอกจากนี้ US. EPA ยังสรุปกิจกรรมที่มีการปล่อย VOCs อย่างมีนัยสำคัญไว้บ้างแล้ว คือ

1. อุตสาหกรรมเคลือบผิว
2. อุปกรณ์ในกลุ่มเตาเผาที่ใช้ในโอกาสต่างๆ
3. โรงกลั่นน้ำมัน (จากหน่วยผลิตบางหน่วย)
4. ถังกักเก็บสาร VOCs ขนาดความจุมากกว่า 40,000 แกลลอนขึ้นไป
5. ถังกักเก็บสาร VOCs ขนาดความจุต่ำกว่าหรือเท่ากับ 40,000 แกลลอนขึ้นไป
6. โรงกลั่นน้ำมัน (จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์)
8. คลังกักเก็บน้ำมันเบนซิน
9. ถังกักเก็บน้ำมันเบนซินขนาดเล็ก (ที่มีการควบคุมระดับที่ 1)
10. กระบวนการล้างกรีซออกจากผิว
11. การลาดผิวด้วยแอสฟัลต์
12. กระบวนการผลิตเอททีลีน
13. ศิลปกรรมการพิมพ์ Graphic arts systems
14. ระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม
15. การผลิตยางรถ
16. การผลิตสารอินทรีย์สังเคราะห์และโพลีเมอร์ (การรั่วระเหยจากอุปกรณ์)
17. การผลิตสารลดแรงตึงผิว
18. การผลิตยานอวกาศและการซ่อมบำรุง
19. การผลิตและซ่อมบำรุงอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เคลื่อนย้ายได้

1.4 ความเป็นพิษและกลไกการเกิดพิษของ VOCs

1.4.1 VOCs เป็นสารตั้งต้นการเกิดโอโซนที่ระดับผิวพื้น

โอโซนเป็นสารมลพิษซึ่งเกิดขึ้นภายหลัง (Secondary Pollutants, II) เกิดจากปฏิกิริยา Photochemical Reaction ระหว่าง NO_x และ VOCs เมื่อมีแสงแดดจัด ยกตัวอย่างเช่นในเขตเมืองจะมี VOCs ที่เผาไหม้ไม่หมดจากรถยนต์กับออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อมีแสงแดดจะทำปฏิกิริยาได้สารประเภท Photochemical Oxidants ซึ่งมีโอโซนและ Peroxyacetylnitrate (PAN) เป็นองค์ประกอบหลัก สารประเภท Photochemical Oxidants ที่ได้จากปฏิกิริยานี้เป็นกลุ่มของสารเคมีซึ่งส่วนใหญ่จะมีผลต่อการทำลายสิ่งแวดล้อมและมีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

Photochemical Oxidants หมายถึง Oxidizing Agents เช่น โอโซน (O_3) เปอร์ออกซีอะซีไคลโนเตรต (Peroxyacetylnitrate, PAN) เปอร์ออกซีเบนโซอิลไนเตรต (Peroxybenzoyl Nitrate, PBN) และสารอื่นๆ ซึ่งสามารถ ออกซิไดซ์อนุมูลไฮโดรเจนในสารละลายไปแต่สลายเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (KI) ปฏิกิริยาการเกิด Photochemical Oxidants ในบรรยากาศนั้นซับซ้อนมาก โดยมีปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะเดียวกัน อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้เริ่มจาก NO_2 โดย NO_2 จะดูดรังสี UV จากแสงจนมีพลังงานมากขึ้นเกิดเป็น NO_2 ที่มีพลังสูงกว่าปกติ เขียนได้เป็น NO_2^* จากนั้น NO_2^* จะแตกตัว (Photolyzes) เป็นไนตริกออกไซด์ (NO) และอะตอมของออกซิเจน (O) เมื่อมี VOCs อยู่ด้วยทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างซับซ้อนระหว่างอะตอมของออกซิเจน NO และ VOCs เกิดเป็นสาร Photochemical Oxidants หลายชนิด เช่น โอโซน อัลดีไฮด์ เปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ อากิลโนเตรต คาร์บอนมอนอกไซด์ PAN และ PBN

1.4.2 ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ระเหยรายชนิด

VOCs มีทั้งเป็นพิษและไม่เป็นพิษ แต่เนื่องจากพบว่า ในรายการ “สารพิษทางอากาศ” มี VOCs ที่เป็นพิษประมาณ 150 ชนิด ดังนั้นจึงอาจประมาณได้ว่ามี VOCs ที่เป็นพิษ ที่พบปนอยู่ในบรรยากาศที่เราหายใจอยู่ประมาณ 150 ชนิด กลไกการเกิดพิษ มีทั้งในรูปผลเฉียบพลัน (Acute Effects) และผลเรื้อรัง (Chronic Effects) และอาจจัดเป็น สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง (Non-carcinogenic) หรืออาจมีผลทั้งแบบผลที่ไม่ใช่มะเร็งและเป็นสารก่อมะเร็ง

ข้อมูลความเป็นพิษของ VOCs ได้มาจากหลายแนวทาง เช่น ได้จากผลการศึกษาทางระบาดวิทยา (Epidemiology) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ (หรือความไม่มีสัมพันธ์) ระหว่างโรค (Disease) หรือ สาร (Agents) กับการเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นกับประชากร รวมทั้งการเริ่มต้น การกระจาย และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง การศึกษานี้มีทั้งแบบเชิงพรรณนา (Descriptive Study) เช่น การศึกษาว่าการเกิดโรคชนิดใด มีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดที่คาดหมายไว้ โดยพิจารณาจากลักษณะเฉพาะของโรค หรือการศึกษาในลักษณะการติดตามประชากร (รายบุคคล) ในกรณีเฉพาะที่สนใจ เช่น มีวิธีการดำรงชีวิตเฉพาะ หรือ มีการรับสาร (Agents) เป็นพิเศษเฉพาะกรณี

การศึกษาประเภทที่ 2 เป็นแบบเชิงวิเคราะห์ (Analytical Study) เช่น การศึกษาแบบ “การศึกษาโดยการควบคุมกรณีเปรียบเทียบ (Case Control Study)” เช่น การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผู้ป่วยที่ทราบว่าป่วยจากโรค

หรือ สารนั้น กับผู้ป่วยที่ไม่ได้ป่วยจากโรคหรือสารนั้น หรือ การศึกษาแบบ “การศึกษาโดยการควบคุมกลุ่มเปรียบเทียบ (Cohort Study)” ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เป็นเป้าหมายกับกลุ่มควบคุม

ผลการศึกษาข้างต้นเป็นการศึกษาในสิ่งแวดล้อมจริงที่ควบคุมตัวแปรยาก จึงมักมีปัญหาในการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในกรณีทั่วไป

การศึกษาพิษของ VOCs อีกแบบหนึ่งคือการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ทดลองทั้งในรูปของผลที่ไม่ใช่มะเร็งและเป็นสารก่อมะเร็ง ในการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ทดลอง เป็นการเตรียมให้สัตว์ทดลองได้รับสารที่สนใจระดับต่างๆ (Dose Response) ซึ่งอธิบายด้วยปริมาณที่ได้รับ (Dose) ต่อวันต่อน้ำหนักสัตว์ทดลอง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน) หรือ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อเมตร สำหรับ การได้รับทางหายใจ ผลการศึกษามักพยายามให้บรรลุถึงค่า 3 ค่าคือ “ระดับการได้รับ (สูงที่สุด) ที่ไม่พบผลเสีย (No-Observed-Adverse-Effect Levels, NOAELs)” ซึ่งเป็นระดับการได้รับที่ไม่พบว่ามีผลกระทบในทางลบต่อสัตว์ทดลองในช่วงเวลาที่ศึกษา ส่วน ค่าที่ 2 คือ “ระดับการได้รับต่ำที่สุดที่พบว่ามีผลเสีย (Lowest-Observed-Adverse-Effect Levels, LOAELs)” ซึ่งเป็นระดับการได้ต่ำที่สุดที่พบว่ามีผลกระทบในทางลบต่อสัตว์ทดลองในช่วงเวลาที่ศึกษา สำหรับกรณี ผลเสียที่ไม่ใช่การก่อมะเร็ง

ส่วนค่าที่ 3 เป็นค่าสุดท้ายที่เป็นผลจากการศึกษา ผลเฉียบพลัน (Acute Effects) คือค่า LC50 คือค่าระดับการได้รับ หรือความเข้มข้นต่ำที่สุด ที่ทำให้สัตว์ทดลองจำนวนครึ่งหนึ่งของทั้งหมดตายในการทดลอง ในระยะเวลาที่กำหนด (ประมาณ 1 ชั่วโมง)

การทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นการศึกษาสัดส่วนของสัตว์ทดลองที่มีการพัฒนาเซลล์มะเร็งที่ปริมาณการได้รับสารระดับต่างๆ ในช่วงเวลาที่ศึกษา เมื่อนำจำนวนสัตว์ทดลองที่มีเซลล์มะเร็งหารด้วยจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด จะได้สัดส่วน หรือ “โอกาส” ที่สัตว์ทดลองนั้นจะเป็นมะเร็ง เมื่อได้รับสารระดับนั้นๆ ในช่วงเวลาที่ศึกษา

การศึกษากับสัตว์ทดลอง มักเป็นการศึกษาที่ปริมาณการได้รับสารหรือความเข้มข้นที่สูงและในช่วงเวลาที่สั้น และสังเกตผลจากสัตว์ทดลอง ดังนั้น ในการนำมาใช้ทำนายผลต่อมนุษย์ จะต้องอาศัยหลักการในการปรับผลการทดลองมาใช้ในการอธิบายพิษของ VOCs แต่ละชนิดต่อมนุษย์ ซึ่งจะต้องคำนึงถึง “ตัวคูณความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors, UFs)” ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- การปรับค่าผลการทดลองกับสัตว์ไปสู่มนุษย์
- การปรับค่าของผลการทดลองในช่วงเวลาสั้นไปสู่ผลเรื้อรัง
- ในกรณีที่ไม่มีค่า NOAELs แต่ ปรับค่าจาก LOAELs มาใช้แทน
- จากประชากรปกติไปสู่ประชากรที่มีความอ่อนไหวสูง
- การปรับค่าจากข้อมูลผลการทดลองที่ไม่สมบูรณ์ให้สมบูรณ์ขึ้น

การปรับค่าในทำนองนี้อาจทำให้มีการใช้ค่า “ตัวคูณความไม่แน่นอน” ที่ค่อนข้างสูง ซึ่งโดยทั่ว การปรับค่า ในแต่ละกรณีข้างต้น มีค่า ตัวคูณความไม่แน่นอน ในหลักสิบ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคูณตัวคูณความไม่แน่นอนทั้งหมดไม่ควรเกิน 3,000

1) การระบุผลเสียระยะเวลายสั้น สำหรับ VOCs

ผลเสียของ VOCs ในลักษณะ ผลเสียเมื่อได้รับในช่วงเวลาไม่นานนัก สามารถอธิบายได้ โดยค่าต่างๆ หลาย ค่า เช่น

TLV-TWA (Threshold Limit Value - Time Weighted Average) เป็นค่าเกณฑ์แนะนำ (Guideline) ที่กำหนดโดย กรรมการนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาคีรัฐแห่งสหรัฐอเมริกา (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH) เป็นค่าระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีแต่ละชนิดที่ปรากฏในอากาศในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับต่อเนื่องในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมงใน 1 วัน สำหรับการทำงาน 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

TLV-STEL (Threshold Limit Value - Short Term Exposure Limit) เป็นค่าเกณฑ์แนะนำ ที่กำหนดโดย ACGIH คือ ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีแต่ละชนิดที่ปรากฏในอากาศในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับต่อเนื่องในระยะเวลาประมาณ 15 นาที ไม่เกิน 4 ครั้งต่อวัน และแต่ละครั้งต้องห่างกันนานกว่า 1 ชั่วโมง

TLV-C (Threshold Limit Value - Ceiling Exposure Limit) เป็นค่าเกณฑ์แนะนำ ที่กำหนดโดย ACGIH คือ ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีแต่ละชนิดที่ปรากฏในอากาศในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานในขณะปฏิบัติงานไม่ว่าในระยะเวลาใดๆ

PEL (NIOSH) (Permissible Exposure Limit) ที่กำหนดโดย สถาบันสุขภาพ ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย แห่งชาติ (สหรัฐอเมริกา) (The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) เป็นค่าระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีแต่ละชนิดที่ปรากฏในอากาศในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับต่อเนื่องในระยะเวลาไม่เกิน 10 ชั่วโมงใน 1 วัน สำหรับการทำงาน 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

PEL (OSHA) (Permissible Exposure Limit) ที่กำหนดโดยองค์การบริหารงานด้านสุขภาพ ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย (สหรัฐอเมริกา) (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) เป็นค่าระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีแต่ละชนิดที่ปรากฏในอากาศในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับต่อเนื่องในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมงใน 1 วัน สำหรับการทำงาน 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

IDLH เป็นตัวย่อจากคำเต็มคือ “Immediately Dangerous to Life or Health” โดยสถาบันความปลอดภัย สุขภาพ และอาชีวอนามัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (the US National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) คือความเข้มข้นสารเคมีต่ำที่สุดที่ร่างกายเมื่อได้รับอาจถึงระดับ “ทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิต หรือสุขภาพทันที หรือทำให้เกิดผลต่อสุขภาพในลักษณะที่ฟื้นกลับไม่ได้เอง หรือ ชะลอหรือหน่วงให้ผู้ได้รับสารนั้น ไม่สามารถหนีพ้นจากสภาวะนั้นได้” ในทางกลับกัน อาจจำกัดความได้ว่า คือความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่

สูงที่สุด ที่คนงานในวัยทำงานที่แข็งแรงสามารถที่ทนอยู่ได้ (ถ้าระบบเครื่องช่วยหายใจบกพร่อง) หรือ หนีออกจากบริเวณนั้นได้โดยไม่มีผลต่อสุขภาพตามมา

ERPGs (Emergency Response Planning Guidelines) เป็นค่าที่แนะนำให้ใช้โดยสมาคมสุขศาสตร์อุตสาหกรรมสหรัฐอเมริกา (American Industrial Hygiene Association, AIHA) โดยทั่วไปมี 3 ระดับ คือ

ERPG-1 เป็นความเข้มข้นของสารในอากาศที่อาจเริ่มมีผลต่อสุขภาพ โดยผลเมื่อได้รับเป็นเวลา 1 ชั่วโมงนั้นมีเพียงเล็กน้อย ชั่วคราว หากเป็นกลิ่นก็ไม่มากจนรบกวน

ERPG-2 เป็นความเข้มข้นของสารในอากาศที่อาจเริ่มมีผลต่อสุขภาพ โดยผลเมื่อได้รับเป็นเวลา 1 ชั่วโมงนั้นมีเพียงเล็กน้อยและหายได้ (Reversible) และไม่ทำให้สูญเสียความสามารถที่จะป้องกันตนเอง (เช่น หลีกหนีจากบริเวณ) กำหนดโดย American Industrial Hygiene Association (AIHA)

ERPG-3 เป็นความเข้มข้นของสารในอากาศที่อาจเริ่มมีผลต่อสุขภาพ โดยผลเมื่อได้รับเป็นเวลา 1 ชั่วโมงนั้นมีในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต

2) การระบุผลเสียระยะเวลานานสำหรับ VOCs

ก. ผลเสียที่ไม่ใช่การก่อมะเร็ง (Noncarcinogenic Effects)

ค่าที่นิยมใช้อธิบายพิษของ VOCs ในรูปของผลเสียที่ไม่ใช่การก่อมะเร็ง ในลักษณะผลเสียระยะยาวหรือผลเรื้อรัง คือ “ระดับการได้รับอ้างอิง (Reference Dose, RfD)” กรณีการได้รับสารทุกทาง (Path) และ “ระดับความเข้มข้นอ้างอิง (Reference Concentration, RfC)” กรณีการได้รับสารทางการหายใจ ตัวอย่างการกำหนด ค่า RfC โดยใช้ผลจากการทดลองกับสัตว์ เช่น

$$RfC = \frac{NOAEL(HEX)}{UF \times MF}$$

โดย	RfC	=	คือความเข้มข้นสูงที่สุดที่ไม่พบว่าปรากฏผลเสีย เมื่อได้รับสารจากการหายใจตลอดช่วงชีวิต (70 ปี)
	NOAEL(HEX)	=	ความเข้มข้นสูงที่สุด (ที่ต่ำที่สุดเมื่อมาจากการทดลองหลายการทดลอง หรือ สัตว์ทดลอง หลายชนิด) ที่ไม่พบผลเสีย ปรับมาเป็นค่าสำหรับมนุษย์แล้ว
	UF	=	“ตัวคูณความไม่แน่นอน” จากการปรับค่า เช่น จากผลการทดลองกับสัตว์ทดลองสู่มนุษย์
	MF	=	“ตัวคูณความไม่แน่นอนอื่นๆ นอกจาก UF ตามรูปแบบมาตรฐาน”

ดังนั้น ก่อนที่จะนำผลการทดลองกับสัตว์มาใช้กับมนุษย์ได้มีการลดค่าลง ในทำนองหารด้วยค่าความปลอดภัย ทำให้มั่นใจได้มากขึ้นในการนำไปใช้

ข. ผลเสียลักษณะการก่อมะเร็ง (Carcinogenic Effects)

เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหย มีทั้งเป็นพิษและไม่เป็นพิษ และในกลุ่มที่เป็นพิษ ยังมีความแตกต่างในเรื่องระดับความเป็นพิษ ซึ่งข้อมูลที่อธิบายถึงระดับความเป็นพิษ มักรวบรวมอยู่ในรูปข้อมูลความเป็นพิษเฉพาะสาร (Toxicity and Chemical-specific Information) ซึ่งข้อมูลนี้สามารถสืบค้นได้จากหลายแหล่ง เช่น จากองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ที่ http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration_table/Generic_Tables/index.htm

ปกติสารเคมีแต่ละชนิดจะถูกระบุอยู่ในรายชื่อสารก่อมะเร็งโดยมีการเรียงลำดับตามหลักฐาน หรือ ความน่าเชื่อถือที่น่าจะเป็นสารก่อมะเร็ง โดยองค์การแต่ละองค์อาจมีการให้สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน เช่น

1) องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US. EPA)

กลุ่ม ลักษณะ

- A สารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Human Carcinogen)
- B เชื่อได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Probable Human Carcinogen)
- B1 มีหลักฐานอย่างจำกัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Indicates Limited Human Evidence)
- B2 มีหลักฐานอย่างเพียงพอว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์แต่มีหลักฐานไม่เพียงพอหรือไม่มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Indicates Sufficient Evidence in Animals and Inadequate or No Evidence in Humans)
- C เป็นไปได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Possible Human Carcinogen)
- D ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Not Classifiable as to Human Carcinogenicity)
- E มีหลักฐานอย่างเพียงพอว่าไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Evidence of Noncarcinogenicity for Humans)

2) องค์การบริหารงานด้านสุขภาพ ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย (OSHA)

กลุ่ม ลักษณะ

- A1 ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Confirmed Human Carcinogen)
- A2 สงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Suspected Human Carcinogen)
- A3 เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ (Animal Carcinogen)
- A4 ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Not Classifiable as a Human Carcinogen)
- A5 ไม่เป็นที่สงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Not Suspected as a Human Carcinogen)

3) พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

กลุ่ม	ลักษณะ
วัตถุอันตราย ชนิดที่ 1	วัตถุอันตรายที่ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือมีไว้ในครอบครอง
วัตถุอันตราย ชนิดที่ 2	วัตถุอันตรายที่ต้องแจ้งต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อน และต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือมีไว้ในครอบครอง
วัตถุอันตราย ชนิดที่ 3	วัตถุอันตรายที่ต้องได้รับอนุญาต ในการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือมีไว้ในครอบครอง
วัตถุอันตราย ชนิดที่ 4	วัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้ผู้ใดผลิต นำเข้า ส่งออก หรือมีไว้ในครอบครอง

จากผลการทดลองเพื่อศึกษา “สัดส่วน” หรือ “โอกาส” ของสัตว์ทดลองที่ปรากฏมีเซลล์มะเร็งที่ ปริมาณการได้รับสาร ระดับต่างๆ ในช่วงเวลาที่ศึกษา นั้น ได้มีการนำผลการศึกษาดังกล่าวไปปรับใช้ เพื่อประมาณ “โอกาส” สำหรับมนุษย์ เมื่อได้รับสารนั้น (Dose) ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน (ที่กำหนด) โดยมีการปรับค่า ในแนวความคิดคล้ายๆกับ กรณี ผลเสียที่ไม่ใช่การก่อมะเร็งโดยการให้ “ตัวคุณความไม่แน่นอน” แต่มีการเพิ่มปัจจัยอื่น เช่น ผลการเกิดมะเร็งนั้นมีลักษณะของการผ่าเหล่าหรือไม่ ถ้าเป็น ค่าความปลอดภัยจะต้องสูงขึ้นอีก การปรับค่าตามน้ำหนักเฉลี่ยสัตว์ทดลองเทียบกับมนุษย์ เป็นต้น ค่าหนึ่งที่นิยมใช้ อธิบาย ผลของ VOCs ในลักษณะสารก่อมะเร็ง คือ “ความเสี่ยงต่อหน่วยความเข้มข้นในอากาศ (Carcinogenic Target Risk, TR)” หรือ Air Unit Risk คือ ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งสำหรับแต่ละบุคคลที่ได้รับสารนั้นเพิ่มขึ้น ทุก $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในอากาศ ตลอดช่วงชีวิต (70 ปี)

ตารางที่ 1-5 แสดงตัวอย่างข้อมูลบางส่วนเฉพาะสาร VOCs จำนวน 19 สาร ที่ประเทศไทยกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศและค่าเฝ้าระวังไว้ ค่าสำคัญที่แสดงระดับความเป็นพิษในลักษณะสารก่อมะเร็งดูได้จากค่า Carcinogenic Target Risk (TR) เช่น ในกรณีของ benzene มีค่า $\text{TR} = 3.1\text{E}-01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ หมายถึงว่า ถ้าคนปกติทั่วไป หายใจเอาอากาศที่มี benzene ปนอยู่ เฉลี่ย $0.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ติดต่อกันเป็นเวลา 70 ปี (ช่วงชีวิต) จะมีโอกาสเป็นมะเร็ง 1×10^{-6} หรือ โอกาสที่จะเป็นมะเร็ง 1 ในล้าน ส่วนผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยในกรณีไม่ใช่สารก่อมะเร็ง ดูจากค่า Noncancer Hazard Index (HI) เช่น กรณีของ ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) มีค่า $\text{HI} = 1.0\text{E}+02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ หมายถึงว่า เป็นค่าความเข้มข้น ไวนิล คลอไรด์ สูงสุด ที่ไม่พบว่าถ้าคนปกติทั่วไป หายใจเอาอากาศที่มี ไวนิล คลอไรด์ ปนอยู่ เฉลี่ย $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ติดต่อกันเป็นเวลา 70 ปี (ช่วงชีวิต) แล้วมีผลกระทบต่อสุขภาพ กรณีผลกระทบที่ไม่ใช่การเกิดเซลล์มะเร็ง เป็นที่น่าสังเกตว่า ค่า HI ไม่ใช่ค่าความน่าจะเป็น ดังนั้น ถ้าความเข้มข้นไม่ถึงค่า HI ก็ หมายความว่า ผลกระทบในกรณี “ไม่ใช่ผลการก่อมะเร็ง” ก็จะไม่เกิดขึ้น

ตารางที่ 1-5 ค่าระดับความเป็นพิษสารอินทรีย์ระเหย 19 สาร ที่ประเทศไทยกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศและค่าเฝ้าระวัง

สารอินทรีย์ระเหย		ระดับความเป็นพิษเฉพาะสาร (Toxicity and Chemical-specific Information)						Carcinogenic Target Risk (TR) = 1E-06	Noncancer Hazard Index (HI) = 1
Analyte	CAS No.	IUR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	สัญลักษณ์	RfCi (mg/m^3)	สัญลักษณ์	VOC	mutagen	Inhalation $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Inhalation $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Acetaldehyde	75-07-0	2.2E-06	I	9.0E-03	I	V		1.1E+00	9.4E+00
Acetonitrile	75-05-8			6.0E-02	I	V			6.3E+01
Benzene	71-43-2	7.8E-06	I	3.0E-02	I	V		3.1E-01	3.1E+01
Benzyl Chloride	100-44-7	4.9E-05	C	1.0E-03	P	V		5.0E-02	1.0E+00
Bromomethane	74-83-9			5.0E-03	I	V			5.2E+00
Butadiene, 1,3-	106-99-0	3.0E-05	I	2.0E-03	I	V		8.1E-02	2.1E+00
Carbon Tetrachloride	56-23-5	1.5E-05	I	1.9E-01	A	V		1.6E-01	2.0E+02
Chloroform	67-66-3	2.3E-05	I	9.8E-02	A	V		1.1E-01	1.0E+02
Dibromomethane (Methylene Bromide)	74-95-3			4.0E-03	X	V			4.2E+00
Dichlorobenzene, 1,4-	106-46-7	1.1E-05	C	8.0E-01	I	V		2.2E-01	8.3E+02
Dichloroethane, 1,2-	107-06-2	2.6E-05	I	2.4E+00	A	V		9.4E-02	2.5E+03
Dichloromethane (Methylene Chloride)	75-09-2	4.7E-07	I	1.0E+00	A	V		5.2E+00	1.1E+03
Dichloropropane, 1,2-	78-87-5	1.0E-05	C	4.0E-03	I	V		2.4E-01	4.2E+00
Dioxane, 1,4-	123-91-1	7.7E-06	C	3.6E+00	A			3.2E-01	3.8E+03
2-Propenal/Acrolein	107-02-8			2.0E-05	I	V			2.1E-02
Tetrachloroethane, 1,1,1,2-	630-20-6	7.4E-06	I			V		3.3E-01	
Tetrachloroethylene	127-18-4	5.9E-06	C	2.7E-01	A	V		4.1E-01	2.8E+02
Trichloroethylene	79-01-6	2.0E-06	C			V		1.2E+00	
Vinyl Chloride	75-01-4	4.4E-06	I	1.0E-01	I	V	M	1.6E-01	1.0E+02

ตัวอย่างของ ลักษณะเฉพาะและความเป็นพิษ ของ VOCs ที่ประเทศไทย มีการกำหนดค่ามาตรฐาน คุณภาพอากาศในบรรยากาศไว้ คือ

1. เบนซีน (Benzene)

CAS No. 71-43-2

ประเภทสารเคมี: ของเหลวติดไฟ

ลักษณะทั่วไป: เป็นของเหลวใส กลิ่นเหมือนน้ำมันปิโตรเลียม มีจุดวาบไฟต่ำกว่า -20°C มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ละลายน้ำได้เล็กน้อย จึงปรากฏลอยอยู่บนผิวน้ำ ไอของเบนซีนหนักกว่าอากาศ

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: C_6H_6
- จุดวาบไฟ: -11.1°C
- ความดันไอ: 60 mm Hg ที่ 15.0°C และ 76 mm Hg ที่ 20.0°C
- ความถ่วงจำเพาะ: 0.879 ที่ 20.0°C
- จุดเดือด: 90.1°C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 78.11
- การละลายน้ำ: 1-5 mg/mL ที่ 17.8°C

อันตรายต่อสุขภาพ

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม A สารก่อมะเร็งในมนุษย์

มีผลทำให้เกิดการ ง่วงซึม (Dizziness) ตื่นตกใจง่าย (excitation) ตัวซีด (pallor) ตามด้วยอาการ ตัวร้อน (flushing) อ่อนแอ (weakness) ปวดหัว (headache) หายใจไม่ออก (breathlessness) แน่นหน้าอก (chest constriction) น้ำมูกไหล (nausea) อาเจียน (vomiting) โคมา (coma) และอาจเสียชีวิต (death)

IDLH: 500 ppm

TLV: 10 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
50 ppm	150 ppm	1000 ppm

โดยทั่วไปจะได้กลิ่น ของเบนซีน ที่ระดับใกล้เคียงกับ ERPG-1

RfC: $3 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2.2×10^{-6} ถึง 7.8×10^{-6} สำหรับแต่ละบุคคล ที่ได้รับ เบนซีน เพิ่มขึ้น ทุก $1 \mu\text{g/m}^3$ ในอากาศ ตลอดช่วงชีวิต

ซึ่งสรุปเป็นความเข้มข้น ที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง	1×10^{-4} (1 ใน 10,000)	1×10^{-5} (1 ใน 100,000)	1×10^{-6} (1 ใน 1,000,000)
ความเข้มข้น	13.0 - 45.0 $\mu\text{g/m}^3$	3 - 4.5 $\mu\text{g/m}^3$	0.13 - 0.45 $\mu\text{g/m}^3$

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่เกิน 10 ppm (32 mg/m³)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

1.7 µg/m³

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

7.6 µg/m³

2. 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-Butadiene)

CAS No. 106-99-0

ประเภทสารเคมี: ก๊าซติดไฟ

ลักษณะทั่วไป: บิวทาไดอีน เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นหอมอะโรมาติก มักจะขนส่ง หรือขนถ่ายภายใต้สภาวะความดันสูง ทำให้บิวทาไดอีนอยู่ในสถานะของเหลว การสัมผัสกับบิวทาไดอีนเหลวอาจทำให้เกิดน้ำแข็งกัด (frostbite) บิวทาไดอีนไวไฟ ไอของบิวทาไดอีนหนักกว่าอากาศถ้าติดไฟจะสามารถไหม้ย้อนสู่จุดรั่วไหลได้ง่าย อาจทำให้เกิดอาการขาดอากาศหายใจเนื่องจากบิวทาไดอีนไปแทนที่อากาศ สำหรับการขนส่งและขนถ่ายบิวทาไดอีน ควรมีสารหน่วงปฏิกิริยา (inhibiter) เพราะบิวทาไดอีนสามารถก่อสารโพลีเมอร์ได้ในภาชนะบรรจุหรือขนส่งได้ และอาจทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงและระเบิด บิวทาไดอีนใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตยางสังเคราะห์ พลาสติกและสารเคมีบางชนิด

สมบัติเฉพาะของสาร เป็นสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนประเภทอะลิฟาติกไม่อิ่มตัว

- สูตรโมเลกุล: C₄H₆
- จุดวาบไฟ: -76.1 °C
- ความดันไอ: 1840 mm Hg ที่ 21.1 °C และ 760 mm Hg ที่ -4.5°C
- ความถ่วงจำเพาะ: 0.621 ที่ 20.0 °C
- จุดเดือด: -4.4 °C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 54.09
- การละลายน้ำ: ไม่ละลายน้ำ

อันตรายต่อสุขภาพ

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม B2 เชื่อได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ มีหลักฐานอย่างเพียงพอว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์แต่มีหลักฐานไม่เพียงพอหรือไม่มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

มีผลทำให้เกิดเส้นโลหิตโป่งพอง (anesthetic) เมื่อได้รับสารบิวตาไดอินที่ความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดแผลกักโดยความเย็น "frostbite" ระคายเคืองต่อตาและจมูกที่ความเข้มข้นสูงๆ

IDLH: 2000 ppm

TLVs: 1000 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
10 ppm	200 ppm	5000 ppm

โดยทั่วไปจะได้กลิ่น ของบิวตาไดอิน ที่ระดับใกล้เคียงกับ ERPG-1

RfC: 0.9 ppb (2×10^{-3} mg/m³)

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3×10^{-5} สำหรับแต่ละบุคคล ที่ได้รับ บิวตาไดอินเพิ่มขึ้น ทุก 1 µg/m³ ในอากาศ ตลอดช่วงชีวิต (0.08 per ppm)

ซึ่งสรุปเป็นความเข้มข้น ที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง 1×10^{-4} (1 ใน 10,000) 1×10^{-5} (1 ใน 100,000) 1×10^{-6} (1 ใน 1,000,000)

ความเข้มข้น 3 µg/m³. 0.3 µg/m³ 0.03 µg/m³

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่มีระบุ

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

0.33 µg/m³

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

5.3 µg/m³

3. คลอโรฟอร์ม หรือ ไตรคลอโรมีเทน (Chloroform หรือ Trichloromethane)

CAS No. 67-66-3

ประเภทสารเคมี: ของเหลวติดไฟ

ลักษณะทั่วไป: เป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ละลายน้ำได้เล็กน้อย จึงจมอยู่ใต้น้ำ ไม่ติดไฟในสภาวะปกติ แต่อาจติดไฟในสภาวะเฉพาะ เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ กิน หรือ สัมผัส จะทำให้เจ็บป่วย ใช้เป็นตัวทำละลาย และเป็นสารตั้งต้นผลิตสารเคมีอื่นบางชนิด

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: CHCl_3
- จุดวาบไฟ: ไม่มี
- ความดันไอ: 100 mm Hg ที่ 10.4 °C
- ความถ่วงจำเพาะ: 1.4832 ที่ 20.0 °C
- จุดเดือด: 61.7 °C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 119.39
- การละลายน้ำ: น้อยกว่า 1 mg/mL ที่ 18.9 °C

อันตรายต่อสุขภาพ

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม B2 เชื่อได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ มีหลักฐานอย่างเพียงพอว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์แต่มีหลักฐานไม่เพียงพอหรือไม่มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

จัดเป็นสารที่มีพิษปานกลาง ปริมาณการได้รับสารนี้ที่อาจถึงชีวิตคือ 0.5-5 g/kg สำหรับคนที่มีน้ำหนักประมาณ 68 กิโลกรัม ซึ่งปริมาณโดยเฉลี่ยคือ 44 กรัม เป็นสารที่สงสัยว่าจะเป็นสารก่อมะเร็ง สารนี้เมื่อได้รับจะมีผลกระทบประสาท ระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหาร อาจเกิดการเสียชีวิตฉับพลันเนื่องจากกลืนเนื้อหัวใจไม่ทำงาน หรือ เสียชีวิตในเวลาต่อมาเนื่องจากตับและไตเสียหาย

IDLH: 500 ppm

TLVs: 10 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
ไม่มีข้อมูล	50 ppm	5000 ppm

RfC: ไม่มีข้อมูล

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้น 2.3×10^{-5} สำหรับแต่ละบุคคลที่ได้รับคลอโรฟอร์มเพิ่มขึ้นทุก $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในอากาศตลอดช่วงชีวิต

ซึ่งสรุปเป็นความเข้มข้นที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง	1×10^{-4} (1 ใน 10,000)	1×10^{-5} (1 ใน 100,000)	1×10^{-6} (1 ใน 1,000,000)
ความเข้มข้น	$4 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่เกิน 50 ppm ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

0.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

4. 1, 2-ไดคลอโรอีเทน หรือ เอทิลีนไดคลอไรด์ (1,2-Dichloroethane หรือ Ethylene Dichloride (EDC)) CAS No. 107-06-2

ประเภทสารเคมี: ของเหลวติดไฟ และ เป็นพิษ

ลักษณะทั่วไป: เป็นของเหลวใส กลิ่นเหมือนยาฆ่าเชื้อโรค มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ไม่ละลายน้ำ ไอของ 1, 2-ไดคลอโรอีเทน หนักกว่าอากาศ

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$
- จุดวาบไฟ: 13.3 °C
- ความดันไอ: 60 mm Hg ที่ 20.0 °C และ 100 mm Hg ที่ 29.4 °C
- ความถ่วงจำเพาะ: 1.253 ที่ 20.0 °C
- จุดเดือด: 83.5 °C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 98.96
- การละลายน้ำ: 5-10 mg/mL ที่ 18.9 °C

อันตรายต่อสุขภาพ

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม B2 เชื่อได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ มีหลักฐานอย่างเพียงพอว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์แต่มีหลักฐานไม่เพียงพอหรือไม่มีความชัดเจนว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

การสูดดมไอของเอทิลีนไดคลอไรด์ จะทำให้เกิดอาการ คลื่นไส้ เมา มึนงง ถ้าสัมผัสกับตา จะทำให้เกิดแผลที่กระจกตา เมื่อสัมผัสกับผิวหนังจะเกิดอาการไหม้

IDLH: 50 ppm

TLVs: 50 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
50 ppm	200 ppm	300 ppm

โดยทั่วไปจะได้กลิ่น ของเบนซีน ที่ระดับใกล้เคียงกับ ERPG-1

RfC: ยังไม่มีข้อมูลในส่วนนี้

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2.6×10^{-5} สำหรับแต่ละบุคคลที่ได้รับเบนซีนเพิ่มขึ้น ทุก 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ในอากาศตลอดช่วงชีวิต

ซึ่งสรุปเป็นความเข้มข้น ที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง 1×10^{-4} (1 ใน 10,000) 1×10^{-5} (1 ใน 100,000) 1×10^{-6} (1 ใน 1,000,000)

ความเข้มข้น $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่เกิน 50 ppm ($200 \text{ mg}/\text{m}^3$)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550))

$0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

$48.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$

5. ไดคลอโรมีเทน หรือ เมททีลีนคลอไรด์ (Dichloromethane หรือ Methylene chloride)

CAS No. 75-09-2

ประเภทสารเคมี: ของเหลวติดไฟ แต่ต้องอุ่นให้ร้อนก่อน

ลักษณะทั่วไป: เป็นของเหลว กลิ่นหวานฉุนคล้ายอีเทอร์ เมื่ออยู่ในอุณหภูมิสูง จะเกิดฟุ้งของคลอรีนที่เป็นพิษ ไอของไดคลอโรมีเทนที่ความเข้มข้นสูงทำให้มีน้ำขุ่น หมดสติ ใช้เป็นตัวทำละลายและใช้เป็นสารลอกสี

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: CH_2Cl_2
- จุดวาบไฟ: ไม่มีข้อมูล
- ความดันไอ: 440 mm Hg ที่ 25.0°C
- ความถ่วงจำเพาะ: 1.322 ที่ 20.0°C
- จุดเดือด: 39.8°C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 84.93
- การละลายน้ำ: 10-50 mg/mL ที่ 21.1°C

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม C เป็นไปได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

มีผลทำให้เกิดเส้นโลหิตโป่งพอง คลื่นไส้ เมา ระคายเคืองต่อผิวหนัง ระคายเคืองต่อตาและจมูก

IDLH: 2300 ppm

TLVs: 500 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
300 ppm	750 ppm	4000 ppm

RfC: 0.6 mg/m³

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้น 1×10^{-8} สำหรับแต่ละบุคคลที่ได้รับ ไคลอโรฟอร์มเพิ่มขึ้นทุก 1 µg/m³ ในอากาศตลอดช่วงชีวิต

สำหรับไคลอโรฟอร์ม ไม่มีการสรุปเป็นความเข้มข้นที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ เนื่องจาก ไคลอโรฟอร์ม ทำให้เกิดเป็นมะเร็งแบบการผ่าเหล่า (mutagenic mode) และจะมีความเสี่ยงสูงในช่วงอายุน้อย (<16 ปี) ซึ่งทำให้ความเข้มข้นกับความถี่ของการเปลี่ยนแปลงตามช่วงอายุ

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่เกิน 500 ppm (1740 mg/m³)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

22 µg/m³

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

210 µg/m³

6. 1, 2-ไดคลอโรโพรเพน (1,2-Dichloropropane)

CAS No. 78-87-5

ประเภทสารเคมี: ของเหลวติดไฟ

ลักษณะทั่วไป: เป็นของเหลวใสคล้ายน้ำ กลิ่นหอมหวานรวมกับน้ำและได้ไอที่ระคายเคือง

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: C₃H₆Cl₂
- จุดวาบไฟ: 15.6 °C
- ความดันไอ: 40 mm Hg ที่ 19.4 °C และ 42 mm Hg ที่ 20.0 °C
- ความถ่วงจำเพาะ: 1.158 ที่ 20.0 °C
- จุดเดือด: 95.0-96.1 °C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 112.99
- การละลายน้ำ: น้อยกว่า 0.1 mg/mL ที่ 21.5 °C

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: ยังไม่มีการศึกษาที่สมบูรณ์เกี่ยวกับสารนี้

ถ้าสัมผัสกับผิวหนังหรือตาจะทำให้ระคายเคือง

IDLH: 2000 ppm

TLVs: 75 ppm

ERPGs ไม่มีข้อมูล

RfC: 2×10^{-2} mg/m³

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.0×10^{-6} สำหรับแต่ละบุคคล ที่ได้รับ 1, 2-ไดคลอโรโพรเพน เพิ่มขึ้น ทุก 1 µg/m³ ในอากาศตลอดช่วงชีวิต

ซึ่งสรุปเป็นความเข้มข้น ที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง 1×10^{-4} (1 ใน 10,000) 1×10^{-5} (1 ใน 100,000) 1×10^{-6} (1 ใน 1,000,000)

ความเข้มข้น 20 µg/m³ 2 µg/m³ 0.2 µg/m³

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

4 µg/m³

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

82 µg/m³

7. เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)

CAS No. 127-18-4

ประเภทสารเคมี: สารพิษ

ลักษณะทั่วไป: เป็นของเหลวใส ระเหยได้ กลิ่นเหมือนอีเทอร์ ไม่ติดไฟ ไม่ละลายน้ำ ไอของเตตระคลอโรเอทิลีนหนักกว่าอากาศ ใช้เป็นตัวทำละลาย สำหรับน้ำยาซักแห้ง ล้างไขมัน ล้างผิวโลหะ ใช้เป็นสารเริ่มต้นในการผลิตสารเคมีบางชนิด

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: C₂Cl₄
- จุดวาบไฟ: ไม่มีข้อมูล
- ความดันไอ: 14 mm Hg ที่ 20.0 °C และ 15.8 mm Hg ที่ 22.2 °C
- ความถ่วงจำเพาะ: 1.63 ที่ 20.0 °C
- จุดเดือด: 121.1 °C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 165.83
- การละลายน้ำ: น้อยกว่า 1 mg/mL ที่ 17.2 °C

อันตรายต่อสุขภาพ

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม B เชื่อได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

ไอของเตตระคลอโรเอทิลีน มีผลต่อประสาทส่วนกลาง ทำให้มึนงง ระคายเคืองเมื่อสัมผัสผิวหนัง ระคายเคืองต่อตาแต่ไม่เกิดแผล

IDLH: 150 ppm

TLVs: 100 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
100 ppm	200 ppm	1000 ppm

โดยทั่วไปจะได้กลิ่น ของเตตระคลอโรเอทิลีน ที่ระดับใกล้เคียงกับ ERPG-1

RfC: 4×10^{-2} mg/m³

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้น 1.8×10^{-3} สำหรับแต่ละบุคคล ที่ได้รับ เตตระคลอโรเอทิลีน เพิ่มขึ้น ทุก 1 µg/m³ ในอากาศ ตลอด ช่วงชีวิต

ซึ่งสรุปเป็นความเข้มข้น ที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง	1×10^{-4} (1 ใน 10,000)	1×10^{-5} (1 ใน 100,000)	1×10^{-6} (1 ใน 1,000,000)
ความเข้มข้น	400 µg/m ³ .	40 µg/m ³	4 µg/m ³

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่เกิน 100 ppm (680 mg/m³)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

200 µg/m³

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

400 µg/m³

8. ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)

CAS No. 79-01-6

ประเภทสารเคมี: ของเหลวติดไฟ แต่ต้องมีการอุ่นให้ร้อนก่อน เป็นสารพิษ

ลักษณะทั่วไป: เป็นของเหลวใส กลิ่นเหมือนน้ำยาฆ่าเชื้อโรค มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ละลายน้ำได้เล็กน้อย ไม่ติดไฟ ใช้เป็นตัวทำละลาย สารฟ่นละออง เป็นสารตั้งต้นการผลิตสารเคมีบางชนิด

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: C₂HCl₃

- จุดวาบไฟ: สูงกว่า 93.3 °C
- ความดันไอ: 60 mm Hg ที่ 20 °C และ 77 mm Hg ที่ 25 °C
- ความถ่วงจำเพาะ: 1.46 ที่ 20 °C
- จุดเดือด: 87.2 °C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 131.4
- การละลายน้ำ: น้อยกว่า 1 mg/mL ที่ 21.1 °C

อันตรายต่อสุขภาพ

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม A สารก่อมะเร็งในมนุษย์

อาการเมื่อได้รับสารนี้มีตั้งแต่ การระคายเคืองจมูก คอ และ คลื่นไส้ ลดความสามารถการตอบสนองต่อการกระตุ้น ลดความสามารถในการมองเห็น และทำยาสีฟันที่มีผลต่อประสาทส่วนกลาง และกล้ามเนื้อหัวใจหยุดทำงาน การได้รับสารนี้อย่างต่อเนื่องอาจเกิดผลต่ออวัยวะบางส่วน ผลเมื่อกินสารนี้จะเหมือนกับกรณีหายใจเข้าไป ผลจากการสัมผัสจะทำให้ผิวหนังอักเสบ การสัมผัสกับตาจะทำให้ระคายเคืองและน้ำตาไหล

IDLH: 1000 ppm

TLVs: 100 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
100 ppm	500 ppm	5000 ppm

โดยทั่วไปจะได้กลิ่น ของเบนซีน ที่ระดับใกล้เคียงกับ ERPG-1.

RfC: 0.002 mg/m³ (0.0004 ppm)

Air Unit Risk: สำหรับ ไตรคลอโรเอทิลีนมีระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ไม่เท่ากัน เนื่องจาก ไตรคลอโรเอทิลีนทำให้เกิดเป็นมะเร็งแบบการผ่าเหล่า (mutagenic mode) แต่โดยเฉลี่ยตลอดช่วงชีวิตมีความเข้มข้น ที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง	1x10 ⁻⁴ (1 ใน 10,000)	1x10 ⁻⁵ (1 ใน 100,000)	1x10 ⁻⁶ (1 ใน 1,000,000)
ความเข้มข้น	20 µg/m ³ .	2 µg/m ³	0.2 µg/m ³

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่เกิน 100 ppm (540 mg/m³)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

23 µg/m³

ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

9. ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)

CAS No. 75-01-4

ประเภทสารเคมี: ก๊าซติดไฟ

ลักษณะทั่วไป: เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นหอมหวาน แต่ในการขนส่งและขนถ่ายมักอยู่ในรูปของเหลวภายใต้ความดัน การสัมผัสกับสารนี้ในสภาพของเหลวจะเกิดผลผลัดเย็น เนื่องจากเกิดการระเหยเป็นไอและดูดความร้อนแฝง การรั่วไหลอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือไอ ไอของไวนิลคลอไรด์หนักกว่าอากาศ เมื่อมีการรั่วไหล อาจทำให้บริเวณนั้นขาดอากาศหายใจเนื่องจากไอของสารนี้จะไปแทนที่อากาศที่เราหายใจเข้าไป ภาชนะที่อยู่ภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูงอาจเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง เป็นสารที่สงสัยว่าจะเป็นสารก่อมะเร็ง ใช้สำหรับผลิตพลาสติก กาว และใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตสารเคมีบางชนิด

สมบัติเฉพาะของสาร

- สูตรโมเลกุล: $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$
- จุดวาบไฟ: -78.9°C
- ความดันไอ: 3877.5 mm Hg
- ความถ่วงจำเพาะ: 0.969 ที่ -13°C
- จุดเดือด: -13.9°C ที่ 760 mm Hg
- น้ำหนักโมเลกุล: 62.5
- การละลายน้ำ: ละลายน้ำได้เล็กน้อย

อันตรายต่อสุขภาพ

การจัดกลุ่มสารพิษ โดย US.EPA: กลุ่ม A สารก่อมะเร็งในมนุษย์

การได้รับที่ความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการ ง่วงซึม หายใจขัด ระคายเคืองต่อปอด เมื่อสัมผัสกับผิวหนังจะเกิดผลกัดยื่น ในกรณีนี้พินอล ซึ่งมักใช้เป็นสารหน่วงปฏิกิริยาในการเก็บและขนถ่าย อาจซึมผ่านผิวหนังสู่ร่างกาย ถ้ามีการรั่วไหลในปริมาณมาก

IDLH: ไม่มีข้อมูลนี้

TLVs: 5 ppm

ERPGs

ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
500 ppm	5000 ppm	20000 ppm

RfC: 0.1 mg/m^3

Air Unit Risk: ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.4×10^{-6} สำหรับแต่ละบุคคล ที่ได้รับ ไวนิลคลอไรด์ เพิ่มขึ้น ทุก $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในอากาศ ตลอด ช่วงชีวิต

ซึ่งสรุปเป็นความเข้มข้น ที่ระดับความเสี่ยงในช่วงชีวิตต่างๆ ดังนี้

ระดับความเสี่ยง 1×10^{-4} (1 ใน 10,000) 1×10^{-5} (1 ใน 100,000) 1×10^{-6} (1 ใน 1,000,000)

ความเข้มข้น $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $0.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ค่ามาตรฐานที่พบในประเทศไทย

ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520)

ไม่เกิน 1 ppm ($2.8 \text{ mg}/\text{m}^3$)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550)

$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

5.3 ค่าเฝ้าระวังในเวลา 24 ชั่วโมง (ประกาศ กรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2551)

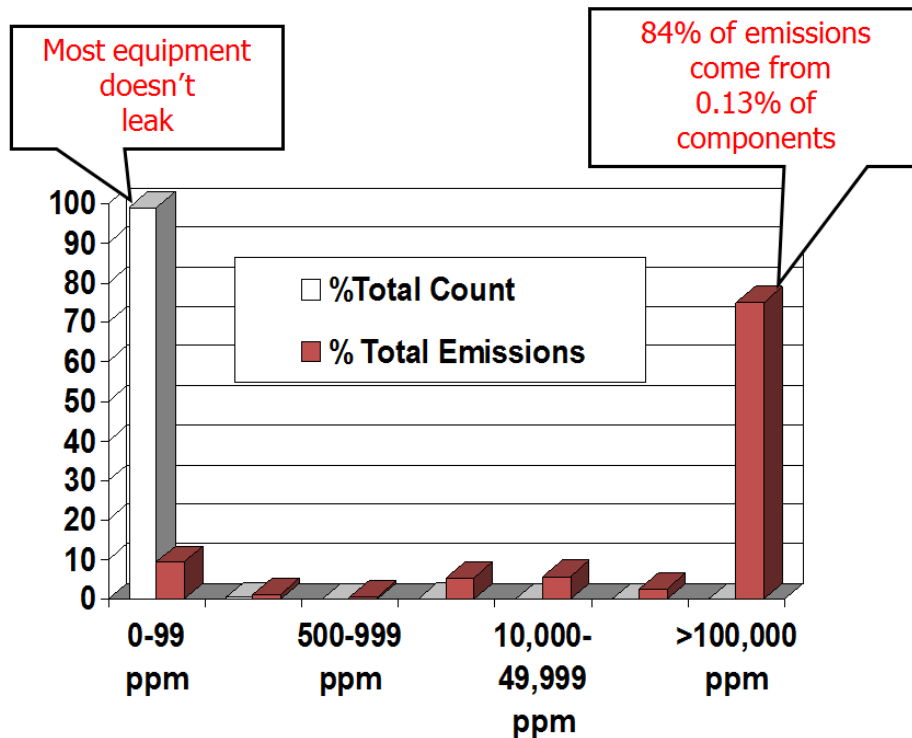
$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$

1.5 วิธีการประเมินปริมาณการรั่วซึมของ VOCs (Fugitive and Stationary Sources)

โดยทั่วไป แหล่งกำเนิดการปล่อย VOCs จำแนกออกเป็น 6 แหล่งกำเนิด ใหญ่ๆ คือ

- 1) การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitives Sources)
- 2) ถังกักเก็บ (Tank Farm)
- 3) การขนถ่าย (Transportation & Marketing)
- 4) การเผาไหม้ (Combustion)
- 5) ระบบเผาทิ้ง (Flares)
- 6) ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Plant)

เนื่องจากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์มักเป็นแหล่งที่สำคัญที่สุด ซึ่งในโรงงานที่มีการผลิตที่เกี่ยวข้องกับ VOCs มักมีสัดส่วนการปล่อย VOCs จาก การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ มากกว่าร้อยละ 75 ของปริมาณการรั่วระเหยทั้งหมด ดังนั้นโดยทั่วไปในการจัดการ หรือ ควบคุม VOCs จึงมักมีมาตรการ ในการควบคุม VOCs ในส่วนนี้เป็นการเฉพาะ ในสหรัฐอเมริกา มีการสำรวจพบว่า โดยทั่วไป โรงงานหรือกิจการที่มีการใช้สาร VOCs ที่มีการควบคุม อยู่ในระดับดี มักจะมีจำนวนอุปกรณ์ ที่มีการรั่วระเหยมากกว่าเกณฑ์ที่ควรจะเป็น (หรือรั่ว) อยู่ประมาณ 3 อุปกรณ์ ใน 1000 อุปกรณ์ (ประมาณ 0.3 %) แต่เมื่อนำอัตราการปล่อย VOCs สู่บรรยากาศจากกระบวนการรั่วระเหยพบว่า อุปกรณ์ 3 อุปกรณ์ที่รั่ว จะมีสัดส่วนในการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยทั้งหมดประมาณ 85% ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 1-2 สัดส่วนการรั่วระเหยของ VOCs จากอุปกรณ์

ที่มา: Taback et al., 1997.

ดังนั้น กลยุทธ์ในการลดการปล่อย VOCs จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ในสหรัฐอเมริกา จึงใช้วิธีกำหนดให้กิจกรรมที่มีการปล่อย VOCs อย่างมีนัยสำคัญ จะต้องมีการตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ใดบ้างที่มีการรั่วระเหยเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (รั่ว) และถ้าพบ ก็ให้ซ่อมบำรุง แก้ไข หรือ เปลี่ยนใหม่ ในเวลาที่กำหนด ซึ่งก็คือ การสำรวจเพื่อหาพบ อุปกรณ์ที่รั่ว แล้วซ่อมบำรุงให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นเอง อุปกรณ์ที่จะต้องมีการตรวจสอบเพื่อใช้ในการควบคุมการรั่วระเหยคือ ปั๊ม (pumps) เครื่องอัดอากาศ (compressors) วาล์ว (valves) ท่อปลายเปิด (open-ended lines) วาล์วลดแรงดัน (safety relief valves) และอื่นๆ ซึ่งจะระบุถึง มาตรการในการบังคับให้มีแผนการสำรวจ (inspection) และ ซ่อมบำรุง (maintenance) เช่น ในรัฐคอนเนทิคัต (Connecticut) มีการระบุรายละเอียดให้ต้องมีการซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงแก้ไขถ้ามีการตรวจสอบโดยใช้สายตา หรือได้กลิ่น หรือเสียง กำหนดว่าจะต้องซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงให้เสร็จภายใน 15 วันหลังจากที่ตรวจพบ และยังกำหนดให้จะต้องมีการกำหนดช่วงเวลาการตรวจสอบสำรวจ 4 ครั้งต่อปี ซึ่งเป็นมาตรการที่เข้มงวดกว่าเกณฑ์ระดับประเทศ ซึ่งมักจะเป็น 2 ครั้งต่อปี

1.5.1 LDAR Program

คือวิธีการ ในลักษณะการกำหนดแผนงานเพื่อควบคุมสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดเป็นแผนงานหรือโปรแกรม การตรวจวัดสำรวจและซ่อมบำรุง หรือ Leak Detection and Repair Program

หรือที่รู้จักกันในชื่อ LDAR Program ซึ่งบังคับให้ผู้ประกอบการต้องมีการสำรวจการรั่วระเหยและตามด้วยการซ่อมบำรุงถ้าพบว่ามี “รั่ว” ของอุปกรณ์ตามเวลากำหนด การตรวจวัดใช้สามารถทำได้โดยเครื่องตรวจวัดสาร VOCs ชนิด พกพา (portable) อาจใช้ระบบการตรวจวัดแบบ Non-dispersive Infrared (NDIR) หรือ PID ตามวิธีการตรวจวัดที่ระบุใน EPA Method 21 ของสหรัฐอเมริกา โดยผลจากการตรวจวัดแต่ละอุปกรณ์จะแสดงว่าขณะนั้นอุปกรณ์ดังกล่าวมีการรั่วระเหยเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้าพบการรั่วไหลจะต้องดำเนินการซ่อมบำรุงให้อยู่ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดต่อไป

1.5.2 วิธีการควบคุมสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในประเทศไทย

โดยใช้หลักการที่ใกล้เคียงกับการดำเนินการของ US.EPA ประเทศไทยมีนโยบายควบคุมสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่ถูกปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยการประยุกต์ใช้การทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ และหลักการของ วิธีการควบคุมสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) โดย Leak Detection and Repair Program (LDAR Program) ซึ่งกระทรวงอุตสาหกรรมได้จัดทำร่างประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุมการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds: VOCs) จากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับปี พ.ศ. 2555 โดยมีใจความสำคัญดังต่อไปนี้

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 33 มาตรา 41 และมาตรา 42 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุมการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) จากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ไว้ โดยเริ่มจากคำจำกัดความ ดังนี้

“โรงงานอุตสาหกรรม” หมายถึง โรงงานอุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี โรงงานกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม หรือ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ ตามบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่มีหรือใช้สารอินทรีย์ระเหยในกระบวนการผลิต ตั้งแต่ 36 ตันต่อปี ขึ้นไป

“สารอินทรีย์ระเหย” หมายความว่า สารประกอบที่มีคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ยกเว้น มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ โลหะคาร์ไบด์หรือคาร์บอนเนต แอมโมเนียมคาร์บอนเนต

“การรั่วซึม” หมายความว่า การแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ชนิดใดชนิดหนึ่งของโรงงานอุตสาหกรรม เกินกว่าเกณฑ์ควบคุมการรั่วซึม

“อุปกรณ์ที่ต้องตรวจวัดการรั่วซึม” หมายความว่า ปั๊ม (Pumps) เครื่องอัดอากาศ (Compressors) อุปกรณ์ที่ใช้กวนหรือผสมของเหลว (Agitators หรือ Mixers) วาล์ว (Valves) วาล์วหรือท่อส่งปลายเปิด (Open-Ended Valves หรือ Lines) ข้อต่อหรือหน้าแปลน (Connectors หรือ Flanges) อุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Relief Devices) จุดเก็บตัวอย่างสารเคมี (Sampling Connections)

“สถานะสูญญากาศ” หมายความว่า สภาวะที่ความดันภายในอุปกรณ์ มีค่าต่ำกว่าความดันของบรรยากาศภายนอก อย่างน้อย 5 กิโลปาสกาล (37.5 มิลลิเมตรปรอท)

จากนั้นจึง ระบุเกณฑ์การควบคุมการรั่วซึมสารอินทรีย์ระเหยของอุปกรณ์ ดังตารางที่ 1-6 โดยกำหนดให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องควบคุมการรั่วซึมของอุปกรณ์ มิให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยทั้งหมดเกินเกณฑ์ควบคุม โดยระยะที่ 1 และระยะที่ 2 หมายถึง ภายใน 1 และ 2 ปี ถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา ตามลำดับ

ตารางที่ 1-6 เกณฑ์การควบคุมการรั่วซึมสารอินทรีย์ระเหยของอุปกรณ์

ความเข้มข้นของไอสารอินทรีย์ทั้งหมด (ppmv)				
	- เครื่องอัดอากาศ - วาล์วหรือท่อส่ง ปลายเปิด - จุดเก็บตัวอย่างสารเคมี - อุปกรณ์ลดความดัน สำหรับแก๊ส	- อุปกรณ์ลดความดัน สำหรับของเหลว - วาล์ว (แก๊ส/ของเหลว) - ข้อต่อหรือหน้าแปลน	ปั๊มสำหรับ ของเหลว	อุปกรณ์ที่ใช้กวน หรือผสมของเหลว
ระยะที่ 1	500	10,000	10,000	10,000
ระยะที่ 2	500	500	5,000	10,000

สำหรับความถี่ในการตรวจวัด ปีละ 1 ครั้ง

การซ่อมบำรุงและซ่อมแซมอุปกรณ์ที่มีการรั่วซึม

หากผลการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์เกินจากเกณฑ์ควบคุมการรั่วซึม ให้ทำการปรับเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ตัวที่ไม่มีการรั่วซึมหรือซ่อมแซมอุปกรณ์ให้เสร็จ ภายใน 15 วัน นับถัดจากวันที่ตรวจพบ สำหรับอุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Relief Devices) ให้ซ่อมแซมให้เสร็จภายใน 24 ชั่วโมงหรือให้ต่อเข้าระบบบำบัดมลพิษ หากไม่สามารถซ่อมแซมในช่วงการผลิตตามที่กำหนดไว้ ให้รายงานต่อหน่วยงานที่กำกับดูแลโดยตรง เพื่อให้ความเห็นชอบเป็นกรณีไป โดยระบุเหตุผลและระยะเวลาที่สามารถซ่อมแซมได้ให้ชัดเจน

1.5.3 วิธีการตรวจวัดเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์

โดยหลักการคือ ใช้อุปกรณ์การตรวจวัด VOCs และจำแนกว่ามีการรั่วหรือไม่ ซึ่งคำแนะนำตลอดจนวิธีการปรากฏอยู่ใน วิธีการตรวจวัด วิธีที่ 21 ที่กำหนด โดย US.EPA (EPA Reference Method 21-Determination of Volatile Organic Compound Leaks (40 CFR 60, Appendix A)) มีหลักการโดยสังเขปดังนี้

- 1) **เครื่องมือ** จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
- เครื่องมือวัด VOCs นี้จะต้องตอบสนองต่อสารประกอบอินทรีย์ที่ต้องการวัดที่เพียงพอ (อธิบายโดยค่า Response Factor (RF)) เครื่องมือนี้ ทำการตรวจวัดโดยใช้หลักการเช่น การออกซิไดซ์โดยมีแคตาลิสต์ (Catalytic Oxidation) การแตกตัวเกิดไอออนในเปลวไฟ (Flame Ionization) การดูดกลืนอินฟราเรด (Infrared absorption) และ การแตกตัวให้อิออนเมื่อถูกแสง (Photoionization)
 - เครื่องมือวัด VOCs นี้จะต้องมีความสามารถวัดสารประกอบอินทรีย์ที่ความเข้มข้นที่กำหนด เช่น เกณฑ์ที่นับว่ามีการ “รั่ว (leak)” หรือตามข้อกำหนดในกฎหมาย
 - สเกลของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด VOCs นี้จะต้องมีความสามารถวัดในช่วงอย่างน้อย $\pm 5\%$ ความเข้มข้นที่กำหนด เช่น เกณฑ์ที่นับว่ามีการ “รั่ว”
 - เครื่องมือวัด VOCs นี้ควรมีปั๊มเพื่อดึงอากาศเข้าสู่เครื่องวัดอย่างต่อเนื่อง อัตราการดึงอากาศตัวอย่าง ควรอยู่ในช่วง 0.5 – 3 ลิตร/นาที
 - เครื่องมือวัดนี้ควรผ่านเกณฑ์ความปลอดภัยในการใช้งานบริเวณที่มีสารไวไฟ
 - เครื่องมือวัดนี้ต้องมี อัตราการตอบสนองต่อสัญญาณ (Response factor) ต่อสารประกอบอินทรีย์ที่ต้องการวัดต้องน้อยกว่า 10 โดย
- $$\text{Response factor} = \frac{\text{ความเข้มข้นจริง}}{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้}}$$
- เครื่องมือวัดนี้ต้องมี เวลาที่ต้องรอก่อนแสดงค่า (Response time) ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 วินาที
 - ความเที่ยงของการปรับเทียบ (Calibration precision) จะต้องไม่มากกว่าหรือเท่ากับ 10 % ของความเข้มข้นก๊าซมาตรฐานที่ใช้ปรับเทียบ
- ลักษณะของเครื่องวัดที่ผ่านเกณฑ์ วิธีที่ 21 ที่กำหนด โดย US.EPA แสดงอยู่ในตารางที่ 1-7

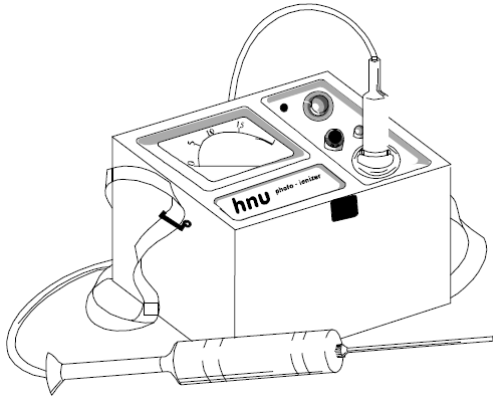
ตารางที่ 1-7 ลักษณะเครื่องมือวัดที่ผ่านเกณฑ์ วิธีที่ 21 ที่กำหนด โดย US.EPA

เกณฑ์	คุณสมบัติที่ต้องการ	ช่วงเวลาที่กำหนด
อัตราการตอบสนองต่อสัญญาณ (Instrument Response Factor ^b)	ต้อง < 10 มิฉะนั้นต้องใช้ กราฟ ปรับเทียบ	1 ครั้ง ก่อนนำไปใช้วัด
เวลาที่ต้องรอก่อนแสดงค่า (Instrument Response Time ^c)	ต้อง ≤ 30 วินาที	1 ครั้ง ก่อนนำไปใช้วัด ถ้ามีการ เปลี่ยนอัตราการดึงตัวอย่างมาวัด จะต้องทดสอบใหม่
ความเที่ยงตรงของการปรับเทียบ (Calibration precision ^d)	ต้อง $\leq 10\%$ ของความเข้มข้นก๊าซ มาตรฐาน	1 ครั้ง ก่อนนำไปใช้วัด หรือทุก 3 เดือน หรือ ก่อนการใช้งานครั้ง ต่อไป (แล้วแต่จะถึงเกณฑ์ใดก่อน)

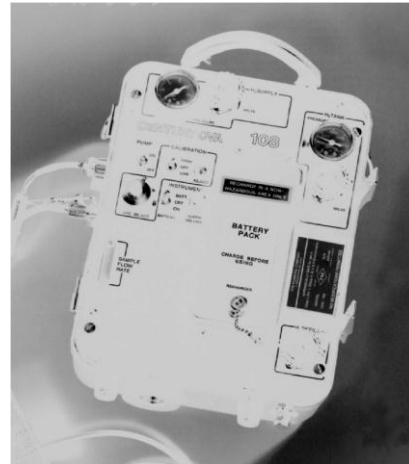
ตารางที่ 1-8 ตัวอย่างเครื่องมือวัดที่ผ่านเกณฑ์ วิธีที่ 21 ที่กำหนด โดย US.EPA

ผู้ผลิต	ชื่อรุ่น	สารที่ตรวจวัดได้	ระบบการตรวจวัด	ช่วงการตรวจวัด
Bacharach Instrument Co., Santa Clara, California	L	ก๊าซติดไฟ (Combustible gases)	Catalytic combustion	0-100 % LEL (Lower Explosive Limit)
	TLV Sniffer	ก๊าซติดไฟ	Catalytic combustion	0-1,000 และ 0-10,000 ppm
Foxboro S.Norwalk, Connecticut	OVA-128	สารอินทรีย์ระเหยเกือบทั้งหมด	FID/GC ^b	0-1,000 ppm
	OVA-108	สารอินทรีย์ระเหยเกือบทั้งหมด	FID/GC	0-10,000ppm
	Miran IBX	สารที่ดูดกลืน อินฟราเรด	NDIR ^c	เฉพาะสาร
	TVA-1000	สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกือบทุกชนิด	Photoionization and FID/GC	0.5-2,000 ppm (photoionization) 1-50,000 ppm (FID/GC)
Health Consultants	Detecto-PAK III	สารอินทรีย์เกือบทั้งหมด	FID/GC	0-10,000 ppm
HNU Systems, Inc Newton Upper Falls, Massachusetts	HW-101	คลอรีเนเตด ไฮโดรคาร์บอน ฮาโรมาติก อัลดีไฮด์ คีโตน และ สารที่แตกตัวให้อิออน เมื่อ ถูกแสง UV	Photoionization	0-20.0-200 และ 0-2,000ppm
Mine Safety Appliances Co., Pittsburgh, Pennsylvania	40	ก๊าซติดไฟ	Catalytic Combustion	0-10% และ 0-100% LEL
Survey and Analysis, INC., Northboro, Massachusetts	On Mark Model 5	ก๊าซติดไฟ	Thermal Conductivity	0-5% และ 0-100% LEL
Rae Systems Sunnyvale, California	MiniRAE PGM-75K	คลอรีเนเตด ไฮโดรคาร์บอน ฮาโรมาติก อัลดีไฮด์ คีโตน และ สารที่แตกตัวให้อิออน เมื่อ ถูกแสง UV	Photoionization	0-1,999 ppm

^a LEL =Lower Explosive Limit^b FID/GC = Flame Ionization Detection /Gas Chromatography^c NDIR = Nondispersive Infrared Analysis



Hw-101 Portable Organic Compound Detection
Instrument (Hnu System, Inc.)



OVA-108 Portable Organic Compound
Detection Instrument (Foxboro)

รูปที่ 1-3 ตัวอย่างเครื่องวัดสารอินทรีย์ระเหยแบบพกพา

2) วิธีการสำรวจเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์

เนื่องจากกระบวนการสำรวจเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์ เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลา มีค่าใช้จ่าย และใช้กำลังคนเป็นอย่างมาก ดังนั้นการเตรียมการเบื้องต้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เช่น การศึกษากระบวนการผลิต หน่วยผลิตย่อย จำนวนหน่วยผลิตย่อยที่เกี่ยวข้อง การที่ทราบรายละเอียดของโครงการและทราบหน่วยผลิตย่อยที่ต้องสำรวจ ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวจะทำให้ผู้สำรวจสามารถเตรียมแบบสำรวจเฉพาะได้ เช่น แสดงในตารางที่ 1- 9

3) การทบทวนบันทึกการสำรวจเดิมของโรงงาน ในส่วนการผลิตใดๆ ที่มีการสำรวจเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์ สำรวจการปล่อย VOCs ตามความต้องการ หรือตามที่กฎหมายกำหนด เช่นอยู่ในโครงการตรวจสอบแล้วซ่อมทันที ซึ่งจะต้องมีข้อมูลการสำรวจและแก้ไขอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรูปแบบการเก็บข้อมูลดังกล่าวมักจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. แบบสำรวจเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์ ซึ่งประกอบด้วย

- ชื่ออุปกรณ์ และรหัสแทนเครื่องมือสำหรับทุกอุปกรณ์ที่สำรวจ
- วัน เดือน ปี ที่สำรวจ
- วิธีการซ่อมแซมที่ใช้ หรือวัน เดือน ปี ที่การซ่อมแซมนี้จะเสร็จสมบูรณ์ (ถ้าการซ่อมแซมนั้นต้องการเวลาเกินกว่า 15 วัน) และวันที่แล้วเสร็จ
- ติดป้ายแสดงการรั่วไหลให้เห็นชัดเจน และป้ายนี้จะถูกถอดออกเมื่อการรั่วไหลถูกแก้ไขเรียบร้อยแล้ว และมีการตรวจสอบซ้ำ

ตารางที่ 1-9 ตัวอย่างแบบสำรวจในงานการสำรวจเพื่อตรวจสอบการรั่วของอุปกรณ์

แบบบันทึกการวัดสำรวจเพื่อซ่อมบำรุง (Leak Detection and Repair survey log)								
สายการผลิต..... ผู้ตรวจวัด.....								
อุปกรณ์ตรวจวัด.....								
อุปกรณ์	สถานะของสารในท่อ			หมายเลขประจำ อุปกรณ์ (Tag Number)	วันที่ พบว่ารั่ว (Date Leak Located)	วันที่ซ่อมบำรุง (Date Maintenance Performed)	การตรวจสอบหลังการซ่อมบำรุง (Component recheck After maintenance)	
	Gas	Liquid					วันที่ (Date)	ค่าที่อ่านได้ (Analyzer reading) (ppmv)
		Light	Heavy					

2. อุปกรณ์ควบคุม อาจหมายถึงระบบวนปิด (Closed-vent System) ระบบเผาทำลาย (Combustion Devices) ระบบผนึกกันรั่ว 2 ชั้น (Dual Mechanical Seals with Pressure Indicators) และ ระบบดักเก็บแล้วนำกลับมาใช้ (Vapour Recovery System) ประกอบด้วย

- ผัง แบบรายละเอียด แบบแสดงระบบท่อ ของบริเวณดังกล่าว
- วัน เดือน ปี ที่มีการเปลี่ยนแปลงของบริเวณดังกล่าว
- ประวัติการหยุดทำงาน หรือ การทำงานผิดพลาดของบริเวณดังกล่าว

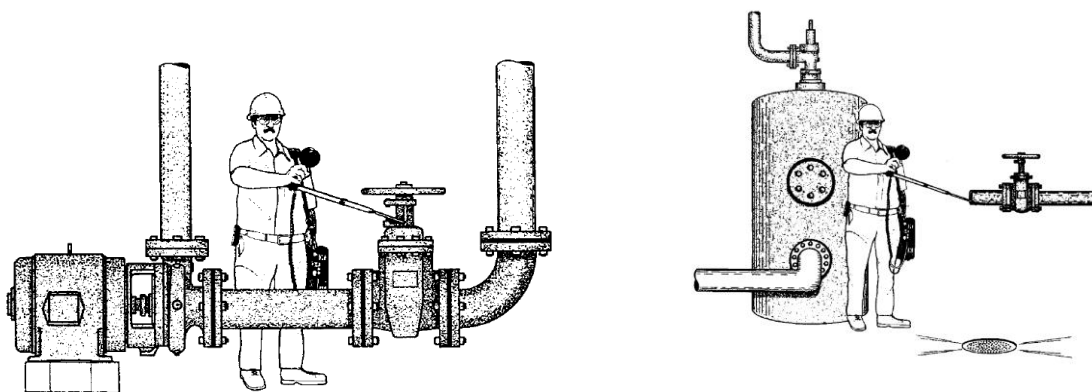
3) อุปกรณ์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม ไม่ตรวจพบว่ามีรั่วไหล (No Detectable Emission) ประกอบด้วย

- ชื่ออุปกรณ์ และรหัสแทนเครื่องมือสำหรับทุกอุปกรณ์ที่จัดเป็น ไม่ตรวจพบว่ามีรั่วไหล (No Detectable Emission)
- วัน เดือน ปี ที่ตรวจไม่พบการรั่วไหล (No Detectable Emission)
- ความเข้มข้นในบรรยากาศ (VOCs Background) และความเข้มข้น VOCs สูงสุดในขณะสำรวจแต่ละอุปกรณ์

4) การตรวจวัดเพื่อตรวจสอบการรั่วรายอุปกรณ์

ก่อนจะทำการตรวจสอบการรั่วไหลของอุปกรณ์ จะต้องมีการปรับเทียบ (Calibrate) อุปกรณ์ตรวจวัด VOCs และปล่อยให้อุปกรณ์ตรวจวัดทำงานจนกระทั่งอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน (ประมาณ 5 – 10 นาที ตามที่ผู้ผลิตระบุในคู่มือการใช้งาน)

สำหรับการตรวจสอบการรั่วโดยใช้ค่าความเข้มข้นเป็นเกณฑ์นั้น มีหลักการโดยทั่วไปคือ จัดปลายหัวเก็บตัวอย่างให้อยู่ใกล้ผิวของส่วนต่อของชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่คาดว่าจะมีการรั่ว (เช่น ระหว่างก้านวาล์วกับชุดผนึกกันรั่ว สำหรับวาล์ว) เคลื่อนหัวเก็บตัวอย่างไปตามแนวรอยต่อของชิ้นส่วนของอุปกรณ์ พร้อมกับ สังเกตการตอบสนองของเครื่องวัดว่ามีการตอบสนองอย่างไร ทำจนพบตำแหน่งที่ให้ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้สูงสุด หยุดหัววัดไว้ ณ ตำแหน่งนั้นทิ้งไว้ประมาณ 2 เท่าของ Response time ถ้าค่าสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องวัดสูงกว่าระดับที่จัดว่าเป็นการรั่ว ให้ทำการบันทึกและรายงานการรั่วนี้ตามแบบบันทึก ตัวอย่างการวัดแสดงใน รูปที่ 1-4



รูปที่ 1-4 ตัวอย่างการวัดเพื่อตรวจสอบการรั่วรายอุปกรณ์

ตัวอย่างรายละเอียดวิธีการตรวจสอบการรั่วไหลจากอุปกรณ์ต่างๆ

1. วาล์ว (Valve) เป็นอุปกรณ์ที่พบว่ามีรั่วไหลมากที่สุด ณ ตำแหน่ง ของ ชุดผนึกกันรั่ว (Seal) ระหว่างก้านวาล์ว กับ ตัววาล์ว ให้ตำแหน่งหัววัดอยู่ที่ ณ ตำแหน่งก้านวาล์ว กับ ชุดผนึกกันรั่ว อ่านค่าจากเครื่องวัด นอกจากนี้จะต้องวัดการรั่ว ณ ตำแหน่ง ช่องว่างระหว่างชุดผนึกกันรั่วกับตัววาล์ว (Packing Gland take up Flange Seat) นอกจากนั้นควรตรวจสอบทุกตำแหน่งที่อาจมีแนวโน้มการรั่วเกิดขึ้น

2. หน้าแปลน และ ข้อต่อ (Flange และ Connections) สำหรับหน้าแปลนที่เชื่อมต่อกันด้วยวิธีการเชื่อม (Welded Flange) ให้ตำแหน่งหัวเครื่องวัดอยู่ที่ริมขอบของแผ่นปะกันกันรั่ว (Flange-Gasket) แล้ววัดอ่านค่า

รอบๆ หน้าแปลน สำหรับข้อต่อที่เป็นลักษณะชั่วคราวอื่นๆ เช่น ข้อต่อแบบเกลียว (Threaded Connector) ก็ใช้วิธีเดียวกัน

3. ปั๊มและเครื่องอัดอากาศ (Pumps และ Compressors) ให้เคลื่อนหัววัดเป็นวงกลมรอบแกนหมุน และชุดผนึกกันรั่ว (Seal Interface) ถ้าอุปกรณ์กำลังทำงาน ให้ประมาณตำแหน่งให้หัวอ่านอยู่ห่างจากแกนหมุนของปั๊ม 1 เซนติเมตร ถ้าตำแหน่งของอุปกรณ์เป็นอุปสรรคต่อการวัด ให้วัดทุกตำแหน่งที่สามารถเข้าถึงได้ ให้เก็บข้อมูลผลการวัดทุกตำแหน่งที่มีแนวโน้มว่าอาจมีการรั่วเกิดขึ้น

4. วาล์วลดความดัน (Pressure Relief Devices) รูปร่างของ วาล์วลดความดัน จะทำให้การตรวจวัดที่แทนรับชุดผนึกกันรั่ว (Sealing Seat) ทำได้ยาก ในกรณีนี้ให้วางตำแหน่งหัววัดให้อยู่ตรงกลางจุดที่น่าจะมีการระบายสาร VOCs ที่รั่วออกสู่บรรยากาศ

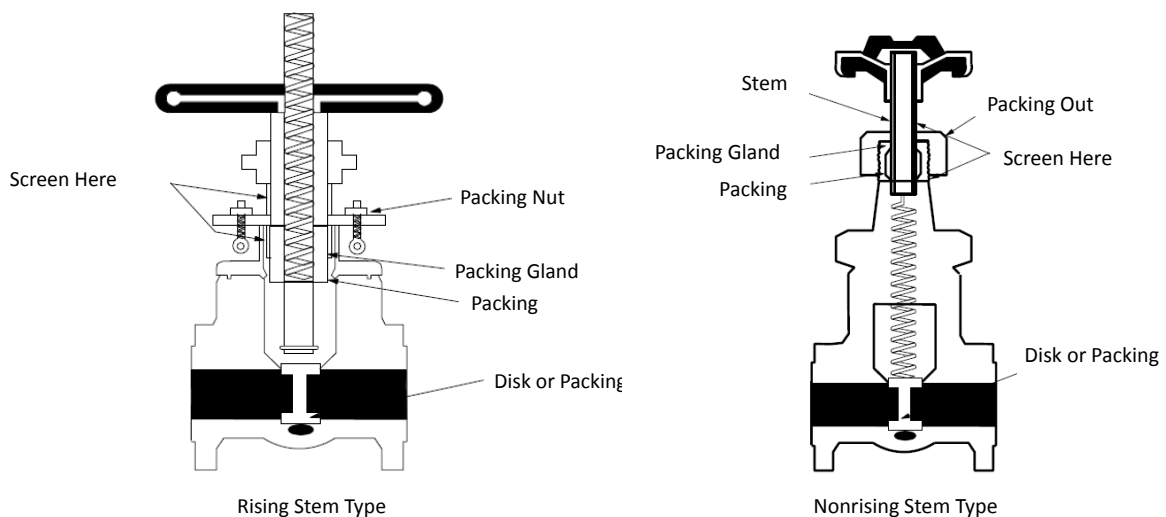
5. จุดระบายทิ้ง (Process Drains) วางตำแหน่งหัววัดให้อยู่ตรงกลางจุดที่จะมีการระบายสารออกสู่บรรยากาศ สำหรับจุดระบายทิ้งที่มีจุกหรือฝาปิดคลุม (Cover Drain) ให้เคลื่อนตำแหน่งหัววัดรอบจุกหรือฝาปิดคลุมเหมือนกับกรณีของหน้าแปลน

6. ท่อหรือวาล์วปลายเปิด (Open-ended Lines or Valves) วางตำแหน่งหัววัดให้อยู่ตรงกลางจุดที่จะเปิดออกสู่บรรยากาศ

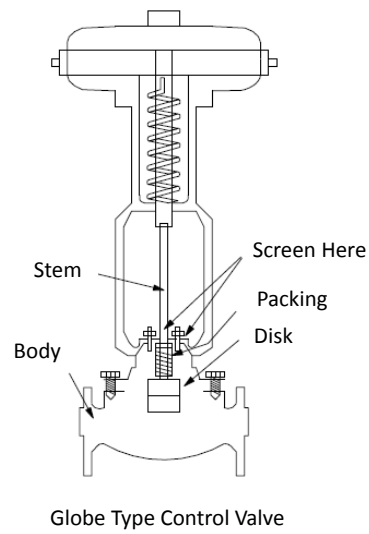
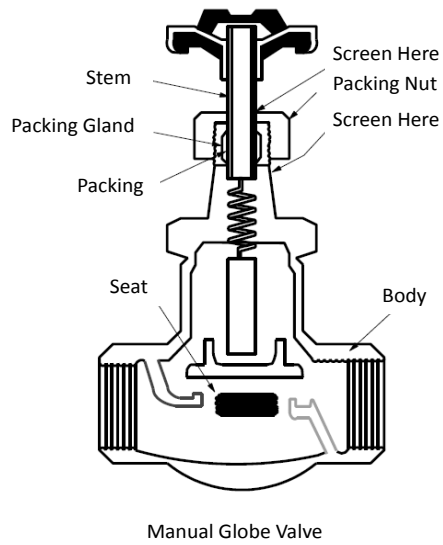
7. ระบบผนึกสำหรับระบบระบายก๊าซและระบบเก็บกัก (Seal System Degassing Vents and Accumulator Vents) วางตำแหน่งหัววัดให้อยู่ตรงกลางจุดที่จะเปิดออกสู่บรรยากาศ

8. ระบบผนึกช่องทางเข้าออก (Access Door Seals) วางตำแหน่งหัววัดให้อยู่ที่รอยต่อระหว่างประตูวัดตามแนวประตู

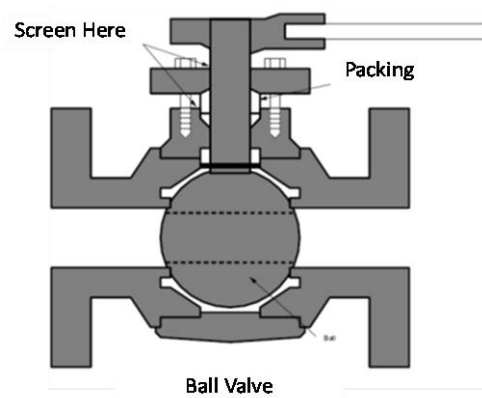
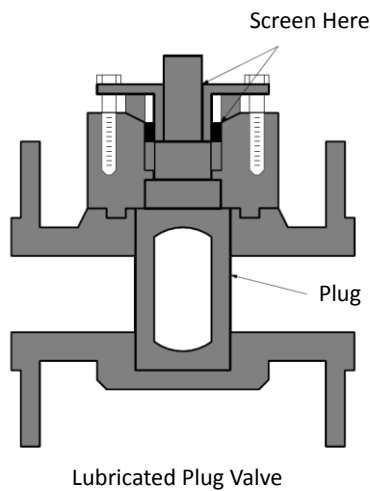
โดยแต่ละกลุ่มของอุปกรณ์มีตำแหน่งที่เหมาะสมตามรูปที่ 1-5 ถึง รูปที่ 1-10



รูปที่ 1-5 ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับวาล์วประตู (Gate Valves)

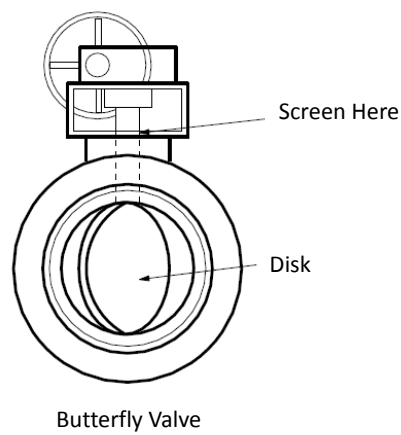


รูปที่ 1-6 ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับโกลบวาล์ว (Globe Valves)

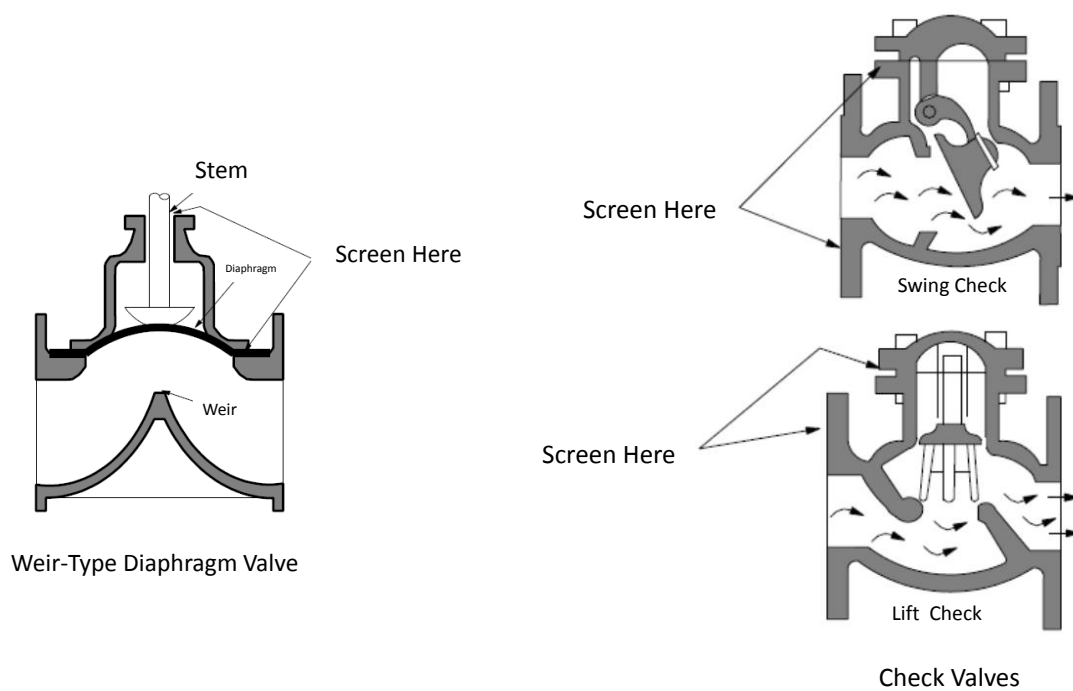


รูปที่ 1-7 ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับลูบริเคตเตดปลั๊กวาล์ว (Lubricated Plug Valve)

รูปที่ 1-8 ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับบอลวาล์ว (Ball Valve)



รูปที่ 1-9 ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับวาล์วปีกผีเสื้อ



รูปที่ 1-10 ตำแหน่งตรวจวัดการรั่วสำหรับวาล์วไดอะแฟรมแบบเวียร์ (Weir-Type Diaphragm Valve) และ เช็ก วาล์ว (Check Valve)

ข้อมูลที่ควรบันทึกขณะการตรวจวัดการรั่ว

1. ชื่อ รุ่น และ ระบบการตรวจวัด สำหรับเครื่องมือนั้นๆ
2. ผู้ทำการตรวจวัด
3. วันที่
4. หมายเลขประจำอุปกรณ์ (ID number) ถ้าอุปกรณ์นั้นไม่มีหมายเลขประจำอุปกรณ์ ให้กำหนดขึ้น
5. ชนิดของอุปกรณ์ (เช่น วาล์ว ข้อต่อ หน้าแปลน ท่อปลายเปิด)
6. ตำแหน่ง/สารที่อยู่ในท่อ (อาจมีการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ว่าอยู่ที่ไหนโดยสังเขป และ ระบุองค์ประกอบของสารซึ่งไหลอยู่ในท่อ)
7. สถานะของสารในท่อ ว่าเป็น ก๊าซ (Gas) ของเหลวเบา (Light Liquid) หรือของเหลวหนัก (Heavy Liquid)
8. จำนวนชั่วโมงต่อปีที่อุปกรณ์นั้นใช้งาน
9. ค่าที่ตรวจวัดได้ (Screening Value ในหน่วย ppmv)
10. ค่าความเข้มข้นของ VOCs ในบรรยากาศ (Background concentration) ณ จุดตรวจวัด ในหน่วย ppmv
11. ข้อสังเกต ถ้าการตรวจวัดนั้นต้องการการอธิบายเพิ่มเติม ให้ระบุใน “ข้อสังเกต”

ตารางที่ 1-10 ตัวอย่างแบบบันทึกคณะกรรมการตรวจวัดการรั่ว

ชื่ออุปกรณ์ตรวจวัด รุ่น.....

ผู้ตรวจวัด.....

วันที่.....

[illegible]

1.6 การจัดทำบัญชีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย

ในกระบวนการผลิตนั้น มวลสารส่วนหนึ่งจะมีการสูญเสียไปในกระบวนการผลิต และเป็นไปไม่ได้เลยที่จะควบคุมให้การสูญเสียไม่เกิดขึ้นหรือมีต่ำจนกระทั่งเป็น 0 การศึกษารวบรวมข้อมูลการสูญเสียนี้ สำหรับ VOCs เรียกว่าการทำบัญชีการปล่อย VOCs โดยทั่วไป การทำบัญชีการปล่อย VOCs ทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน หรือเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์หลายวัตถุประสงค์ร่วมกัน เช่น

1) **ทางราชการกำหนด** ในบางประเทศเช่นในสหรัฐอเมริกา กำหนดให้จะต้องรายงานบัญชีการปล่อย VOCs ทุกปี สำหรับกิจการที่มีการใช้งาน หรือ เกี่ยวข้องกับ VOCs

2) **ต้องการเปรียบเทียบกับกิจการอื่น** เพื่อต้องการเปรียบเทียบการสูญเสียกับกิจการแบบเดียวกัน หรือ เปรียบเทียบกรณีผลผลิตชนิดเดียวกันแต่ใช้กระบวนการผลิตคนละแบบ

3) **ต้องการทราบปริมาณการสูญเสียจากการผลิตหรือดำเนินการ** เพื่อประเมินการสูญเสีย เทียบกับค่าการสูญเสียที่ยอมรับได้สำหรับการผลิตนั้นๆ

4) **ต้องการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญและลำดับความสำคัญของแหล่งกำเนิด** ในวัตถุประสงค์นี้มักจะสรุปผลการทำบัญชีการปล่อย VOCs ให้อยู่ในรูปของกราฟวงกลม ก็เพื่อแสดงให้เห็นสัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่มีความสำคัญเรียงลำดับกันไป

5) **เพื่อระบุความสำคัญของปัญหา** เพื่อพิจารณาว่าปัญหาการปล่อย VOCs จากกิจการนั้น มีความสำคัญอย่างเร่งด่วนเพียงใด ที่จะต้องมีการจัดการหรือควบคุม

6) **เพื่อนำไปกำหนดมาตรการการลดการปล่อยมลพิษที่เหมาะสม** ถ้าผลจากการทำบัญชีการปล่อย VOCs พบว่า มีการปล่อยที่มีปริมาณมากอย่างมีนัยสำคัญ หรือมากเมื่อเทียบกับกิจการอย่างเดียวกัน ก็จะต้องมีกระบวนการหรือมาตรการ เพื่อลดการปล่อย VOCs ซึ่งจากกระบวนการการทำบัญชีการปล่อย VOCs จะสามารถทำให้เจ้าของกิจการทราบได้ว่า มาตรการที่กำหนดขึ้นนั้นจะสามารถลดการปล่อย VOCs ลงได้ในปริมาณเท่าใด ซึ่งทำให้สามารถเลือกมาตรการที่เห็นว่ามีแนวโน้มที่ลดการปล่อย VOCs ได้อย่างมีประสิทธิภาพมาใช้ก่อน

7) **ต้องการเทียบกับค่าอ้างอิง (Bench Mark หรือ Best Practice)** โดยการศึกษาว่า กิจการหรือกระบวนการผลิต ที่มีการดูแลอยู่ในระดับดี โดยเฉลี่ยแล้วมีการสูญเสีย VOCs ในปริมาณเท่าใด คำว่าปริมาณการสูญเสียในกรณีนี้ มักแสดงอยู่ในรูปของ มวลของ VOCs ทั้งหมด ที่เทียบเท่ามีเทน (C-1) ที่สูญเสียหรือปล่อยออกต่อ มวลของผลิตภัณฑ์ เช่น โรงงาน ผลิตเม็ดพลาสติก HDPE ที่ใช้กระบวนการผลิตแบบ Liquid Phase Slurry Process มีค่า Benchmark อยู่ที่ 0.77 กก.VOCs/ตัน HDPE หรือโรงกลั่นน้ำมัน ไม่ควรสูญเสีย VOCs เกินกว่า 0.02 กก.VOCs/บาร์เรลของน้ำมันดิบ หรือ คลังน้ำมัน ไม่ควรสูญเสียไอน้ำมัน (VOCs) เกินกว่า 0.08 กรัม.VOCs/ลิตรของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ขนถ่าย อัตราการปล่อย VOCs อ้างอิง หรือ Benchmark นี้ เป็นแนวทางให้ผู้ทำบัญชีการปล่อย VOCs ได้พิจารณา หรือลำดับความเร่งด่วนของการหามาตรการในการลดการปล่อย VOCs

ในสหรัฐอเมริกา ได้กล่าวถึงค่า Benchmark ว่า ถ้ากิจการใดประเมินการปล่อย VOCs แล้วพบว่า เกินกว่า Benchmark ดังกล่าว และพิจารณาที่จะดำเนินการลดการปล่อย VOCs ให้ลดลงจนใกล้เคียงกับ Benchmark ซึ่งจะต้องใช้ทรัพยากร เทคโนโลยี และเงินทุนจำนวนหนึ่ง แต่การลดการปล่อย VOCs ก็จะได้ VOCs ที่มีราคาลำยรายได้ตอบแทนกลับมา โดยทั่วไปแล้ว การลดการปล่อย VOCs จนใกล้กับ Benchmark จะมี

ผลตอบแทนกลับมามีมูลค่าสูงกว่าเงินลงทุนเสมอ ในสหรัฐอเมริกาใช้ความจริงนี้เพื่อชักชวนให้กิจการต่างๆที่มีการปล่อย VOCs ได้ดำเนินการทำบัญชีการปล่อย VOCs อย่างถูกต้อง เพื่อให้ได้ข้อมูลการปล่อย VOCs ที่แม่นยำและนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการและควบคุมการปล่อย VOCs ซึ่งอย่างน้อยจะลดลงจนเท่ากับ Benchmark ซึ่งจะได้รับผลประโยชน์ร่วมกันทั้งเจ้าของกิจการและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1-11 ตัวอย่าง Benchmark ของการปล่อย VOCs

แหล่งกำเนิด VOCs	อัตราการปล่อย VOCs	หน่วย
การผลิต โพลีเอททิลีน โดย ปฏิกริยาในสภาพของเหลว (Polypropylene, liquid phase process)	2.05 ¹⁾	กก./ตัน
การผลิต โพลีเอททิลีน โดย ปฏิกริยาในสภาพก๊าซ (Polypropylene, gas phase process)	0.41 ¹⁾	กก./ตัน
LDPE ปฏิกริยา ที่ความดันต่ำ	0.41 ¹⁾	กก./ตัน
LDPE ปฏิกริยา ที่ความดันต่ำ (low pressure process)	0.09 ¹⁾	กก./ตัน
HDPE ปฏิกริยาในสภาพของเหลวข้น (liquid phase slurry process)	0.77 ¹⁾	กก./ตัน
HDPE ปฏิกริยาในสภาพของเหลว (liquid phase solution process)	2.08 ¹⁾	กก./ตัน
HDPE ปฏิกริยาในสภาพก๊าซ (gas phase process)	0.09 ¹⁾	กก./ตัน
โพลีสไตรีน ปฏิกริยาต่อเนื่อง (continuous process)	0.05 ¹⁾	กก./ตัน
PETL ปฏิกริยาไดเมททิลเทอราฟทาเลต (Poly(ethylene terephthalate), dimethyl terephthalate process)	1.92 ¹⁾	กก./ตัน
PETL ปฏิกริยาเทอราฟทาติก แอซิด (Poly(ethylene terephthalate), terephthalic acid process)	5.72 ¹⁾	กก./ตัน
โรงกลั่นน้ำมัน	0.02 ²⁾	กก./บาเรล
คลังปิโตรเลียม	0.08 ³⁾	มก./ลิตร
ปั้มน้ำมัน	1.2 ⁴⁾	ก./ลิตร

1) CFR 40: P 60, Subpart DDD (CFR, 1990)

2) (USEPA. 1990)

3) CFR 40: P 60, Subpart NNN (CFR, 1990)

4) CFR 40: P 60, Subpart XX (CFR, 1990)

โดยทั่วไปเทคนิคในการทำบัญชีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย (Source Inventory) สามารถกระทำได้หลายวิธีคือ

1) **โดยการใช้วิธีสมดุลของมวล (Mass Balance Approach)** โดยหลักการคืออัตราการไหลเข้าของมวลของธาตุแต่ละชนิดที่เข้าไปในระบบจะมีอัตราเท่ากับอัตราการไหลออกจากระบบของธาตุนั้นๆ เช่น เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนซึ่งมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ จะปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการสันดาปของซัลเฟอร์ออกมา อัตราการปล่อยของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังกล่าว ประเมินได้จาก สัดส่วนมวลของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง อัตราการใช้เชื้อเพลิง และสมการสมดุลโมลทางเคมี วิธีนี้ใช้ได้ดีกับการประเมินการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และโลหะหนัก

2) **โดยการใช้สัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs (Emission Factors Approach)** ในสหรัฐอเมริกา มีเครื่องมือที่ช่วยให้การศึกษาง่ายเข้าซึ่งที่มีประโยชน์มาก 2 แห่งคือ

ก. Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP42 ซึ่งเป็นเอกสารที่มีข้อมูลอัตราการปล่อย VOCs ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในรูป Total VOCs ซึ่งสอดคล้องกับการควบคุมเพื่อลดปัญหาโอโซนในบรรยากาศระดับผิวพื้น เช่น ตารางที่ 1-11 แสดงถึงสัมประสิทธิ์การปล่อยสารมลพิษจากอุตสาหกรรมเคลือบผิว

ตารางที่ 1-12 สัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs สำหรับอุตสาหกรรมเคลือบผิว

ขนาดของโรงงานและวิธีการควบคุม	VOC Emissions		
	kg/m ² พื้นที่เคลือบ	kg/yr	kg/hr
โรงงานขนาดเล็ก			
ไม่มีการควบคุม	0.064	2,875	1.44
ลดปริมาตรตัวทำละลายเหลือ 65 % ใช้เทคนิคการเคลือบผิวสารละลายความเข้มข้นสูง (High Solids Coating)	0.019	835	0.42
การเคลือบผิวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	0.012	520	0.26
โรงงานขนาดกลาง			
ไม่มีการควบคุม	0.064	49,815	24.90
ลดปริมาตรตัวทำละลายเหลือ 65 % ใช้เทคนิคการเคลือบผิวสารละลายความเข้มข้นสูง (High Solids Coating)	0.019	14,445	7.22
การเคลือบผิวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	0.012	8,970	4.48
โรงงานขนาดใหญ่			
ไม่มีการควบคุม	0.064	255,450	127.74
ลดปริมาตรตัวทำละลายเหลือ 65 % ใช้เทคนิคการเคลือบผิวสารละลายความเข้มข้นสูง (High Solids Coating)	0.019	74,080	37.04
การเคลือบผิวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	0.012	46,000	23.00

เอกสารนี้สามารถ download ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจาก <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>

ข. SPECIATE Version 3.2 เป็น software เชิงฐานข้อมูล ที่รวบรวม ผลการทำ บัญชีการปล่อยสารเคมี รายชนิดรวมทั้ง VOCs โดยมีข้อมูลสัดส่วนหรือองค์ประกอบในก๊าซที่ปล่อยออกตามกิจกรรม เอกสารนี้มีประโยชน์ มากในการหาอัตราการปล่อย VOCs ในกลุ่มสารพิษทางอากาศ (HAPs) จากอุตสาหกรรมแต่ละชนิด หรือ จาก แหล่งกำเนิดต่างๆ ทำให้เราสามารถรวบรวมชื่อ VOCs และจัดลำดับความสำคัญของสารเคมีแต่ละชนิด ตาม ความเป็นพิษและปริมาณที่ปล่อยออกได้ เอกสารนี้สามารถ download ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจาก <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/speciate/index.html> (US.EPA, 2012)

ค. โดยการใช้การตรวจวัด ณ จุดปล่อย (Source Sampling Approach) โดยหลักการคือใช้ข้อมูลผล การตรวจวัดที่จุดปล่อยเพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับสัมประสิทธิ์การปล่อยสารมลพิษซึ่งผลการตรวจวัดที่ระดับ ความละเอียดไม่มากนักจะสามารถนำไปจำแนก หรือ เลือกใช้สัมประสิทธิ์การปล่อยที่ถูกต้องมากขึ้น

โดยการใช้การตรวจวัด ณ จุดปล่อย (Source Sampling Approach) องค์การคุ้มครองสิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency, U.S.EPA) ก็ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัด VOCs ที่จุดปล่อย ตามวัตถุประสงค์ เช่น การตรวจวัดรายสารเคมีใช้ Method 18 และสำหรับ VOCs รวม ใช้ Method 25 เอกสารนี้ สามารถ download ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจาก www.epa.gov/ttn/amtic (US.EPA, 2012)

เทคนิคการทำบัญชีการปล่อย VOCs ที่มีการนำมาใช้จริง ได้แบ่งแหล่งกำเนิด VOCs ออกเป็น 6 แหล่ง คือ

- 1) การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitives)
- 2) การเผาไหม้ (Combustion)
- 3) จากถังเก็บสารเคมี (Tanks)
- 4) จากการขนถ่าย (Transportation & Marketing)
- 5) จากระบบเผาทิ้ง (Flare)
- 6) จากระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Plant)

การทำบัญชีการปล่อย VOCs จากแหล่งกำเนิดต่างๆ มีหลักการและเทคนิคดังต่อไปนี้

1.6.1 จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitives)

วิธีการประเมินการปล่อยสารมลพิษอ้างอิงจากเอกสารชื่อ Protocol for Equipment Leak Emission Estimates จัดทำโดย US.EPA (US.EPA, 1996)

ในเอกสารดังกล่าวได้ระบุวิธีการประมาณการปล่อย VOCs ได้ 4 วิธี โดยแต่ละวิธีจะได้ผลใกล้เคียงกัน โดยมีหลักการดังนี้

1) วิธี Average Emission Factor Approach ใช้การประเมินโดยคูณจำนวนอุปกรณ์ (วาล์ว, ข้อต่อ, ฯลฯ), ด้วย สัมประสิทธิ์การปล่อยสารอินทรีย์ระเหย ที่จำแนกตามสถานะของสารที่ผ่านอุปกรณ์นั้น ที่เรียกว่า "Service" ซึ่งจำแนกเป็นสถานะ ก๊าซ (Gas) ของเหลวเบา (Light Liquid) หรือ ของเหลวหนัก (Heavy Liquid) โดยมีค่าจำกัดความของ "สถานะ" ของ VOCs ดังนี้

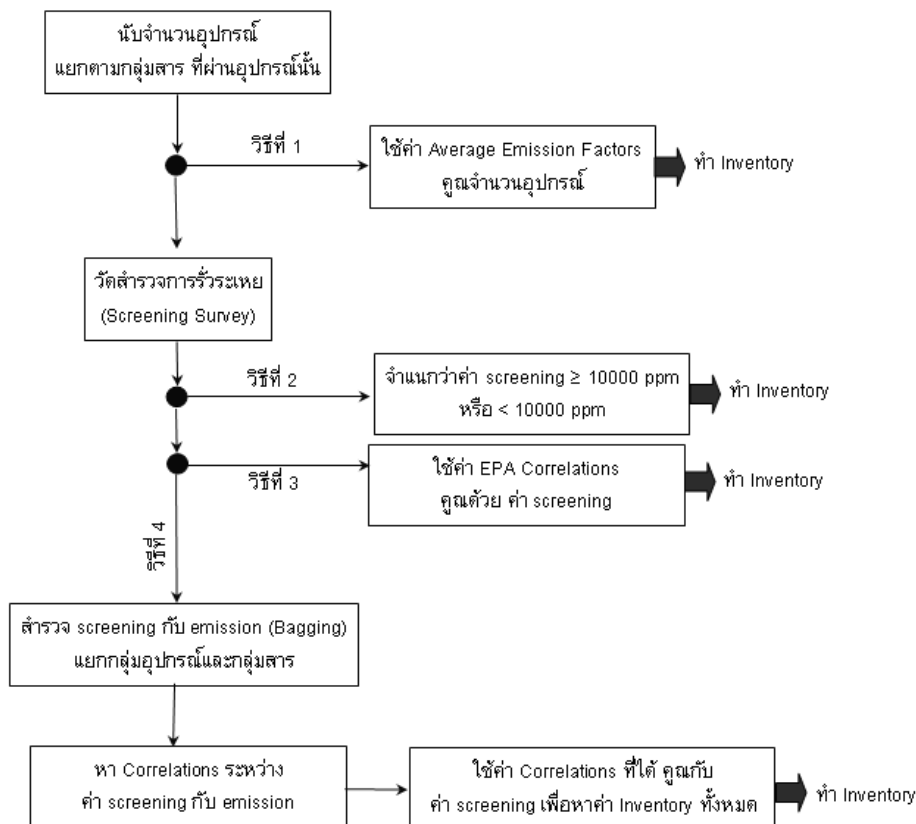
“ก๊าซ/ไอ (Gas/vapor)” หมายความว่า สถานะของสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นก๊าซหรือไอขณะที่ปรากฏอยู่ในอุปกรณ์หรือท่อ

“ของเหลวเบา (Light liquid)” หมายความว่า สาร VOCs ที่อยู่ในท่อหรืออุปกรณ์ อยู่ในสถานะของเหลว ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป โดยที่ VOCs ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบ มีความดันไอ (Vapor Pressure) มากกว่า 0.3 กิโลปาสกาลที่ 20 องศาเซลเซียส โดยมวลรวมของ VOCs กลุ่มนี้ ต้องมีรวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีสถานะเป็นของเหลวขณะที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์

“ของเหลวหนัก (Heavy liquid)” หมายความว่า สาร VOCs ที่อยู่ในท่อหรืออุปกรณ์ อยู่ในสถานะของเหลวตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปและมีคุณสมบัติไม่ใช่ของเหลวเบา

การนับจำนวนอุปกรณ์ที่อาจมีการรั่วระเหยของสารอินทรีย์ระเหยนั้น มีหลักการดังต่อไปนี้

- 1) ใช้งานกับท่อหรือการไหลผ่านที่มีสัดส่วนสารอินทรีย์ระเหยไม่ต่ำกว่าร้อยละสิบโดยมวล
- 2) อุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่อยู่ในรายการอุปกรณ์ ให้เทียบเคียงลักษณะของอุปกรณ์นั้นๆ กับรายการอุปกรณ์ที่มีอยู่เช่น เครื่องกวนให้นับรวมกับปั๊มที่ใช้งานกับของเหลวเบา หัวเติมสารเคมีลงในภาชนะ (เช่น หัวจ่ายน้ำมัน) ให้นับรวมในท่อปลายเปิด (Open End) หรือ manhole ให้นับเป็น 1 ข้อต่อ และอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีลักษณะจุ่มหัววัดลงในกระแสน้ำไหลของสารอินทรีย์ระเหยในท่อให้นับรวมกับวาล์ว เป็นต้น



รูปที่ 1-11 วิธีการประเมินการปล่อยสารมลพิษ

3) อุปกรณ์ที่ไม่ถือเป็นอุปกรณ์ที่อาจมีการรั่วระเหยของสารอินทรีย์ระเหย มีดังต่อไปนี้

ก. อุปกรณ์นั้นใช้กับสถานะที่เป็นสุญญากาศ โดย “สถานะสุญญากาศ” (Vacuum) หมายความว่า สถานะที่ความดันภายในอุปกรณ์ (Internal Pressure) มีค่าต่ำกว่าความดันของบรรยากาศภายนอก อย่างน้อย 5 กิโลปาสกาล

ข. การรั่วระเหยจากอุปกรณ์นั้นไม่ได้ปล่อยสู่บรรยากาศ เช่น การต่อทางออกจาก วาล์วลดความดัน (Pressure Release Valve) กับระบบปิด โดย “ระบบปิด” (Closed System) หมายความว่า ระบบที่ควบคุม อุปกรณ์ให้มีการระบายไอสารอินทรีย์ง่ายออกสู่สิ่งแวดล้อมเช่น ระบบท่อปิด (Closed – vent system) ที่มีการบำบัดโดยการต่อเข้าระบบเผาไหม้ (Flare) หรือผ่านระบบดูดซับ (Absorber) หรือระบบหมุนเวียนเข้าสู่กระบวนการผลิต (Closed – loop system) หรือ ในการใช้งานปกติ อุปกรณ์นั้นไม่ได้สัมผัสกับกระแสการไหลของสารอินทรีย์ระเหยในท่อ

ค. อุปกรณ์นั้น ถูกหุ้มคลุมตำแหน่งที่อาจมีการรั่วระเหย เช่น ที่ก้านวาล์ว

ง. อุปกรณ์นั้นมีระบบควบคุม 2 ชั้น เช่น double mechanical sealed หรือ dual mechanical seal สำหรับวาล์วหรือปั๊ม

ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs สำหรับ อุปกรณ์ต่างๆ แบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ใช้กับ Synthetic Organic Compounds Manufacturing Industry (SOCMI) ใช้สำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลางและขั้นปลาย

ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย ใช้กับอุตสาหกรรม ก๊าซและน้ำมัน (Oil & Gas Industry) ใช้สำหรับ อุตสาหกรรม ปิโตรเคมีขั้นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซ คลังน้ำมัน คลังก๊าซ ปั๊มน้ำมันและปั๊ม ก๊าซ สถานีเพิ่มความดันก๊าซ เป็นต้น

รายละเอียดของค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs สำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด สำหรับอุตสาหกรรมทั้ง 2 กลุ่ม แสดงในตารางที่ 1-13 และ ตารางที่ 1-14

ตารางที่ 1-13 ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่ม SOCMI

อุปกรณ์ (Equipment type)	สถานะสาร (Service)	Emission factor ^a (กก./ชม./อุปกรณ์)
วาล์ว (Valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.00597
	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.00403
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.00023
ปั๊ม (Pump Seals ^b)	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.0199
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.00862
เครื่องอัดอากาศ (Compressor Seals)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.228
วาล์วลดความดัน (Pressure relief valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.104
ข้อต่อ (Connectors)	ทุกสถานะ	0.0183

อุปกรณ์ (Equipment type)	สถานะสาร (Service)	Emission factor ^a (กก./ชม./อุปกรณ์)
ท่อปลายเปิด (Open-ended lines)	ทุกสถานะ	0.0017
จุดเก็บตัวอย่าง (Sampling connections)	ทุกสถานะ	0.0150

^a ค่าสัมประสิทธิ์นี้เป็น VOCs รวม

^b ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับปั๊มที่ใช้งานกับของเหลวเบา(Light Liquid) ใช้กับเครื่องกวน (Agitator Seals) ด้วย

ตารางที่ 1-14 ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่มโรงกลั่นและโรงแยกก๊าซ

อุปกรณ์ (Equipment type)	สถานะสาร (Service)	Emission factor ^a (กก./ชม./อุปกรณ์)
วาล์ว (Valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.0268
	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.0109
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.00023
^b ปั๊ม (Pump Seals ^b)	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.114
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.021
เครื่องอัดอากาศ (Compressor Seals)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.636
วาล์วลดความดัน (Pressure relief valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.16
ข้อต่อ (Connectors)	ทุกสถานะ	0.00025
ท่อปลายเปิด (Open-ended lines)	ทุกสถานะ	0.0023
จุดเก็บตัวอย่าง (Sampling connections)	ทุกสถานะ	0.0150

2) วิธี Screening Ranges Approach แนวความคิดนี้ เดิมเรียกว่า หลักการพิจารณาว่าอุปกรณ์ชิ้นนั้น รั่วหรือไม่ หรือ “leak/no-leak approach” หลักการนี้ใช้กระบวนการจำแนกอุปกรณ์ ว่า “รั่ว(Leak)” หรือไม่ โดยการตรวจวัดการรั่วระเหย ถ้าเกินเกณฑ์ 10,000 ppmv ก็จะจัดว่า “รั่ว(Leak)” ซึ่งจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ค่าหนึ่ง ซึ่งจะเป็นค่าสูง แต่ถ้าต่ำกว่า 10,000 ppmv จะสรุปว่าอุปกรณ์นั้น “ไม่รั่ว (no-leak)” จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์อีกค่าหนึ่งซึ่งต่ำกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวแสดงอยู่ในตารางที่ 1-15 ตารางที่ 1-16

ตารางที่ 1-15 ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Screening Ranges สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่ม SOCM I

อุปกรณ์ (Equipment type)	สถานะสาร (Service)	Emission factor	
		≥ 10,000 ppmv (กก./ชม./อุปกรณ์) ^a	< 10,000 ppmv (กก./ชม./อุปกรณ์) ^a
วาล์ว (Valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.0782	0.000131
	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.0892	0.000165
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.00023	0.00023
ปั๊ม (Pump Seals ^b)	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.243	0.00187
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.216	0.00210
เครื่องอัดอากาศ (Compressor Seals)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	1.608	0.0894
วาล์วลดความดัน (Pressure relief valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	1.691	0.0447
ข้อต่อ (Connectors)	ทุกสถานะ	0.113	0.0000810
ท่อปลายเปิด (Open-ended lines)	ทุกสถานะ	0.01195	0.00150

^a ค่าสัมประสิทธิ์นี้เป็น VOCs รวม

^b ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับปั๊ม ที่ใช้งานกับของเหลวเบา (Light Liquid) ใช้กับเครื่องกวน (Agitator Seals) ด้วย

ตารางที่ 1-16 ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Screening Ranges สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่มโรงกลั่น และโรงแยกก๊าซ

อุปกรณ์ (Equipment type)	สถานะสาร (Service)	Emission factor	
		≥ 10,000 ppmv (กก./ชม./อุปกรณ์) ^a	< 10,000 ppmv (กก./ชม./อุปกรณ์) ^a
วาล์ว (Valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	0.2626	0.0006
	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.0852	0.0017
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.00023	0.00023
ปั๊ม (Pump Seals ^b)	ของเหลวเบา (Light Liquid)	0.437	0.0120
	ของเหลวหนัก (Heavy Liquid)	0.3885	0.0135
เครื่องอัดอากาศ (Compressor Seals)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	1.608	0.0894
วาล์วลดความดัน (Pressure relief valves)	ก๊าซ/ไอ (Gas/Vapor)	1.691	0.0447
ข้อต่อ (Connectors)	ทุกสถานะ	0.0375	0.00006
ท่อปลายเปิด (Open-ended lines)	ทุกสถานะ	0.01195	0.00150

3). วิธีการตรวจวัด (Source Screening) แล้วใช้สมการเพื่อจำแนกสัมประสิทธิ์การปล่อย (Leak Rate/Screening Value Correlations)

โดยหลักการคือ ใช้อุปกรณ์การตรวจวัดความเข้มข้น VOCs ในหน่วย ppmV เทียบเท่ากับมีเทน (หรือ C-1) แล้วนำค่าผลการตรวจวัดดังกล่าวแทนค่าลงในสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ppmV ที่วัดได้ กับ อัตราการปล่อย VOCs ที่สอดคล้องกับชนิดของอุปกรณ์และสถานะของ VOCs ที่อยู่ในอุปกรณ์หรือในท่อ โดยวิธีตรวจวัดวิธีที่ 21 (EPA Reference Method 21- Determination of Volatile Organic Compound Leaks (40 CFR 60, Appendix A)) สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงอยู่ในตารางที่ 1-17 และ 1-18

ตารางที่ 1-17 ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Leak Rate/Screening Value Correlations สำหรับอุตสาหกรรม กลุ่ม SOCMI

อุปกรณ์ (Equipment type)	Correlation ^a
วาล์ว กับ ก๊าซ/ไอ (Gas valves)	Leak rate (กก./ชม.) = $1.87\text{E-}06 \times (\text{SV})^{0.873}$
วาล์ว กับ ของเหลวเบา (Light liquid valves)	Leak rate (กก./ชม.) = $6.41\text{E-}06 \times (\text{SV})^{0.797}$
ปั๊ม กับ ของเหลวเบา (Light liquid pumps) ^b	Leak rate (กก./ชม.) = $1.90\text{E-}05 \times (\text{SV})^{0.824}$
ข้อต่อ (Connectors)	Leak rate (กก./ชม.) = $3.05\text{E-}06 \times (\text{SV})^{0.885}$

^aSV = ค่าผลการตรวจวัด (Screening Value) ในหน่วย ppmV

^bสมการความสัมพันธ์ สำหรับ ปั๊ม กับ ของเหลวเบา สามารถใช้กับ เครื่องอัดอากาศ วาล์วลดความดัน เครื่องกวน และปั๊ม กับ ของเหลวหนัก

ตารางที่ 1-18 ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วระเหย VOCs โดยวิธี Leak Rate/Screening Value Correlations สำหรับอุตสาหกรรมกลุ่มโรงกลั่นโรงแยกก๊าซ

อุปกรณ์ กับ สาร (Equipment type/service)	Correlation ^b
วาล์ว กับ ทุกสถานะสาร (Valves/all)	Leak rate (กก./ชม.) = $2.29\text{E-}06 \times (\text{SV})^{0.746}$
ปั๊ม กับ ทุกสถานะสาร (Pump seals/all)	Leak rate (กก./ชม.) = $5.03\text{E-}05 \times (\text{SV})^{0.610}$
อุปกรณ์อื่นๆ ^c	Leak rate (กก./ชม.) = $1.36\text{E-}05 \times (\text{SV})^{0.589}$
ข้อต่อ กับ ทุกสถานะสาร (Connectors/all)	Leak rate (กก./ชม.) = $1.53\text{E-}06 \times (\text{SV})^{0.735}$
หน้าแปลน กับ ทุกสถานะสาร (Flanges/all)	Leak rate (กก./ชม.) = $4.61\text{E-}06 \times (\text{SV})^{0.703}$
ท่อปลายเปิด กับ ทุกสถานะสาร (Open-ended lines/all)	Leak rate (กก./ชม.) = $2.20\text{E-}06 \times (\text{SV})^{0.704}$

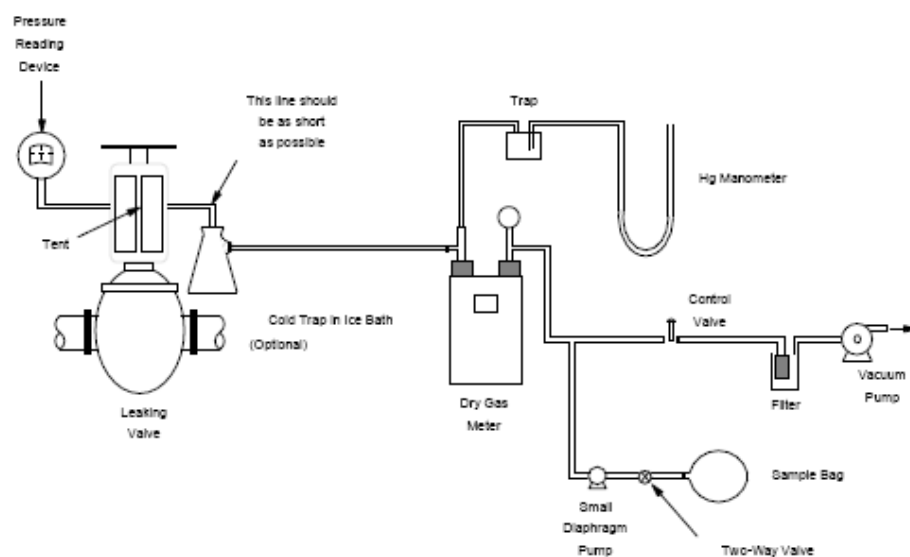
^aใช้กับอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

^bSV = ค่าตรวจวัดในหน่วย ppmv

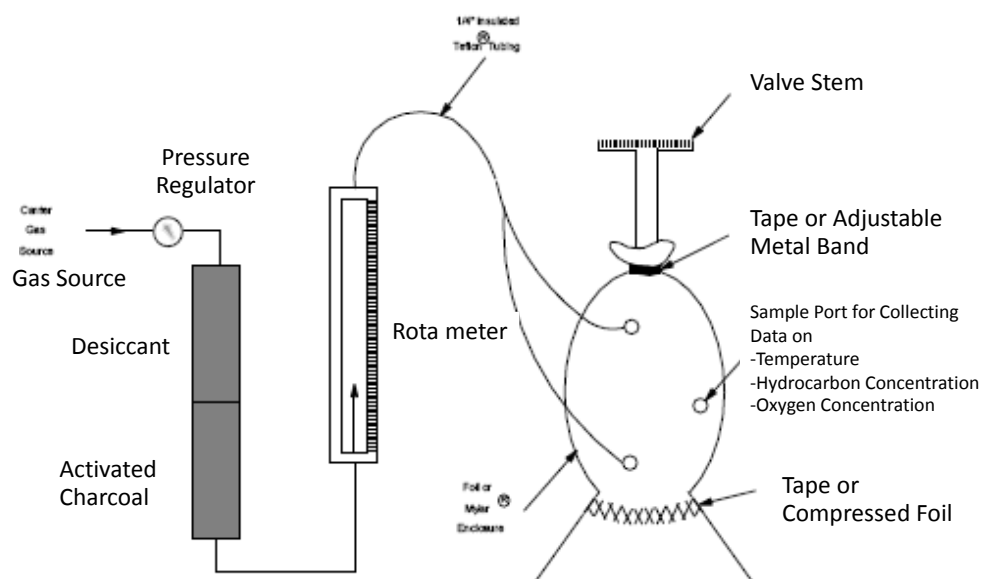
^c“อื่นๆ” รวมถึง “หัวจ่ายสาร (Loading Arms)”, วาล์วลดความดัน (Pressure relief Valves), Stuffing Boxes, และ ท่อระบาย (Vents) ที่นอกเหนือจาก วาล์ว ปั๊ม ท่อปลายเปิด หน้าแปลน ข้อต่อ

4) โดยวิธีการสำรวจเพื่อระบุอัตราการปล่อย (Mass Emission Sampling: Bagging) โดยหลักการคือการสำรวจเพื่อหาสมการความสัมพันธ์จริงระหว่างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ppmV ที่วัดได้กับอัตราการปล่อย VOCs ที่แต่ละชนิดของอุปกรณ์และสถานะของ VOCs ที่อยู่ในอุปกรณ์หรือในท่อสำหรับโรงงาน หรือกิจการหนึ่งโดยเฉพาะ (โดยทั่วไปเป็นสมการเฉพาะโรงงาน ไม่สามารถนำไปใช้กับโรงงานอื่นๆได้ ถึงแม้จะเป็นโรงงานประเภทเดียวกัน) ในเอกสาร Protocol for Equipment Leak Emission Estimates จัดทำโดย US. EPA (US.EPA, 1996) ได้แนะนำ วิธีการสำรวจ และวิธีการสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าว ตามแบบ EPA Correlation Equation Approach วิธีการวัดและสำรวจมีอยู่ 2 วิธี วิธีแรกคือการหุ้ม หรือ คลุมอุปกรณ์ที่จะสำรวจเพื่อแยกอุปกรณ์ดังกล่าวให้การรั่วไหลจากอุปกรณ์นี้อยู่ในบริเวณที่จำกัดให้อยู่ในภาชนะหุ้ม หรือถุงเก็บสะสม VOCs ที่รั่วระเหยจับเวลา แล้วนำไปวิเคราะห์ ส่วนวิธีที่ 2 ทำโดยการดึงอากาศผ่านจุดรั่วระเหย (Vacuum Method) หรือ เป่าอากาศผ่านจุดรั่วระเหย (Blow-Through Method) ด้วยอัตราการไหลของอากาศที่ทราบค่าและคงที่ รูปที่ 1-12 และ 1-13 แสดงวิธีสำรวจอัตราการรั่วระเหย ทั้ง 2 วิธี

เมื่อวัดความเข้มข้น VOCs รวม ในอากาศที่ผ่านจุดรั่วระเหย แล้วคูณด้วยอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านจุดรั่วระเหย จะได้อัตราการรั่วระเหยที่ค่าตรวจวัด (ppmV) ต่างๆ แล้วจึงนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์ ตัวอย่างของข้อมูลจากการสำรวจแสดงใน ตารางที่ 1-19



รูปที่ 1-12 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการรั่วระเหยโดยวิธีดึงอากาศผ่านจุดรั่วระเหย (Vacuum Method)



รูปที่ 1-13 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการรั่วระเหยโดยวิธีเป่าอากาศผ่านจุดรั่วระเหย (Blow-Through)

ตารางที่ 1-19 ตัวอย่างผลการวัดการรั่วระเหยเพื่อนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์ (correlation equation)

หมายเลขประจำอุปกรณ์ ^b	ค่าที่ตรวจวัดได้	อัตราการปล่อย VOC ^c
A-1	0	0.066
A-2	0	0.066
A-3	0	0.066
A-4	0	0.066
A-5	0	0.066
A-6	20	2.0
A-7	50	4.2
A-8	50	4.2
A-9	100	7.4
A-10	100	7.4
A-11	200	13
A-12	400	23
A-13	1,000	49
A-14	2,000	87
A-15	5,000	190
รวมอัตราการปล่อย VOCs จาก ระบบการไหล A (Stream A)		390
B-1	0	0.033

หมายเลขประจำอุปกรณ์ ^b	ค่าที่ตรวจวัดได้	อัตราการปล่อย VOC ^c
B-2	0	0.033
B-3	0	0.033
B-4	10	0.55
B-5	30	1.4
B-6	250	79
B-7	500	14
B-8	2,000	44
B-9	5,000	93
B-10	8,000	140
B-11	25,000	350
B-12 (100%VOC) ^d	ไม่ได้ตรวจวัด	87
รวมอัตราการปล่อย VOCs จาก ระบบการไหล A (Stream B)		740
รวมอัตราการปล่อย VOCs		1,130

^a ที่มา: EPA, November, 1995, Table A-4

^b ชนิดอุปกรณ์: ปั๊ม กับ ของเหลวเบา (Light liquid pumps)

Correlation Equation; Leak Rate (กก./ชม.) = $1.90 \times 10^{-5} \times (\text{ค่าที่ตรวจวัดได้})^{0.834}$

อัตราการปล่อยเมื่อวัดได้ค่า 0 ; 7.49×10^{-6} กก./ชม.

ชั่วโมงทำงานต่อปี : Stream A = 8,760 ; Stream B = 4,380

จะได้ตัวอย่าง ของ Correlation Equation ดังตารางที่ 1-20

ตารางที่ 1-20 ตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ (correlation equation) เพื่อคำนวณการปล่อย VOCs

ชนิดอุปกรณ์ (Equipment Type)	อัตราการปล่อยเมื่อ วัดได้ค่า 0 (กก./ชม./อุปกรณ์)	อัตราการปล่อย VOCs (กก./ชม./อุปกรณ์)		Correlation Equation (กก./ชม./อุปกรณ์)
		10,000 ppmv	100,000 ppmv	
วาล์ว กับ ก๊าซ/ไอ (Gas Valves)	6.6E-07	0.024	0.11	Leak Rate = $1.87\text{E-}06 \times (\text{SV})$
วาล์ว กับ ของเหลวเบา (Light Liquid Valves)	4.9E-07	0.036	0.15	Leak Rate = $6.41\text{E-}06 \times (\text{SV})$
ปั๊ม กับ ของเหลวเบา (Light Liquid Pump) ^b	7.5E-06	0.14	0.62	Leak Rate = $1.90\text{E-}05 \times (\text{SV})$
ข้อต่อ (Connectors)	6.1E-07	0.044	0.22	Leak Rate = $3.05\text{E-}06 \times (\text{SV})$

^a ที่มา; EPA, November 1995, ตาราง 2-9, 2-11 และ 2-13

^b สมการความสัมพันธ์ สำหรับปั๊มกับของเหลวเบาสามารถใช้กับเครื่องอัดอากาศ วาล์วลดความดัน เครื่องกวน และปั๊ม กับ ของเหลวหนัก

1.6.2. การเผาไหม้

การเผาไหม้เชื้อเพลิงเกือบทุกชนิดมักเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สารที่เป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนหนึ่งคือเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด และอีกส่วนหนึ่งคือสารที่เกิดขึ้นขณะเกิดกระบวนการสันดาป และส่วนหนึ่งในนั้นคือ VOCs

US.EPA ได้รวบรวม อัตราการเกิด VOCs จากหน่วยการผลิตที่มีการเผาไหม้ คือ หม้อไอน้ำ เตาเผา และการเผาทำลาย ในลักษณะสัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs ต่อหน่วยเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยรวบรวมข้อมูลไว้ใน เอกสาร Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP42 (US.EPA, 2009) หรือ AIR CHIEF CD-ROM ซึ่งเป็นเอกสารที่มีข้อมูลอัตราการปล่อย VOCs จากกิจกรรมต่างๆ ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในรูป “VOCs รวม” ซึ่งสอดคล้องกับการควบคุมเพื่อลดปัญหาโอโซนในบรรยากาศระดับผิวพื้น ตัวอย่างข้อมูลดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1-21

ตารางที่ 1-21 สัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs จากการเผาไหม้ตามชนิดเชื้อเพลิงและแหล่งกำเนิด

หน่วยผลิต	ชนิดเชื้อเพลิง	อัตราการปล่อย		อ้างอิง จาก AP-42 (US.EPA, 2009)		
		TOC	VOC	Rating	ตาราง	ปรับปรุงเมื่อ
หม้อไอน้ำ และ เตาให้ความร้อน โรงไฟฟ้า ขนาด > 100x10 ⁶ Btu/hr	Fuel Oil No.6	1.04 lbs/1000 gal	0.76 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Fuel Oil No.5	1.04 lbs/1000 gal	0.76 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Fuel Oil No.4	1.04 lbs/1000 gal	0.76 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	ก๊าซธรรมชาติ	11 lbs/10 ⁶ scf	5.5 lbs/10 ⁶ scf	B,C	1.4-2	7/98
	Refinery Gas	.ให้ใช้ค่าของก๊าซธรรมชาติ โดยปรับตามค่าความร้อนของ ก๊าซเชื้อเพลิงนั้นๆ				
หม้อไอน้ำ และ เตาให้ความร้อน ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ขนาด 10-100x10 ⁶ Btu/hr	Fuel Oil No.6	1.28 lbs/1000 gal	0.28 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Fuel Oil No.5	1.28 lbs/1000 gal	0.28 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Fuel Oil No.4	0.252 lbs/1000 gal	0.2 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Distillate	0.252 lbs/1000 gal	0.2 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	ก๊าซธรรมชาติ	11 lbs/10 ⁶ scf	5.5 lbs/10 ⁶ scf	B, C	1.4-2	7/98
	บิวเทน	0.6 lbs/1000 gal	0.4 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	โพรเพน	0.5 lbs/1000 gal	0.3 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	Refinery Gas	ให้ใช้ค่าของก๊าซธรรมชาติ โดยปรับตามค่าความร้อนของ ก๊าซเชื้อเพลิงนั้นๆ				
หม้อไอน้ำ และ เตาให้ความร้อน โรงไฟฟ้า ขนาด 0.3- 10x10 ⁶ Btu/hr	Fuel Oil No.6	1.605 lbs/1000 gal	1.13 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Fuel Oil No.5	0.556 lbs/1000 gal	1.13 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Fuel Oil No.4	0.556 lbs/1000 gal	0.34 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	Distillate	0.252 lbs/1000 gal	0.34 lbs/1000 gal	A	1.3-3	9/98
	ก๊าซธรรมชาติ	11 lbs/10 ⁶ scf	5.5 lbs/10 ⁶ scf	B, C	1.4-2	7/98
	บิวเทน	0.6 lbs/1000 gal	0.4 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	โพรเพน	0.5 lbs/1000 gal	0.3 lbs/1000 gal	E	1.5-1	10/96
	Refinery Gas	ให้ใช้ค่าของก๊าซธรรมชาติ โดยปรับตามค่าความร้อนของ ก๊าซเชื้อเพลิงนั้นๆ				
กังหันก๊าซ (Gas Turbines)	ก๊าซธรรมชาติ	0.011 lbs/10 ⁶ Btu	0.0021 lbs/10 ⁶ Btu	B,D	3.1-2a	4/00
	Distillate	0.004 lbs/10 ⁶ Btu	0.00041 lbs/10 ⁶ Btu	C,E	3.1-2a	4/00
RICE, 2 stroke, lean burn	ก๊าซธรรมชาติ	1.64 lbs/10 ⁶ Btu	0.12 lbs/10 ⁶ Btu	A, C	3.2-1	7/00
RICE, 4 stroke, lean burn	ก๊าซธรรมชาติ	1.47 lbs/10 ⁶ Btu	0.118 lbs/10 ⁶ Btu	A, C	3.2-2	7/00
RICE, 2 stroke, rich burn	ก๊าซธรรมชาติ	0.358 lbs/10 ⁶ Btu	0.0296 lbs/10 ⁶ Btu	C	3.2-3	7/00
IC Engines < 250 Hp	ก๊าซโซลีน	3.03 lbs/10 ⁶ Btu	--	D	3.3-1	10/96
IC Engines < 250 Hp	ดีเซล	0.36 lbs/10 ⁶ Btu	--	D	3.3-1	10/96
IC Engines < 250 Hp	ดีเซล	0.09 lbs/10 ⁶ Btu	0.082 lbs/10 ⁶ Btu	C, E	3.4-1	10/96

RICE = เครื่องยนต์ลูกสูบ (Reciprocating Engines)

IC Engines = เครื่องยนต์สันดาปภายใน

ระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูล: A = ระดับดีมาก, B = ระดับดี, C = ระดับพอใช้, D = ระดับต่ำกว่าเฉลี่ย, E= ค่อนข้างต่ำ

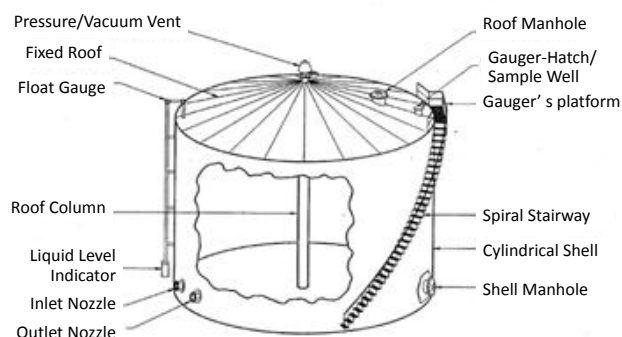
ที่มา: ดัดแปลงจาก "US.EPA, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42 Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources, 2005"

1.6.3 ถังเก็บสารเคมี (Storage Tank)

ถังเก็บสารเคมีแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) **ถังหลังคาตรึง (Fixed Roof Tank)** ถังเก็บสารเคมีแบบนี้มีอยู่ 2 ประเภทคือ ถังหลังคาตรึงแนวตั้ง (Vertical Fixed Roof Tank) และถังหลังคาตรึงแนวนอน (Horizontal Fixed Roof Tank) โดยถังหลังคาตรึงแนวตั้งมีรูปแบบของฝาดังหลายรูปแบบ เช่น รูปทรงกรวย (Cone) หรือเป็นรูปทรงโดม (Dome) การรั่วระเหยของ VOCs จากถังเก็บสารเคมี มีกลไกที่ค่อนข้างซับซ้อน เช่น กรณี ถังหลังคาตรึง เกิดจากการขยายตัวและหดตัวของปริมาตรอากาศเหนือ VOCs ที่เป็นของเหลวที่บรรจุในถัง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบรรยากาศ ทำให้อากาศเหนือระดับของเหลวในถังซึ่งมีไอของสารเคมีนั้นปนอยู่ด้วยถูกระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม กลไกนี้เรียกว่า “Standing Loss” โดยลักษณะของกลไกนี้ทำให้การรั่วระเหยจากถังเก็บจะเกิดขึ้นมากในตอนกลางวัน และเกิดขึ้นน้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลยในตอนกลางคืน ช่องระบายของถังเก็บสารเคมีหลังคาตรึงมี 2 แบบ คือ 1) ช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติ โดยเมื่อความดันในถังเป็นบวกก็จะมีการระบายหรือรั่วระเหยสู่บรรยากาศ ถ้าความดันในถังเป็นลบก็จะดึงอากาศจากภายนอกเข้าไป (ไม่มีการรั่วระเหย) 2) มีลักษณะเป็น วาล์วระบาย (Breather Valves) มีลักษณะเป็นช่องระบายอากาศทั้งเข้าและออกจากถัง ซึ่งสามารถตั้งค่าความดันในถังในย่านบวกที่จะเปิดออก (ความดันนี้จะตั้งไว้สูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย) และความดันในย่านลบที่จะทำให้วาล์วเปิดและดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในถัง (ความดันนี้จะตั้งไว้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย) การมี Breather Valves จะทำให้การรั่วระเหย จาก “Standing Loss” ลดลง แต่การกำหนดความดันเปิดปิดของวาล์ว จะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของถัง มิฉะนั้นจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการเกิด “ถังบวม” หรือ “ถังแฟบหรือบุบ” เนื่องจากความดันในถังเก็บ

อีกกลไกหนึ่งที่ทำให้เกิดการรั่วระเหยจากถังเก็บสารเคมีแบบนี้คือ คือการเติมสารเคมีลงในถัง (Loading In) ปริมาตรของสารเคมีที่เติมลงไปจะไปแทนที่อากาศ (ซึ่งมีไอของสารเคมีปนอยู่) ที่อยู่เหนือสารเคมีในถังออกมาสู่ภายนอกในปริมาณที่เท่ากัน กลไกนี้จะเกิดขึ้นแม้มีการ “Load” ในตอนกลางคืน การรั่วระเหยโดยกลไกนี้เรียกว่า “Working Loss” รูปที่ 1-14 และ รูปที่ 1-15 แสดงตัวอย่างของถังเก็บสารเคมีแบบหลังคาตรึง ถังเก็บสารเคมีหลังคาตรึง (Fixed Roof Tank) นั้นค่อนข้างแพง แต่โดยทั่วไปแล้วถือว่าราคานั้นต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับถังเก็บสารเคมีแบบอื่น



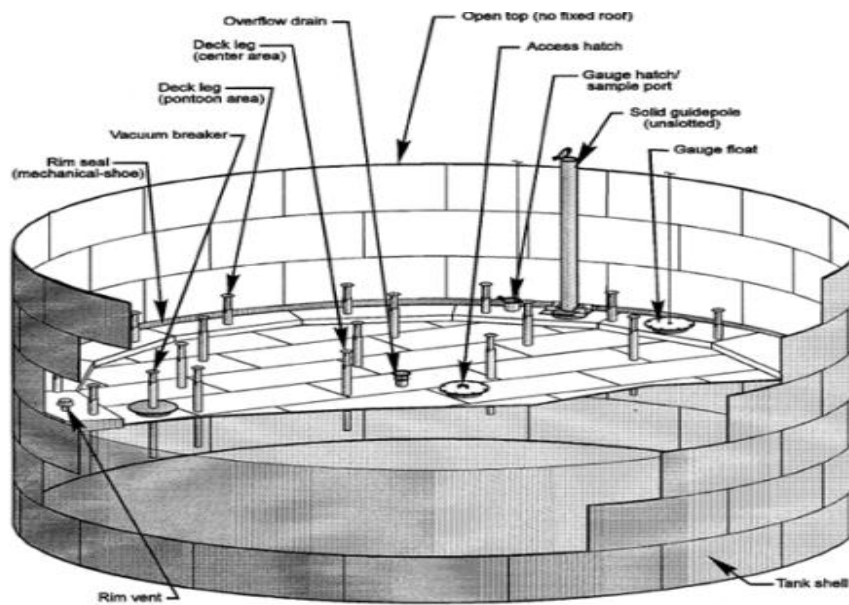
รูปที่ 1-14 ถังหลังคาตรึงแนวตั้ง (Vertical Fixed Roof Tank)



รูปที่ 1-15 ถังหลังคาตรึงแนวนอน (Horizontal Fixed Roof Tanks)

ถังหลังคาตรึงแนวนอนมีทั้งที่ก่อสร้างเหนือพื้นดินและใต้ดิน ถังหลังคาตรึงแนวนอนโดยทั่วไปจะมีขนาดความจุ้น้อยกว่า 40,000 แกลลอน และเพื่อให้แน่ใจว่าโครงสร้างของถังนั้นแข็งแรง ต้องมีความยาวของถังไม่เกิน 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง การรั่วระเหยของถังใต้ดินส่วนใหญ่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงระดับของเหลวภายในถัง แต่การสูญเสียเนื่องจากอุณหภูมิ (Standing Loss) มีน้อย เพราะพื้นดินจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังน้อยลง

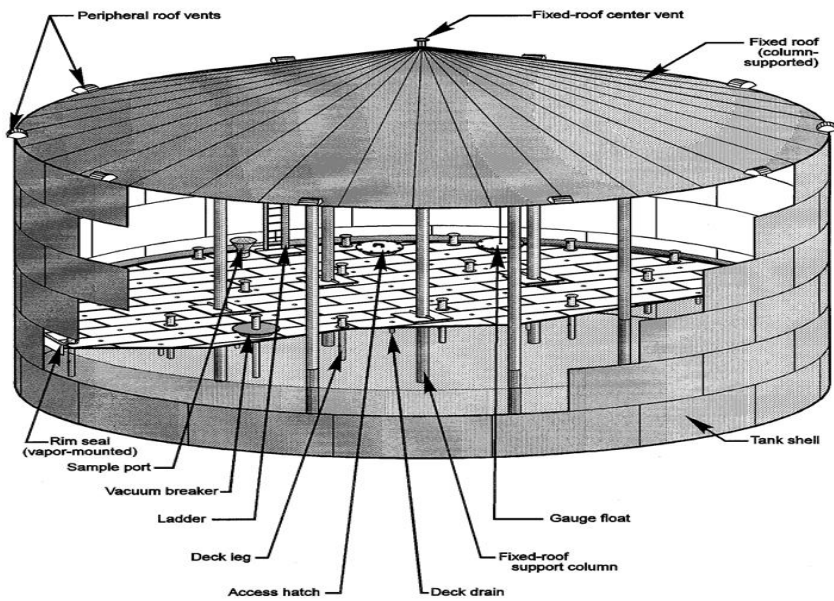
2) ถังหลังคาลอยภายนอก (External Floating Roof Tanks) คือถังที่มีฝาดังลอยอยู่เหนือของเหลวในถัง โดยที่ไม่มีฝาดังปิดด้านบน โดยทั่วไปประกอบด้วยถังรูปทรงกระบอก มีฝาดังลอยอยู่บนพื้นผิวของเหลวที่กักเก็บ ซึ่งหลังคาลอยประกอบด้วย ฝาดัง และระบบซีลขอบ ฝาดังในปัจจุบันโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Pontoon ซึ่งเป็นฝาดังแบบชั้นเดียว ส่วนอีกแบบหนึ่งคือแบบ double-deck ซึ่งเป็นฝาดังแบบสองชั้น การที่ ฝาดังลอยสามารถเลื่อนขึ้นหรือลงตามระดับของเหลวภายในถัง ทำให้ลดกลไกการรั่วระเหยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถัง (Standing Loss) แต่การที่ถังหลังคาลอยจะต้องมีระบบซีลขอบเพื่อให้ฝาดังเลื่อนขึ้นลงได้ จะทำให้มีกลไกการสูญเสียที่เกิดจากรั่วระเหยจากช่องว่างระหว่างถังกับฝาดัง เรียกว่า “Rim Loss” (โดยปกติ Rim Loss จะมีปริมาณน้อยกว่า Standing Loss มาก) กลไกการรั่วระเหยประเภทนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ “Rim Seal” ความดันไอของสารที่เก็บกัก และยังขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านถัง เนื่องจากลมที่พัดผ่านจะทำให้เกิดความดันที่ลดลงเหนือฝาดัง มีแรงดึงให้ไอของสารเคมีจากช่องว่างระหว่างฝาดังกับถังระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้น ดังนั้น ถังเก็บสารเคมีแบบนี้จะมีการรั่วระเหยมากขึ้นถ้าความเร็วลมสูงขึ้น



รูปที่ 1-16 ถังหลังคาลอยภายนอก (External Floating Roof Tanks)

3) ถังหลังคาลอยภายใน (Internal Floating Roof Tanks) คือถังที่มีฝาลอยอยู่เหนือของเหลวในถัง และมีระบบซีลขอบ เพื่อให้ฝาลอยเคลื่อนขึ้นลงได้เหมือนกับถังหลังคาลอยภายนอก แต่แตกต่างกันคือมีฝาลอยปิดด้านบนอีกชั้นหนึ่งคล้ายถังหลังคาตริงแนวตั้ง โดยทั่วไปหลังคาลอยนอกของถังประเภทนี้เป็นรูป “โคน (Cone)” การที่ถังแบบนี้มีฝาลอยปิดด้านบนจึงลดการสูญเสียเนื่องจาก “Standing Loss” แต่กลับมีการสูญเสีย “Rim Loss” เช่นเดียวกับ ถังหลังคาลอยภายนอก แต่เนื่องจากถังประเภทนี้ มีฝาลอยปิดด้านบน ทำให้ อิทธิพลของลมต่อ Rim Loss ลดลง เป็นผลให้การรั่วระเหยของถังแบบนี้ จะขึ้นกับเฉพาะความดันไอของสารนั้นเท่านั้น ไม่มีปัจจัยเกี่ยวกับความเร็วลมมาเกี่ยวข้อง

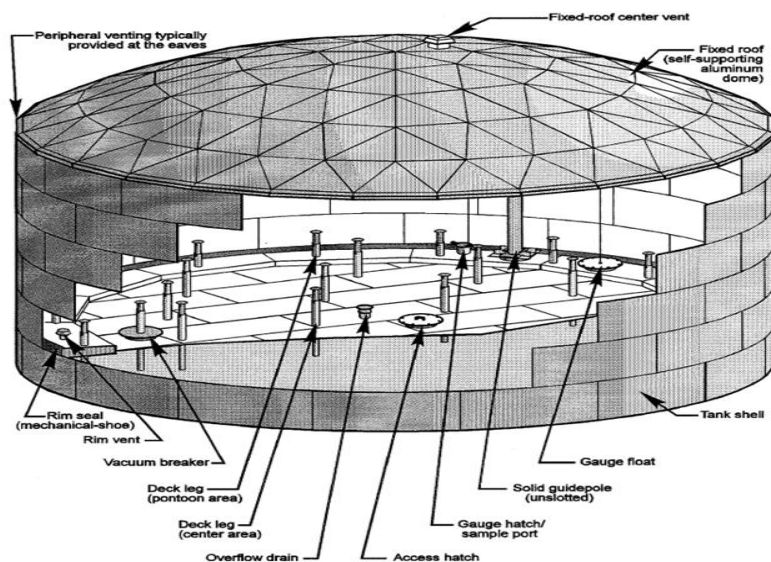
ถังหลังคาลอยภายใน มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท ได้แก่ ถังหลังคาลอยภายในชนิดที่มีเสาค้ำฝาลอยด้านบน (Fixed Roof Support Column) เพื่อเสริมความแข็งแรงของฝาลอยด้านบน ข้อดีคือทำให้โครงสร้างถังแข็งแรงขึ้น ข้อเสียคือจะต้องมีการเจาะฝาลอยภายใน เพื่อให้เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ทุกตำแหน่งที่มีเสาค้ำ ทำให้เพิ่มพื้นที่การรั่วระเหย ส่วนถังหลังคาลอยแบบที่ 2 เป็นแบบไม่มีเสาค้ำฝาลอยด้านบน (Self Support) ความแข็งแรงของโครงสร้างจึงลดลง แต่มีจุดที่โอกาสเกิดการรั่วระเหยมากกว่าถังหลังคาลอยภายใน ถือว่าเป็นเทคโนโลยีการออกแบบถังเก็บสารเคมีที่เปิดโอกาสให้มีการสูญเสียหรือการรั่วระเหยของสารเคมีในถังน้อยที่สุด แต่ก็ยังมีความแตกต่าง เนื่องจากรายละเอียดย่อย ของถังแต่ละถัง ที่จะทำให้อัตราการสูญเสียที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของ Rim Seal ที่ใช้ซีลของถัง เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้เทคโนโลยีของการออกแบบถังเก็บจะทำให้ “Standing Loss” ลดลงมาก แต่การสูญเสียจาก Working Loss ยังมีอยู่ รูปที่ 1-17 แสดงถังแบบหลังคาลอยภายในแบบมีเสาค้ำ พร้อมอุปกรณ์ประกอบของถังประเภทนี้



รูปที่ 1-17 ถังหลังคาลอยภายใน (Internal Floating Roof Tanks)

3) ถังหลังคาลอยรูปโดมภายนอก (Domed External Floating Roof Tanks)

เป็นถังหลังคาลอยภายในประเภทหนึ่ง แต่รูปร่างของฝาปิดด้านบนเป็นรูปโดม รูปที่ 1-18 แสดงตัวอย่างของถังหลังคาลอยรูปโดมภายนอกและอุปกรณ์ประกอบ เนื่องจากถังประเภทนี้มักลดโอกาสการรั่วระเหยเหมือนกับถังหลังคาลอยภายใน จึงถือว่าเป็นถังที่มีการออกแบบให้มีการรั่วระเหยน้อย



รูปที่ 1-18 ถังหลังคาลอยรูปโดมภายนอก (Domed External Floating Roof tank)

5) ถังแปรเปลี่ยนปริมาตรได้ (Variable Vapor Space Tanks)

เป็นถังเก็บสารเคมีที่สามารถเปลี่ยนขนาดของภาชนะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาตรสารที่บรรจุ ที่พบมากที่สุดมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ แบบหลังคายก (Lifter Roof Tank) มักใช้บรรจุก๊าซที่มีความดันบรรยากาศ เช่นถังเก็บก๊าซชีวภาพ ถังจะมีลักษณะเป็นภาชนะคว่ำลงบนรางที่บรรจุด้วยของเหลวเพื่อผนึกกันรั่ว ภาชนะคว่ำนี้เรียกว่า Telescoping Roof ที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระ เมื่อมีปริมาตรก๊าซใน Telescoping Roof เพิ่มขึ้น ฝาถังก็จะลอยขึ้น แต่ถ้าปริมาตรก๊าซในถังลดลง ฝาถังก็จะลดระดับลง

ถังแปรเปลี่ยนปริมาตรได้ ประเภทที่ 2 คือ ถังไดอะแฟรมที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible Diaphragm Tank) ใช้ภาชนะที่ทำจากวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ เช่น ยางหรือผ้ายืด ทำเป็นภาชนะคล้ายถุง เพื่อปรับปริมาตร (ขยาย หรือ หด) ตามปริมาตรของสารที่บรรจุซึ่งสารที่บรรจุ อาจเป็นได้ทั้งในรูปก๊าซและของเหลว ภาชนะที่ยืดหยุ่นได้ดังกล่าว อาจติดตั้งอย่างอิสระในลักษณะ Gasholder Unit หรือ ติดตั้งอยู่ภายในถังฝาตึง (Integral Unit) เพื่อลดอิทธิพลของลมและป้องกันการเสียหายจากการทำให้เกิดรอยรั่วจากวัสดุที่อาจมีโอกาสสัมผัสกับภาชนะที่ยืดหยุ่นได้

ในปัจจุบันเชื่อว่าอัตราการรั่วระเหยจากถังเก็บสารเคมีแบบแปรเปลี่ยนปริมาตรได้นั้นน้อย และจนถึงปัจจุบันยังไม่มีวิธีประเมินอัตราการรั่วระเหยจากถังเก็บประเภทนี้ การรั่วระเหยจากถังประเภทนี้จึงยังถือว่าน้อยมาก

6) ถังอัดความดัน (Pressure Tanks)

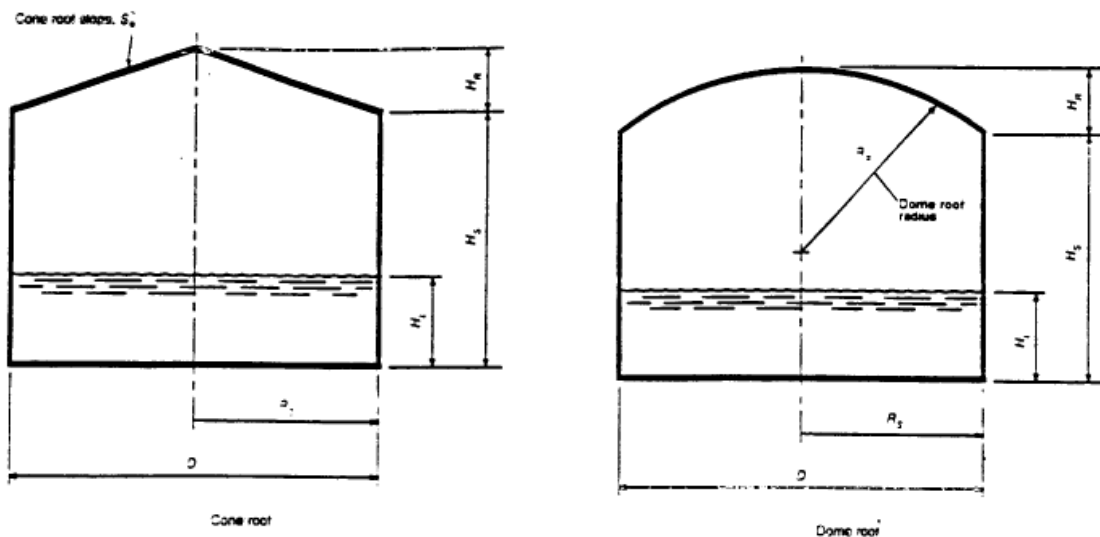
ถังอัดความดันหมายถึงถังเก็บสารเคมีที่มีความดันภายในถังสูงกว่าความดันบรรยากาศ ดังนั้นจึงถือว่าเป็นถังปิด ส่วนใหญ่ถังประเภทนี้มีการติดตั้งวาล์วลดความดันจำนวนหนึ่งอยู่ด้านบนของถังด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัย ซึ่งในสภาวะปกติวาล์วลดความดันนี้จะปิด อัตราการรั่วระเหยจึงมีเฉพาะจากการรั่วระเหยของอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่ถัง (ซึ่งการประเมินการรั่วระเหยใช้วิธีนับรวมกับอุปกรณ์อื่นๆ) ส่วนการรั่วระเหยจากถังเก็บโดยตรงถือว่าไม่มี ถังอัดความดันมีใช้งานอยู่ 2 แบบ คือ ถังอัดความดันต่ำและถังอัดความดันสูง ถังอัดความดันโดยทั่วไปจะใช้สำหรับจัดเก็บของเหลวอินทรีย์และก๊าซที่มีความดันไอสูงและพบได้หลายขนาดหลายรูปแบบ เช่น สเฟียร์ โกลบ และ แดปซูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันใช้งานภายในถังและปริมาณกักเก็บ ซึ่งจะต้องทนกับการเปลี่ยนแปลงความดันภายในถังที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างวัน

ในการประเมินการสูญเสียหรือการรั่วระเหย สำหรับ VOCs ที่บรรจุในถัง (ยกเว้น ถังอัดความดันและถังแปรเปลี่ยนปริมาตรได้ ซึ่งถือว่ามีอัตราการรั่วระเหยน้อยมาก) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า TANK-4 เป็นเครื่องมือในการช่วยคำนวณ

TANK-4 นี้พัฒนาโดย U.S. EPA โดย สำนักงานวางแผนด้านคุณภาพอากาศและมาตรฐาน (Office of Air Quality Planning and Standards, OAQPS) โดย TANK-4 เป็นคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมาณปริมาณ VOCs และ สารพิษในอากาศ (Hazardous Air Pollutants, HAPs) ที่ปล่อยระบายจาก ถังเก็บสารเคมี ทั้งแบบถังหลังคาตึง และแบบถังหลังคาลอย เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้กันบนระบบปฏิบัติการ วินโดวส์ ใช้ทั้งแนวความคิดและวิธีการที่ระบุในบทที่ 7 ในเอกสาร EPA's Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42) (US.EPA, 2006) โดยเนื้อหาในบทดังกล่าวได้ระบุถึงรายละเอียด ความหมาย และสูตรคำนวณที่ใช้ ตามลักษณะเฉพาะต่างๆ ของถังเก็บและสารเคมีแต่ละชนิด ซึ่งสามารถ download โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจาก

<http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/index.html>

ข้อมูลนำเข้าที่ต้องการสำหรับ TANK-4 คือ ชนิดของถังเก็บ สัญลักษณ์ประจำถัง (เช่นหมายเลขถัง) ลักษณะเฉพาะ ขนาด และระยะต่างๆ ของถัง (เช่น ความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง สีถัง รูปร่างฝาถัง ชนิดของ Rim Seal กรณีเป็นถังหลังคาลอย) สารที่บรรจุในถัง ซึ่ง TANK-4 มีเตรียมไว้ให้แล้วในฐานข้อมูลของ TANK-4 เอง โดยการเลือกตามชื่อสาร หรือ CAS No. ก็ได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่สำคัญมากในการใช้งาน TANK-4 คือปริมาณสารเคมีที่ขนถ่ายลงถังเก็บในแต่ละเดือน การป้อนข้อมูลนำเข้าลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TANK-4 เป็นไปในลักษณะเติมค่าในช่องว่าง พร้อมมีคำแนะนำในกรณีที่ไม่มีความละเอียดเพียงพอไว้ให้ด้วย จึงทำให้สะดวกในการเตรียมข้อมูลและใช้งานเป็นอย่างมาก รูปที่ 1-19 แสดงตัวอย่างการอธิบายถึงข้อมูลนำเข้าในคู่มือการใช้งาน TANK-4 ในส่วนของระยะต่าง ของถังเก็บสารเคมีแบบถังหลังคาตรึงแนวดิ่ง



รูปที่ 1-19 ตัวอย่างการระบุระยะต่างๆ ของถังหลังคาตรึงแนวดิ่งที่ใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้า TANK-4

ผลการประเมินการรั่วระเหยจากถังเก็บสารเคมี โดย TANK-4 จะอยู่ในรูปมวลของ VOCs ที่รั่วระเหยในแต่ละเดือน แยกตามกลไกหรือจุดที่มีการรั่วระเหย เช่น สำหรับถังหลังคาตรึงแนวดิ่ง จะแยกเป็น “Standing Loss” และ “Working Loss” รายเดือน

1.6.4 จากการขนถ่าย

VOCs ส่วนนี้ มาจากการรั่วระเหยเนื่องจากการเติมสารอินทรีย์ระเหยลงในรถขนส่ง หรือเรือขนส่ง ปริมาณการรั่วระเหยขึ้นกับปริมาณการขนถ่าย และ วิธีการขนถ่าย วิธีการประเมินปริมาณการรั่วระเหยระบุในบทที่ 5.2 Transportation and Marketing of Petroleum Liquids ในเอกสาร EPA's Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42) (US.EPA, 2006) โดยเนื้อหาในบทดังกล่าวได้ระบุถึงรายละเอียด ความหมาย และ สูตรคำนวณ และค่าคงที่ที่ใช้

การประเมินการรั่วระเหยทำได้โดยใช้สมการ

$$L_L = 12.46 \frac{S \times P \times M}{T} \left[1 - \frac{\text{eff}}{100} \right]$$

เมื่อ: L_L = ปริมาณการรั่วระเหยจากการขนถ่าย, ปอนด์/1000 แกลลอน (lb/10³ gal) ของสารเคมีที่ขนถ่าย

S = สัมประสิทธิ์การอิ่มตัว (Saturation Factor หรือ S Factor) ขึ้นอยู่กับวิธีการขนถ่าย

P = ความดันไอของสารเคมีขณะขนถ่าย, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (สัมบูรณ์) (psia)

M = น้ำหนักโมเลกุลของไอ, ปอนด์ต่อปอนด์-โมล (lb/lb-mole)

T = อุณหภูมิของสารเคมีที่ขนถ่าย, °R (°F+460)

eff = ประสิทธิภาพของระบบควบคุม, %

ข้อมูลความดันไอของสารเคมีรวมทั้ง VOCs ที่อุณหภูมิต่างๆ น้ำหนักโมเลกุลของไอสารเคมี ความหนาแน่นของสารเคมี (ในสถานะของเหลว) ที่นิยมขนส่งโดยวิธีขนถ่ายลงรถ เรือ หรือรถไฟ จะหาได้จาก บทที่ 5.2 ใน AP-42 (US.EPA, 2006) ดังกล่าว ตารางที่ 21 แสดง ค่า S Factor ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับวิธีการขนถ่าย ถ้าการขนถ่ายนั้นมีแนวโน้มเกิดการปั่นป่วนของสารเคมีมาก เช่น การขนถ่ายแบบ “Top Load” ก็จะมีค่า S Factor สูง

นอกจากข้อมูลที่จะต้องใช้ในการประเมินการรั่วระเหยจากการขนถ่ายเข้า คือ S-factor ที่ดูจากวิธีการขนถ่ายและจากตารางที่ 1-22 แล้ว ยังต้องมีปริมาณการขนถ่ายสารนั้นๆ รายเดือน อุณหภูมิของสารขณะขนถ่าย ซึ่งมักใช้ค่าที่ 20 องศาเซลเซียส และ ความดันไอของสารนั้นที่อุณหภูมิขณะขนถ่าย น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารที่ขนถ่าย และประสิทธิภาพของระบบบำบัด (ถ้าไม่มีให้ใช้ค่า = 0 สำหรับ eff)

ตารางที่ 1-22 ค่า S Factor สำหรับการขนถ่ายโดยวิธีต่างๆ

ภาชนะขนถ่าย	วิธีการขนถ่าย	S Factor
ถังขนถ่ายบนรถบรรทุก และ ถังขนถ่ายบนรถไฟ	วิธีการขนถ่ายแบบ Bottom Load ถังขนถ่ายใหม่หรือผ่านการทำความสะอาดมาใหม่	0.5
	วิธีการขนถ่ายแบบ Bottom Load ถังขนถ่ายทั่วไป	0.6
	วิธีการขนถ่ายแบบ Bottom Load ถังที่ผ่านการขนถ่ายก่อนหน้านี้โดยวิธี สมดุลไอ (Vapor Balance)	1.0
	วิธีการขนถ่ายแบบ Top Load ถังขนถ่ายใหม่หรือผ่านการทำความสะอาดมาใหม่	1.45
	วิธีการขนถ่ายแบบ Top Load ถังขนถ่ายทั่วไป	1.45
	วิธีการขนถ่ายแบบ Top Load ถังที่ผ่านการขนถ่ายก่อนหน้านี้โดยวิธี สมดุลไอ (Vapor Balance)	1.0
การขนถ่ายทางเรือ	วิธีการขนถ่ายแบบ Top Load ลง เรือ (Ships)	0.2
	วิธีการขนถ่ายแบบ Top Load ลง เรือบาร์จ (Barges)	0.5

หมายเหตุ : Barge หมายถึง เรือที่มีถังเก็บสารที่อยู่บริเวณท้องเรือ

Ship หมายถึง เรือที่มีติดตั้งหรือบรรทุกถังสารเคมี

ที่มา: US.EPA, 2006.

1.6.5 ระบบเผาไหม้หรือแฟลร์ (Flare)

VOCs จากระบบ แฟลร์ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (ส่วนใหญ่คือ VOCs จากไอระเหยที่เข้าสู่ระบบ) และจากสารที่เกิดขึ้นขณะเกิดการสันดาป ซึ่งมีองค์ประกอบบางส่วนเป็น VOCs การประเมินการปล่อย VOCs ระบุในบทที่ 13.5 Industrial Flares ในเอกสาร EPA's Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42) (US.EPA, 2006) โดย ในตารางที่ 13.5-1 และ ตารางที่ 13.5-2 สรุปได้ว่า อัตราการปล่อย VOCs ทั้งหมดจากระบบเผาไหม้คือ 0.14 ปอนด์ต่อหนึ่งล้านบีทียู (0.14 lb/10⁶ Btu) โดย ใน VOCs ทั้งหมดนี้มี VOCs ที่ไม่รวมมีเทน อยู่ประมาณ 45% โดยน้ำหนัก ในการนำวิธีการ และหลักการนี้ไปใช้ในการประเมินปริมาณ VOCs จากระบบเผาไหม้ จะต้องใช้ข้อมูลอัตราการระบายมวลของ VOCs เข้าระบบเผาไหม้ และที่สำคัญจะต้องทราบความร้อนจากการเผาไหม้โดยประมาณ ของ VOCs ที่เข้าระบบเผาไหม้เพื่อเปลี่ยนเป็นปริมาณความร้อนที่ผ่านระบบเผาไหม้แล้วจึงนำไปคูณกับ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs ต่อหน่วยความร้อนดังกล่าว จะได้เป็นปริมาณ VOCs ที่ปล่อยออก

1.6.6 จากระบบบำบัดน้ำเสีย

VOCs จากระบบรวบรวม บำบัด และกักเก็บน้ำเสีย กลไกการปล่อย VOCs อธิบายได้ด้วย สมการ

$$\text{VOCs Emission Rate(per unit area)} = - \frac{dC}{dt} = k_v C$$

VOCs Emission Rate คือ อัตราการปล่อย VOCs จากแต่ละหน่วยย่อยในระบบอัตราการปล่อย VOCs จากสมการหลักข้างต้น เป็นปริมาณต่อหน่วยพื้นที่ที่ปล่อยออก ดังนั้นถ้าระบบนั้นๆ เป็นระบบปิด (พื้นที่เปิดสู่สิ่งแวดล้อม = 0) จะส่งผลให้ อัตราการปล่อย VOCs จากระบบนั้น = 0 เช่นเดียวกัน

เมื่อ, C = ความเข้มข้นของ VOCs ในน้ำ ที่เข้าระบบ , ppm

t = เวลา, s

k_v = ค่าคงที่การระเหย (Volatilization Constant, s^{-1})

ค่าคงที่การระเหย หาได้จากสมการ

$$k_v = \frac{1}{L} \left[\frac{1}{k_1^o \left(\frac{D_1^c}{D_1^o} \right)^m} + \frac{RT}{(10^6) H k_g^w \left(\frac{D_g^c}{D_g^w} \right)^n} \right]^{-1}$$

เมื่อ, L = ระดับความลึกของน้ำ(ที่มีการผสม) ในระบบ

k_1^o = สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลของออกซิเจนในน้ำ

D_1^c = สัมประสิทธิ์การแพร่ของ VOCs (C) หรือ ออกซิเจน (O) ในน้ำ

m = ค่าคงที่แสดงการปั่นป่วนของน้ำในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 ถ้ามีการเคลื่อนที่เช่นการไหล การกวน ค่านี้จะสูง

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (deal gas constant)

T = อุณหภูมิ

H = ค่าคงที่ ของ Henry (เป็นค่าเฉพาะสำหรับ VOCs แต่ละชนิด)

k_g^w = สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลของออกซิเจนจากน้ำสู่อากาศ

D_g^c = สัมประสิทธิ์การแพร่ของ VOCs (C) หรือ ออกซิเจน (O) ในอากาศ

n = ค่าคงที่แสดงการปั่นป่วนของอากาศในระบบ ถ้ามีการเคลื่อนที่ความเร็วลมสูงขึ้นค่านี้จะสูง

จะเห็นว่า ค่า k_v มีผลมาจาก 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ความปั่นป่วนในระบบ เช่นค่า n และ m ซึ่งสามารถประเมินได้จากลักษณะเฉพาะของ หน่วยย่อยนั้น เช่น ถ้าเป็นระบบการป้อนน้ำเสียลงบ่อพักโดยใช้ระบบท่อที่มีปลายเปิดอยู่เหนือระดับผิวน้ำ ความปั่นป่วนจะสูงขึ้นถ้าความสูงของท่อปลายเปิดจากระดับน้ำสูงขึ้น หรือกรณีถึงปรับสภาพ ขนาดของความปั่นป่วนประเมินได้จาก ขนาดของใบพัดที่ใช้กวน และกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน หรือ กรณีที่ใช้อากาศเป็นเครื่องมือในการกวนผสม ขนาดของความปั่นป่วนสามารถประเมินจาก อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ เป็นต้น ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อ k_v ในส่วนนี้ต้องการรายละเอียดในเชิงกายภาพของแต่ละระบบย่อย เพื่อประเมินขนาดของความปั่นป่วนในระบบ

ปัจจัยในกลุ่มที่ 2 ที่มีผลต่อค่า k_v ในส่วนนี้เป็นค่าเฉพาะสาร เช่น H , D_g^C , D_l^C เช่น H ของ เบนซีน ต่างจาก ค่า H ของ สไตรีน เป็นต้น ดังนั้น ถ้ามี VOCs หลายชนิด ปนอยู่ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเดียวกัน VOCs ทุกชนิดจะอยู่ภายใต้ขนาดของความปั่นป่วนที่เท่ากัน แต่เนื่องจากค่าคงที่เฉพาะสารที่แตกต่างกัน ทำให้ผลสุดท้ายจะทำให้ k_v ของแต่ละสาร ในหน่วยย่อยเดียวกัน แตกต่างกันไปด้วย

ส่วนค่า C ซึ่งเป็น ความเข้มข้นของ VOCs ในน้ำที่เข้าระบบ จะต้องเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ เฉพาะกรณีของแต่ละสาร ซึ่งอาจใช้วิธีการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์โดยตรง หรืออ้างอิงจากค่าเฉลี่ยระยะเวลานาน หรือ ข้อมูลทุติยภูมิอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปในการใช้งานจริงสำหรับการประเมินอัตราการรั่วระเหยทั้งระบบ ซึ่งมักมีระบบย่อยหลายระบบ ต่อเชื่อม เดิมเข้า นำออก หรือวนกลับ แต่โดยใช้หลักการสมดุขของมวล เราสามารถประมาณความเข้มข้น C ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผ่านระบบย่อยหนึ่งไปยังอีกระบบย่อย นั่นคือ เราต้องการเพียงความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิดในน้ำที่เข้าระบบย่อยแรกเท่านั้น ในการประเมิน VOCs จากระบบรวบรวม บำบัด และกักเก็บน้ำเสีย

WATER9 เป็นแบบจำลองประเมินการปล่อยสารมลพิษทางอากาศและสารอินทรีย์ระเหยจากระบบบำบัดน้ำเสียพัฒนาโดย US.EPA ใช้แนวความคิดและหลักการที่ปรากฏในเอกสาร ชื่อ Air Emission Models for Waste and Wastewater (US.EPA, 1994) โดย WATER9 เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานบนระบบปฏิบัติการ วินโดวส์ ประกอบไปด้วย ชุดของสมการหลายสมการที่ใช้ในการประมาณหรือคำนวณ อัตราการปล่อยมลพิษทางอากาศแต่ละชนิด (รวมถึง VOCs แต่ละชนิด) ที่ปรากฏอยู่ในระบบรวบรวมน้ำเสีย ระบบกักเก็บ ระบบบำบัด และ ระบบจัดการสารเหลือทิ้ง ในซอฟต์แวร์มีระบบฐานข้อมูลสำหรับสารเคมีแต่ละชนิด มากกว่า 200 ชนิดที่จำเป็นในการนำไปใช้ในการคำนวณ เพื่อประเมินอัตราการปล่อยสารมลพิษทางอากาศและสารอินทรีย์ระเหยดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีรูปแบบการรายงานผลข้อมูลหลายรูปแบบให้เลือกนำไปใช้อย่างเหมาะสม แบบจำลอง WATER9 ใช้สำหรับประเมินสารอินทรีย์ระเหยจากระบบย่อยในบ่อบำบัดน้ำเสีย รวมถึง ระบบระบายทิ้ง (drains) บ่อพัก (sumps) ทางน้ำล้น (weirs) ระบบระบายทิ้งแบบเปิด (open drains) ระบบดักของเหลว (j traps) ฝาปิดทางเข้าออก (manhole covers) ท่อเปิด (trenches) ท่อปิด (buried conduits (sewers) จุดต่อเชื่อม (junction boxes) สถานีสูบน้ำ (pump stations) เครื่องตกตะกอนให้ใส (clarifiers) ถังกรอง (trickling filters) ถังเติมอากาศ (aerated impoundments) หอลดอุณหภูมิ (cooling towers) ระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์ (activated sludge units) ถังเก็บ (storage tanks) และระบบย่อยอื่นๆ อีกมาก

ในปัจจุบันเป็น WATER9 เป็น ผลการปรับปรุงเป็น Version ที่ 2 ซึ่งสามารถ download โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจาก <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/water/index.html> ผลที่ได้จากการประเมิน จะเป็นอัตราการรั่วระเหยของ VOCs แต่ละชนิดในหน่วยกรัมต่อวินาที หรือ กิโลกรัมต่อปี ของแต่ละหน่วยย่อยในระบบบำบัดน้ำเสีย และอัตราการรั่วระเหยรวม

ในประเทศไทยได้มีการเริ่มทำบัญชีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย ตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2550 โดยมีโรงงานอุตสาหกรรม ในบริเวณ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด 2 กลุ่มคือ บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด โดย บริษัท ระยองโอเลฟินส์ จำกัด เป็น โรงงานที่เริ่มดำเนินการเป็นโรงแรก ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน กลุ่มบริษัท ปตท.เคมีคอล (PTT Chemicals) ทั้ง โรงงาน ถนน I-1 และ ถนน I-4 (ซึ่งปัจจุบันได้เปลี่ยนชื่อเป็นกลุ่ม

บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล) ก็ได้ดำเนินการทำบัญชีการปล่อย VOCs แต่ทั้งหมดเป็นการทำบัญชีการปล่อยมลพิษ เพื่อการศึกษาภายในองค์กรเอง เทคนิคที่ใช้ในช่วงแรก สำหรับการรื้อระเหยจากอุปกรณ์ ใช้เทคนิคที่ 1 คือ การนับจำนวนอุปกรณ์แล้วคูณด้วยสัมประสิทธิ์การรื้อระเหย ต่อมาจึงมีการสำรวจการรื้อของอุปกรณ์และใช้ผลการตรวจวัด คำนวณอัตราการปล่อย VOCs บ้าง ส่วนเทคนิคในการประเมิน VOCs จากแหล่งกำเนิดอื่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หลังจากโรงงานทั้ง 2 กลุ่ม ได้ริเริ่มการทำบัญชีการปล่อย VOCs หลังจากนั้นจึงมีโรงงานอื่นๆ ในนิคมอุตสาหกรรมมาตาพุดได้ดำเนินการจัดทำ VOCs ทั้งในลักษณะเป็นกลุ่ม ซึ่ง บางส่วนได้รับการสนับสนุนจาก การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และบางโรงงานก็พอใจที่ดำเนินการเองโดยอิสระ จนกล่าวได้ว่าเทคนิคการจัดทำบัญชีการปล่อย VOCs ได้มีการเรียนรู้ และถ่ายทอดเทคนิคตลอดจนเครื่องมือ (เช่น คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์) ที่จำเป็นที่พร้อมในระดับหนึ่งสำหรับในเขตนิคมอุตสาหกรรมอาร์ไอแอล โรงงานกลุ่มหนึ่งซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ในนิคมฯ มีโครงการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพในภาพรวมของนิคมฯ ซึ่งในขั้นตอนการสำรวจแหล่งกำเนิด ของ VOCs รายสาร เพื่อนำไปใช้ในการนำเข้า แบบจำลองคุณภาพอากาศ เพื่อทำนายความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิดในระยะยาวบริเวณชุมชนต่างๆ จำเป็นต้องเริ่มจาก การทำบัญชีการปล่อย VOCs เช่นเดียวกัน ซึ่งทำให้มีการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เพื่อ ถ่ายทอดเทคนิค และจัดหาเครื่องมือที่จำเป็น ในการจัดทำ บัญชีการปล่อย VOCs ให้กับแต่ละโรงงาน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าโรงงานในเขตนิคมอุตสาหกรรม อาร์ ไอ แอล ได้ทราบถึงวิธีการจัดทำบัญชีการปล่อย VOCs แล้วเช่นเดียวกัน สำหรับทั้งโรงงานนอกเขตนิคมอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้สนับสนุนงบประมาณให้มีการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ และจัดหาเครื่องมือที่จำเป็นในการจัดทำบัญชีการปล่อย VOCs ให้กับโรงงาน ภายนอกนิคมอุตสาหกรรมมาตาพุด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโรงงานกลุ่มในเขตอุตสาหกรรมไฮอาร์พีซี มีการ ฝึกอบรมดังกล่าวติดต่อกัน เป็นเวลา 2 ปี ปีละครั้ง ใช้เวลาฝึกอบรมประมาณครั้งละ 2 เดือน (สัปดาห์ละ 1 ครั้ง) ซึ่งอาจสรุปได้ว่า โรงงานในกลุ่มดังกล่าวทราบถึงวิธีการจัดทำบัญชีการปล่อย VOCs แล้วเช่นเดียวกัน นอกจากในเขตจังหวัดระยองซึ่งมีความตื่นตัวในการจัดทำบัญชีการปล่อย VOCs แล้วนั้น บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ก็ได้ดำเนินโครงการศึกษาและสำรวจการปล่อย VOCs จากแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 3 กลุ่ม คือ คลังปิโตรเลียม (ทั้งคลังก๊าซ และ คลังน้ำมัน) สถานีควบคุมการขนส่งก๊าซธรรมชาติทางท่อ และสถานีบริการน้ำมัน ตารางที่ 21 เป็นผลการทำบัญชีการปล่อย VOCs บางส่วน จากการรวบรวมข้อมูลของผู้ประกอบการในประเทศไทยตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550 จนถึง พ.ศ. 2555 อย่างไรก็ตาม การพิจารณาข้อมูลที่แสดงอยู่ในตารางที่ 1-23 นั้น มีประเด็นที่จะต้องคำนึงถึง 2 ประเด็นที่สำคัญ คือ 1) ค่าที่ปรากฏในตารางที่ 1-23 เป็นการศึกษาที่ส่วนใหญ่ใช้วิธีตรวจนับจำนวนอุปกรณ์ แล้วคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย VOCs สำหรับการรื้อระเหยจากอุปกรณ์ ซึ่งมักจะได้ค่าค่อนข้างสูง ในปัจจุบันมีการใช้ข้อมูลจากการวัดสำรวจการรื้อระเหยของ VOCs จากอุปกรณ์ จะทำให้อัตราการรื้อระเหยที่ประเมินได้ลดลง 2) ประเด็นที่ 2 เป็นประเด็นที่สำคัญที่สุด กล่าวคือ ในสถานการณ์จริง เมื่อเจ้าของกิจการ หรือโรงงาน หลังจากกระบวนการทำบัญชีการปล่อย VOCs เมื่อพบว่าแหล่งกำเนิดที่มีอัตราการปล่อย VOCs มีปริมาณและสัดส่วนสูง ก็มักกำหนดมาตรการเพื่อลดการปล่อย VOCs จากแหล่งกำเนิดนั้นๆ โดยทันที ดังนั้นโดยทั่วไปตัวเลขการปล่อยมลพิษจะมีค่าต่ำกว่า ในตารางที่ 1-23

ตารางที่ 1-23 ผลการทำบัญชีการปล่อย VOCs จากกิจการต่างๆ ของประเทศไทย ในช่วง พ.ศ. 2550-2555

ประเภทโรงงานหรือกิจการ	อัตราการปล่อย VOCs		หน่วย	จำนวนโรงงานหรือกิจการ
	ช่วง	เฉลี่ย		
1. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี	0.52-5.5	2.27	กก./ตัน ผลผลิต	18
2. โรงกลั่นน้ำมัน	0.02-0.5	0.314	กรัม/ลิตร น้ำมันดิบ	4
3. คลังปิโตรเลียม	0.078-1.165	0.571	กรัม/ลิตร ผลิตภัณฑ์ที่ขายออก	12
4. คลังเก็บและท่าขนถ่ายสารเคมี	0.026-0.067	0.04	กรัม/ลิตร ผลิตภัณฑ์ที่ขนส่งเข้า	3
5. สถานีควบคุมการขนส่งก๊าซทางท่อ	0.011-0.0242	0.018	มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ก๊าซที่ผ่านสถานี	2
6. สถานีบริการน้ำมัน	1.404-1.928	1.666	กรัม/ลิตร ผลิตภัณฑ์ที่ขายออก	2

การดำเนินการทำบัญชีการปล่อย VOCs เมื่อมีการจัดทำอย่างถูกต้อง เจ้าของโรงงานหรือเจ้าของกิจการสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการควบคุม เพื่อลดการปล่อย VOCs สู่สิ่งแวดล้อม ในลักษณะที่จะมีประโยชน์ในส่วนของผู้ประกอบการ ที่จะได้ผลได้จากการที่มีการสูญเสียที่ลดลง เมื่อมีการปล่อยสาร VOCs สู่สิ่งแวดล้อมน้อยลงก็จะทำให้คุณภาพอากาศดีขึ้น ความเสี่ยงของประชาชนที่จะเจ็บป่วยเนื่องจาก VOCs ก็ลดลงตามไปด้วย

2. ระบบการบริหารจัดการ VOCs

การบริหารจัดการ VOCs เพื่อควบคุมและลดการปล่อย VOCs มีความเกี่ยวข้องกับหลายหน่วยงานในองค์กร การเริ่มต้นที่สำคัญที่สุดสำหรับองค์กรหรือกิจการใดๆ คือ การที่จะต้องทำให้ทั้งองค์กรเห็นด้วยกับความสำคัญในการที่จะต้องควบคุมการปล่อย VOCs โดยเฉพาะอย่างยิ่งบุคลากรในระดับผู้บริหาร นอกจากนี้หน่วยงานในระดับปฏิบัติการ จะต้องทราบถึงจุดมุ่งหมายของการดำเนินการ อีกทั้งยอมรับในการกำหนดมาตรการและการดำเนินการตามมาตรการ ด้วยเหตุนี้ การดำเนินการในรูปของคณะกรรมการหรือคณะทำงานมักเป็นทางเลือกที่ดี

โดยทั่วไปการบริหารจัดการ VOCs มักเริ่มจากการมอบหมายความรับผิดชอบให้กับฝ่ายหรือแผนกหนึ่งในองค์กร ซึ่งมักจะเป็นฝ่ายที่รับผิดชอบเกี่ยวกับความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมในองค์กร ฝ่ายดังกล่าวจะต้องเริ่มศึกษาแนวความคิด วิธีการ และทำความเข้าใจ กับการควบคุมและจัดการ VOCs จากนั้นจึงจัดหาทรัพยากรบุคลากร เครื่องมือที่จำเป็น และเริ่มขั้นตอนที่สำคัญคือ การจัดตั้งคณะกรรมการ หรือ คณะทำงาน ที่มีการกำหนดหน้าที่ให้ชัดเจน ว่ามีหน้าที่ในการจัดการและควบคุม VOCs คณะกรรมการ หรือ คณะทำงานนี้ ไม่จำเป็นต้องแต่งตั้งขึ้นใหม่เสมอ อาจจะใช้การเพิ่มหน้าที่รับผิดชอบเพิ่มเข้าไปในคณะกรรมการหรือคณะทำงานที่มีอยู่เดิม ซึ่งมีองค์ประกอบของกรรมการ เหมาะสมสำหรับงานการจัดการและควบคุม VOCs (เช่น คณะกรรมการความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม) ในการพิจารณาตั้งคณะกรรมการหรือคณะทำงานขึ้นมาใหม่ ควรเริ่มจากการแต่งตั้งผู้แทนจากหน่วยงานรับผิดชอบ เป็นกรรมการและเลขานุการของคณะกรรมการ และมีกรรมการซึ่งมีผู้แทนจากฝ่ายต่างๆ ในองค์กร อย่างน้อย 4 ฝ่าย คือ ฝ่ายความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (กรรมการและเลขานุการ) ฝ่ายผลิต ฝ่ายวิศวกรรม และ ฝ่ายซ่อมบำรุง โดยที่องค์กรรับผิดชอบเป็นองค์กรระดับใด (เช่น ระดับฝ่าย) ก็ควรจะมีผู้แทนจากบุคลากรในระดับเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน จากนั้นจึงเชิญเป็นบุคลากรเหนือระดับฝ่าย 1 ท่าน ที่เห็นด้วยและเข้าใจเกี่ยวกับการบริหารจัดการ และควบคุม VOCs (เช่น ผู้ช่วยผู้จัดการโรงงาน) เข้าร่วมเป็นประธานกรรมการหรือคณะทำงาน การที่ต้องมีผู้แทนจากหลายฝ่ายนั้น เนื่องจาก การบริหารจัดการ VOCs ต้องการความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน และบางงานต้องการข้อมูลเป็นการเฉพาะที่หน่วยงานรับผิดชอบโดยตรง ไม่สามารถจะเข้าถึงข้อมูลนั้นได้ และงานบางงานเป็นความเชี่ยวชาญเฉพาะของอีกหน่วยงานหนึ่ง เช่น ถ้าต้องการคำอธิบายการทำงานของอุปกรณ์ชนิดหนึ่งใน โรงงาน ฝ่ายซ่อมบำรุงน่าจะอธิบายได้ดีที่สุด การหาข้อมูลจำนวนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากปีก่อนหน้านี้ ฝ่ายวิศวกรรมน่าจะให้ข้อมูลที่ทันสมัยที่สุด

กรรมการหรือคณะทำงานชุดที่รับผิดชอบ ไม่ควรเป็นเพียงคณะทำงานเฉพาะกิจ เนื่องจากในปัจจุบันงานเกี่ยวกับการจัดการและควบคุม VOCs บางอย่าง เป็นงานที่ถูกกำหนดไว้ตามกฎหมายที่จะต้องทำทุกปี เช่น การตรวจวัดและสำรวจการรั่วของอุปกรณ์และซ่อมบำรุงในเวลาที่กำหนด และการการทำบัญชีการปล่อย VOCs รูปที่ 2-1 แสดงตัวอย่างการดำเนินการจัดการและควบคุม VOCs ของโรงงานแห่งหนึ่ง

ประกาศ

เลขที่.....

เรื่อง การแต่งตั้งคณะกรรมการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

บริษัท XYZ จำกัด ตระหนักถึงปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินการของบริษัท
ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

บริษัท XYZ จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ XXX ถ. ปภังกรวิมล แขวงสามบุรี อ.เมืองระยอง จ.ระยอง
21000 จะขอแต่งตั้งบุคคลดังต่อไปนี้เป็นคณะกรรมการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

1. กรรมการ

2. กรรมการ

3. กรรมการ

4. กรรมการ

6. กรรมการ

7. กรรมการ

8. กรรมการ

9. เลขานุการ

ทั้งนี้ให้มีผลบังคับตั้งแต่วันที่ 5 มกราคม 2555

ประกาศ ณ วันที่ 3 มกราคม 2555

(นาย.....)

ผู้จัดการทั่วไปสายปฏิบัติการ

รูปที่ 2-1 ตัวอย่างการดำเนินการจัดการและควบคุม VOCs โดยเริ่มจากการตั้งคณะกรรมการ

2.1 เทคโนโลยีการควบคุม VOCs

แนวทางในการจัดการและควบคุม VOCs อาจจะได้เรียนรู้จาก วิธีการที่นำมาใช้แล้วได้ผลในประเทศ อื่นๆ เช่น ในสหรัฐอเมริกา เทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการควบคุม VOCs คือ การจัดทำบัญชีการปล่อย VOCs เพื่อ เทียบกับ เกณฑ์ที่กำหนด ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาข้อมูลจาก มาตรฐานสำหรับแหล่งกำเนิดสารมลพิษชนิดอยู่กับที่ ภายใต้กฎหมายแห่งรัฐ มาตรา 40 ส่วนที่ 60 ส่วนย่อย DDD (CFR 40 P 60 Subpart DDD) เรื่อง กำหนด มาตรฐานที่จุดปล่อย สำหรับ VOCs จากอุตสาหกรรมโพลีเมอร์ (Standards of Performance for Volatile Organic Compound (VOC) Emissions from the Polymer Manufacturing Industry) ซึ่งใช้ควบคุม VOCs จาก อุตสาหกรรมโพลีเมอร์ ซึ่งโรงงานที่อยู่ในข่ายบังคับใช้ควบคุมตามกฎหมายฉบับนี้คือ โรงงานผลิต โพลีโพรพิลีน และ โพลีเอทิลีน ที่มีกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง หรือกึ่งต่อเนื่อง ครอบคลุมถึงอุปกรณ์ทั้งหมดที่ ใช้ในการผลิตอย่างต่อเนื่องรวมทั้งการวนเนื้อสารตั้งต้นกลับมาในกระบวนการผลิตใหม่ รวมทั้งในกระบวนการ ผลิต โพลีสไตรีน โพลีเอทิลีนเทราฟทาเลต ที่มีกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง และรวมถึงกระบวนการเตรียม วัตถุดิบในการผลิตด้วย ข้อกำหนดดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างมาตรฐานการควบคุมการปล่อย VOCs จากแหล่งกำเนิดโดยใช้การทำบัญชีการปล่อย VOCs ในการประเมินการปล่อย VOCs เทียบกับค่ามาตรฐาน

ชนิดโรงงาน	สายการผลิตย่อย	อัตราการปล่อย, กก./ตัน
โพลีโพรพิลีน	การเตรียมวัตถุดิบ	0.15
กระบวนการผลิตแบบ.	โพลีเมอร์เรซิน	0.14
ปฏิกิริยาในสภาพก๊าซ	การวนสารเหลือในปฏิกิริยามาใช้	0.19
	การปรับปรุงผลผลิต	1.57
รวม		2.05

ที่มา : CFR 40 P 60 Subpart DDD, 1990.

ในกระบวนการผลิต โพลีเมอร์ มักมีกระบวนการย่อย เช่น ขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนในการ เกิดโพลีเมอร์เรซิน และขั้นตอนในการปรับปรุงหรือตกแต่งผลิตภัณฑ์ โดยในมาตรฐานยังได้อธิบายถึงความหมาย ของแต่ละสายการผลิตย่อย และขั้นตอนประกอบอื่นๆ เช่น

การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Materials Preparation Section) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใน โรงงานผลิตสารโพลีเมอร์ ที่ทำหน้าที่ในการเตรียมวัตถุดิบ เช่น สารโมโนเมอร์และตัวทำละลาย เพื่อใช้ในปฏิกิริยา โพลีเมอร์เรซิน วัตถุประสงค์ของการใช้มาตรฐานนี้ เพื่อให้ครอบคลุมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ ส่วนของโรงงานที่ทำหน้าที่ใน การขนถ่ายวัตถุดิบ เตรียมวัตถุดิบ การทำให้วัตถุดิบพร้อมในการผลิต ซึ่งอุปกรณ์ชุดสุดท้ายของขั้นตอนนี้คือ อุปกรณ์ในส่วนก่อนถึงกระบวนการโพลีเมอร์เรซิน

ส่วนการเตรียมวัตถุดิบ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการให้วัตถุดิบสะอาด การทำให้แห้ง หรือการปรับคุณภาพ สำหรับ วัตถุดิบอื่นๆ หรือ การรวบรวมและเตรียมการสำหรับการรับเอาวัตถุดิบในการผลิตที่วนกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) รวมทั้งกระบวนการทำให้เกิดโพลีเมอร์โมเลกุลสั้น หรือ โอลิโกเมอร์ (Oligomers) แต่ไม่รวมถึงอุปกรณ์หลักสำหรับปฏิกิริยาโอลิโกเมอร์

การปรับปรุงผลผลิต (Product Finishing Section) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม เติมแต่ง หรือเปลี่ยนแปลงโพลีเมอร์ หรือเรซิน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมการในการปรับปรุงผลผลิตด้วยอุปกรณ์ส่วนนี้ จะเริ่มจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการขนถ่ายโพลีเมอร์จากสายการผลิตย่อย โพลีเมอร์ไรเซชันจากส่วนของปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization Reaction Section) และไปจบลงที่อุปกรณ์สุดท้าย ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโพลีเมอร์ ซึ่งรวมถึงการแยกสารโพลีเมอร์ออกจากวัตถุดิบที่เหลือ การอัดโพลีเมอร์ พร้อมตัดเป็นชิ้น การทำให้โพลีเมอร์เย็นลง การทำให้แห้ง การเติมแต่งด้วยสารเติมแต่ง การเคลือบเพื่อทำให้เสถียร และการหลอมให้อ่อนตัวลงแล้วค่อยทำให้เย็น (Annealing) อุปกรณ์ที่ใช้คัดแยกวัตถุดิบที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาก็รวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย

เมื่อทำบัญชีการปล่อยมลพิษ ให้พิจารณาค่าโดยรวม ในรูปกิโลกรัมของ VOCs ของทั้งโรงงาน นำไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานรวม (เช่น ตัวอย่างในตารางที่ 2-1) ถ้าพบว่าเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยทั่วไปเราจะมีข้อกำหนดมาตรการ เพื่อจัดการและควบคุมความเหมาะสม โดยมักจะเริ่มจากการพิจารณาลงในรายละเอียด ปริมาณการปล่อย VOCs ที่มาจากแต่ละสายการผลิตย่อย อัตราการปล่อย VOCs ต่อหน่วยการผลิต และนำไปเทียบกับเกณฑ์ย่อยของแต่ละระบบย่อย จากการพิจารณาดังกล่าว จะทำให้ผู้พิจารณาสามารถเลือกมาตรการที่เหมาะสมตามความเร่งด่วน เช่น ควรจะเริ่มมาตรการนั้นกับหน่วยผลิตย่อยใดก่อน และที่สำคัญคือสามารถประมาณประสิทธิผลของมาตรการนั้นๆ ได้ทำให้การวางแผนจัดการและควบคุม เป็นไปอย่างมีเหตุผลและหลักการ ไม่ใช่วิธีทดลองทำไปเรื่อยๆ

2.2 เทคนิคการควบคุม VOCs จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitive Sources Control)

วิธีการในการควบคุม VOCs จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ มีหลักการในการควบคุม โดย 2 วิธี คือ

- 1) เทคนิคการสำรวจว่าอุปกรณ์รั่วหรือไม่ และซ่อมแซมในเวลาที่กำหนด
- 2) เทคนิคการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมที่อุปกรณ์ เพื่อควบคุมการรั่วระเหย

ซึ่งเทคนิคการควบคุม VOCs จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ มีหลักการดังนี้

2.2.1 ใช้เทคนิค Leak Detection and Repair (LDAR) Program

LDAR Program คือแผนการตรวจวัดสำรวจ เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งที่มีการรั่ว ในเทคนิคการควบคุมนี้ จะมีศัพท์ที่ใช้ในการอธิบายอัตราการปล่อย VOCs ใน 2 ระดับคือ ระดับ “รั่ว (Leak)” คือการที่อุปกรณ์หรือหน่วยผลิตย่อยนั้นมีการปล่อย VOCs เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เช่น เกินกว่า 5,000 ppm โดยวิธีการวัด US.EPA Method 21 ส่วน อัตราการปล่อย VOCs ในระดับปกติคือ มีอัตราการรั่วระเหยไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เช่นไม่

เกินกว่า 5,000 ppm โดยวิธีการวัด US.EPA Method 21 ระดับการปล่อย VOCs นี้เรียกว่า “รั่วระเหย (Emission)” เทคนิคนี้มีอยู่ 2 ส่วน คือ ขั้นตอนการวัดสำรวจ (Leak Detection) และการซ่อมบำรุง (Repair)

1) **การวัดสำรวจ (Leak Detection)** เทคนิคในการวัดสำรวจว่าอุปกรณ์นั้นรั่วหรือไม่ มีหลายวิธี เช่น

วิธีที่ 1 การวัดสำรวจรายอุปกรณ์ (Individual Component Survey) เป็นวิธีการเดินสำรวจ ในลักษณะเฉพาะเจาะจงในแต่ละอุปกรณ์โดยวิธีการวัด US.EPA Method 21 ซึ่งวิธีการโดยสังเขป กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.5 ในบทที่ 1

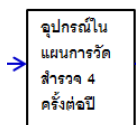
วิธีที่ 2 การวัดสำรวจเชิงพื้นที่ (Area Survey) เป็นวิธีการสำรวจในระดับพื้นที่ก่อน โดยการใช้เครื่องมือ ที่ระบุ ใน US.EPA Method 21 โดยปกติในพื้นที่การผลิตมักแบ่งเป็นบล็อก และกั้นแยกแต่ละบล็อกด้วยถนน หรือ ทางเดิน หรือที่ว่าง ให้เดินหวัวัดของเครื่องมือวัดให้ห่างจากบล็อก ประมาณ 1 เมตร ในทิศได้มจากบล็อก ถ้า เครื่องมือวัดตอบสนองถึงระดับที่มีนัยสำคัญ เช่น 1 ppm แสดงว่ามีอุปกรณ์ขึ้นใดขึ้นหนึ่งหรือหลายขึ้นในบล็อก นั้นมีการรั่ว เมื่อพบว่า มีการรั่วจะต้องมีการสำรวจในลักษณะการวัดสำรวจรายอุปกรณ์ต่อไปในบล็อกนั้น แต่ถ้าไม่ มีการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ อาจสรุปได้ว่าไม่มีอุปกรณ์ใดรั่วในบล็อกนั้น และถือว่าการสำรวจในบล็อกนั้น แล้ว 1 ครั้ง

วิธีที่ 3 การวัดสำรวจโดยใช้เครื่องมือติดตั้งอยู่กับที่ประจำแต่ละพื้นที่ (Fixed-point Monitors) เป็นวิธีการสำรวจโดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดที่มีหลักการเช่นเดียวกับ อุปกรณ์ที่ระบุใน US.EPA Method 21 เพื่อวัดเฝ้าระวัง ประจำตำแหน่งและจะส่งสัญญาณเตือนเมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดดังกล่าวให้ค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ เช่น 1ppm เมื่อมี สัญญาณเตือน จะต้องนำตำแหน่งของเครื่องมือวัด และทิศทางลมในขณะนั้นมาวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ว่าอุปกรณ์ในพื้นที่ หรือบล็อกใดที่น่าจะมีการรั่วและจะต้องมีการวัดสำรวจรายอุปกรณ์ในบล็อกนั้นต่อไป

วิธีที่ 4 การใช้เครื่องมือ “Smart LDAR” เป็นเครื่องมือการสำรวจระยะไกล เช่น การใช้กล้องอินฟราเรด เพื่อวัดการรั่วระเหย ในลักษณะเชิงพื้นที่ คล้ายกับการถ่ายภาพ โดยทั่วไป VOCs มักมีการตอบสนองกับแสง อินฟราเรด เช่น ดูดกลืนแสงอินฟราเรด ทำให้ภาพถ่ายนั้นแสดงให้เห็นเป็นภาพของควันสีต่างๆซึ่งหมายความว่ามีการรั่วของอุปกรณ์ในพื้นที่ หรือบล็อกนั้นโดยที่จะต้องมีการวัดสำรวจรายอุปกรณ์ในบล็อกนั้นต่อไป แต่สัญญาณตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ อาจสรุปได้ว่าไม่มีอุปกรณ์ใดรั่วในบล็อกนั้น และถือว่าการสำรวจในบล็อกนั้นแล้ว 1 ครั้ง

ในประเทศไทย โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้กำหนดว่าในการสำรวจการรั่วของอุปกรณ์ แนะนำให้ใช้วิธีที่ 1 หรือวิธีที่ 4 แต่การวัดสำรวจโดยใช้วิธีที่ 2 และ วิธีที่ 3 ก็ยังเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการ ในแง่ของการเพิ่มความถี่ต่อการสำรวจมากขึ้น ส่งผลให้โอกาสการปล่อย VOCs จากกระบวนการผลิตลดลง

2) **เทคนิคการซ่อมบำรุง (Repair Technique)** เป็นการใช้เทคนิคการวัดสำรวจเพื่อหาจุดรั่วระเหย และทำการซ่อมบำรุงให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้ ขั้นตอนแสดงถึงผลการวัดสำรวจและการซ่อมบำรุงในกรณีมีแผนการวัดสำรวจ 4 ครั้งต่อปี จากต้นเดือนที่ 1 จนกระทั่งปลายเดือนที่ 3 แสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ฟังแสดงแสดงถึงผลการวัดสำรวจและการซ่อมบำรุงในกรณีมีแผนการวัดสำรวจ 4 ครั้งต่อปี

ที่มา: สรุปจาก US.EPA, Preferred and Alternative Method for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks, 1996.

ตัวอย่างของประสิทธิภาพของการควบคุม การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitive Sources) โดยใช้เทคนิค LDAR Program ในความถี่ 4 ครั้งต่อปี (Quarterly) ให้ผลเกี่ยวกับประสิทธิภาพการควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 2-2 และ 2-3 ซึ่ง อาจสรุปได้ว่าอุตสาหกรรม ในกลุ่ม Synthetic Organic Compounds Manufacturing Industry (SOCMI) ซึ่งหมายถึงอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลางและขั้นปลาย ถ้าใช้เกณฑ์ 10,000 ppm เป็นเกณฑ์ว่า “รั่ว” จะต้องมีการซ่อมบำรุงในเวลาที่กำหนด การกำหนดให้มีการวัดสำรวจทุกเดือน จะสามารถลดการรั่วระเหยได้ประมาณ 80% ในขณะที่ ถ้ามีการวัดสำรวจทุก 3 เดือน จะสามารถลดการรั่วระเหยได้ประมาณ 60 % ส่วนในกรณี โรงกลั่นและโรงแยกก๊าซ การกำหนดให้มีการวัดสำรวจทุกเดือน จะสามารถลดการรั่วระเหยได้ประมาณ 78% ในขณะที่ ถ้ามีการวัดสำรวจทุก 3 เดือน จะสามารถลดการรั่วระเหยได้ประมาณ 59 %

ตารางที่ 2-2 ตัวอย่างประสิทธิผลของการควบคุม การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิค LDAR Program สำหรับ อุปกรณ์สำหรับอุตสาหกรรมในกลุ่ม SOCM

อุปกรณ์และการใช้งาน	ประสิทธิภาพการควบคุม (%)	
	วัดสำรวจทุกเดือน ถ้าเกิน 10,000 ppmv นับว่ารั่ว	วัดสำรวจทุก 3 เดือน ถ้าเกิน 10,000 ppmv นับว่ารั่ว
วาล์วใช้งานกับก๊าซ	87	67
วาล์วใช้งานกับของเหลวเบา	84	61
ปั๊มใช้งานกับของเหลวเบา	69	45
เครื่องอัดอากาศใช้งานกับก๊าซ	a	a
ข้อต่อ ใช้งานกับก๊าซ ของเหลวเบา	a	33
วาล์วลดความดันใช้งานกับก๊าซ	a	44

^a ไม่มีข้อมูลเพียงพอสำหรับสรุปประสิทธิภาพ

ที่มา: สรุปจาก US.EPA, Preferred and Alternative Method for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks, 1996.

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างประสิทธิผลของการควบคุม การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิค LDAR Program สำหรับ อุปกรณ์สำหรับกระบวนการกลั่นแยกปิโตรเลียม

อุปกรณ์และการใช้งาน	ประสิทธิภาพการควบคุม (%)	
	วัดสำรวจทุกเดือน ถ้าเกิน 10,000 ppmv นับว่ารั่ว	วัดสำรวจทุก 3 เดือน ถ้าเกิน 10,000 ppmv นับว่ารั่ว
วาล์วใช้งานกับก๊าซ	88	70
วาล์วใช้งานกับของเหลวเบา	76	61
ปั๊มใช้งานกับของเหลวเบา	68	45
เครื่องอัดอากาศใช้งานกับก๊าซ	a	33
ข้อต่อ ใช้งานกับก๊าซ ของเหลวเบา	a	a
วาล์วลดความดันใช้งานกับก๊าซ	a	44

^a ไม่มีข้อมูลเพียงพอสำหรับสรุปประสิทธิภาพ

ที่มา: สรุปจาก US.EPA, Preferred and Alternative Method for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks, 1996.

ตารางที่ 2-4 และ 2-5 แสดงถึงประสิทธิผลของการควบคุมการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิค LDAR Program สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมในกลุ่ม SOCM1 ซึ่งจะพบว่า ประสิทธิภาพในการลดการปล่อย VOCs จะเพิ่มขึ้น ถ้ามีการวัดสำรวจบ่อยครั้งมากขึ้น เช่น สำหรับ วาล์วที่ใช้งานกับก๊าซ ถ้ามีการวัดสำรวจแล้วซ่อมบำรุงปีละ 1 ครั้งจะสามารถลดการปล่อย VOCs ลงได้ 24 % แต่ถ้าเพิ่มความถี่ของการวัดสำรวจเป็น เดือนละครั้ง จะสามารถลดการปล่อยลงได้ 73 %

ตารางที่ 2-5 แสดงถึงประสิทธิผลของการควบคุมการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิคอื่นๆ เทียบกับการใช้ LDAR Program แยกตามชนิดอุปกรณ์และความถี่ ซึ่งพบว่า LDAR Program จะให้ผลในการลดการปล่อย VOCs สำหรับวาล์วใช้งานกับก๊าซมากที่สุด และโดยทั่วไปการอุดปิดและการระบาย VOCs ที่ปล่อยออกสู่ระบบควบคุมถือว่ามีประสิทธิภาพการควบคุมได้ 100%

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างประสิทธิภาพการลดการปล่อยสารอินทรีย์ระเหย ของการควบคุม การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ สำหรับ วาล์ว และ ปั๊ม โดยใช้เทคนิค LDAR Program สำหรับอุตสาหกรรมในกลุ่ม SOCM1

ความถี่ของการวัดสำรวจ	ประเภทอุปกรณ์		
	วาล์วใช้งานกับก๊าซ	วาล์วใช้งานกับของเหลวเบา	ปั๊มใช้งานกับของเหลวเบา
เดือนละครั้ง	0.73	0.59	0.61
เดือนละครั้ง / 3 เดือนครั้ง ^a	0.65	0.46	-
3 เดือนครั้ง	0.64	0.44	0.33
ปีละ 2 ครั้ง	0.50	0.22	(0.076)
ปีละครั้ง	0.24	(0.19)	(0.80)

^a เป็นการวัดสำรวจเดือนละครั้ง ยกเว้นอุปกรณ์ที่มีอัตราการรั่วน้อยจะวัดสำรวจ 3 เดือนครั้ง

ข้อสังเกต ; ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงค่าลบ นั่นคือถ้ามีการวัดสำรวจเพียงปีละ 1 ครั้ง สำหรับวาล์วและปั๊ม ที่ใช้งานกับของเหลวเบา จะทำให้อัตราการรั่วระเหยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (US EPA, 1986,p4-7)

ที่มา: สรุปจาก US.EPA, Preferred and Alternative Method for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks, 1996.

ตารางที่ 2-5 ตัวอย่างประสิทธิภาพการลดการปล่อย VOCs จากเทคนิคต่างๆ สำหรับ อุตสาหกรรมในกลุ่ม SOCMI

แนวทางการควบคุม			เทคนิคการควบคุมที่ระบุในมาตรฐานแหล่งกำเนิดใหม่ (New Source Performance Standards) ในสหรัฐอเมริกา	
Source	เทคนิคการควบคุม	ลดการปล่อย, %	เทคนิคการควบคุม	ลดการปล่อย, %
ปั๊มใช้งานกับของเหลวเบา	วัดสำรวจ 3 เดือนครั้ง และซ่อมบำรุง	33	วัดสำรวจ เดือนละครั้ง และซ่อมบำรุง	61
วาล์วใช้งานกับก๊าซ	วัดสำรวจ 3 เดือนครั้ง และซ่อมบำรุง	64	วัดสำรวจ เดือนละครั้ง และซ่อมบำรุง	73
วาล์วใช้งานกับของเหลวเบา	วัดสำรวจ 3 เดือนครั้ง และซ่อมบำรุง	44	วัดสำรวจ เดือนละครั้ง และซ่อมบำรุง	59
วาล์วลดความดันใช้งานกับก๊าซ	วัดสำรวจ 3 เดือนครั้ง และซ่อมบำรุง	44	ใช้ Rupture disk. ใช้ Soft seats (O-rings) ระบายสู่ระบบควบคุม	100
ท่อปลายเปิด	อุดปิด, ฝาปิด, เชื่อมปิด ฯลฯ.	100	อุดปิด, ฝาปิด, เชื่อมปิด ฯลฯ.	100
เครื่องอัดความดัน	วัดสำรวจ 3 เดือนครั้ง และซ่อมบำรุง	33	หุ้มปิด/ระบายสู่ระบบควบคุม	100
จุดเก็บตัวอย่าง	-	-	จุดเก็บตัวอย่างระบบปิด	100

ที่มา: สรุปจาก US.EPA, Preferred and Alternative Method for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks, 1996, P4.2-10

2.2.2 เทคนิคการควบคุมการปล่อย VOCs โดยการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบเพิ่มเติม

การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ต่างๆ สามารถแก้ไขได้ โดยเทคนิคเฉพาะสำหรับแต่ละอุปกรณ์ มีหลักการลดการรั่วไหลดังนี้

1) **อุปกรณ์ควบคุม (Control Device)** ในแนวความคิดนี้คือการเพิ่มเติมหรือติดตั้งอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนอุปกรณ์เพิ่มเติม เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการรั่วไหลหรือรั่วไหลน้อยลง แล้วแต่ชนิดของอุปกรณ์ดังนี้

- ปั๊ม (Pumps) โดยวิธี

ก. การผนึกกันรั่วด้วยแรงกล 1 ชั้น (Single Mechanical Seal) ใช้วิธีการผนึกหรือ seal 1 ชั้น ด้วยชุดผนึก ซึ่งอาจจะทำด้วยวัสดุหลายชนิดนำมาประกอบรวมกันเป็นชุดผนึกได้ โดยมีหลักการ คือ ให้แหวนรองผนึก (rotating-seal ring) หรือชุดผนึกนั้น จะต้องแนบสนิทอย่างดีกับแกนหมุน (shaft) ของปั๊มโดยแรงกดของสปริง เพื่อป้องกันการรั่วซึมของสาร VOCs

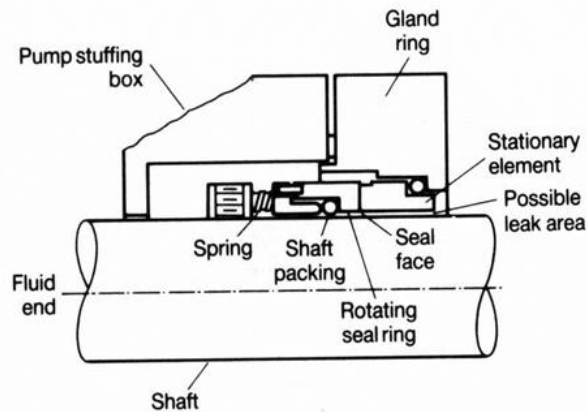


Diagram of a basic single mechanical

รูปที่ 2-3 ผนึกกันรั่วด้วยแรงกลชั้นเดียว (Single Mechanical Seal)

ที่มา: US.EPA., Controlling VOC Emissions from Leaking Process Equipment: Student Guidebook, 1982.

ข. การผนึกกันรั่วด้วยแรงกล 2 ชั้น (Dual Mechanical Seal) ใช้วิธีการผนึก 2 ชั้น ซึ่งแยกย่อยออกได้เป็น

- การซ้อน 2 ชั้น หรือ back to back โดยประยุกต์ใช้ชุดผนึก (seal) กันรั่วชั้นเดียว 2 ตัวมาติดตั้งที่เพลลาหันหลังชนกันเป็นชั้นเดียว หรือผนึกชั้นเดียว (single seal) นำมาเรียงกันต่อกันเป็นชั้นเดียว มีการผนึก (seal) ช่องว่างด้านบนและล่างด้วยของเหลวเช่นน้ำหรือน้ำมัน ทำให้มีการรั่วระเหยน้อยมาก

- การผนึกคลุมด้วยแรงกล 2 ชั้น หรือเรียกว่า tandem dual mechanical seal จะมีผนึกชั้นเดียว (single seal) 2 ชุด ซึ่งแยกออกจากกัน และมีการผนึก (seal) ด้วยของเหลว เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ หรือน้ำมัน เช่นเดียวกัน

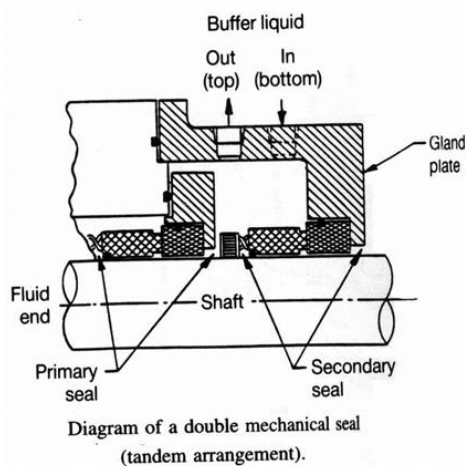


Diagram of a double mechanical seal (tandem arrangement).

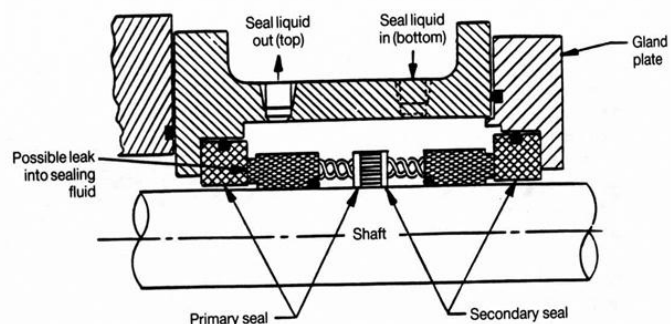
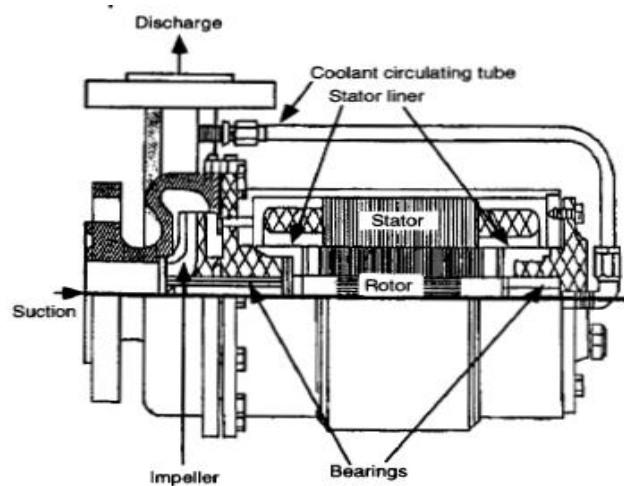


Diagram of a double mechanical seal (back-to-back arrangement).

รูปที่ 2-4 ผนึกกันรั่วด้วยแรงกล 2 ชั้น (Double Mechanical Seal)

ที่มา : US.EPA., Controlling VOC Emissions from Leaking Process Equipment: Student Guidebook, 1982.



รูปที่ 2-5 ปั๊มที่ไร้ระบบฉนวน (Seal-less Pump)

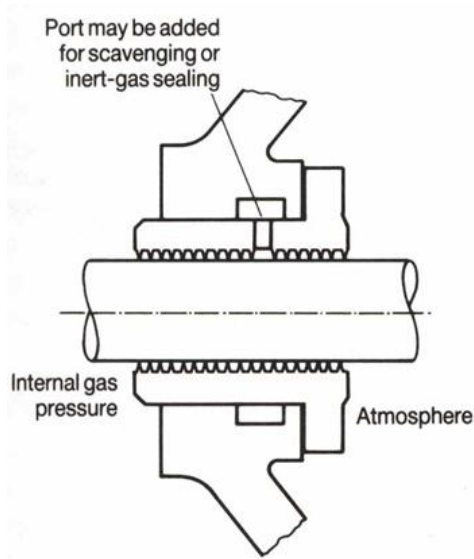
ที่มา US.EPA., Controlling VOC Emissions from Leaking Process Equipment: Student Guidebook, 1982.

ค. ปั๊มที่ไร้ระบบฉนวน (Seal-less Pump) โดยการ หุ้มคลุมปั๊มในลักษณะที่ทำให้ไม่ปรากฏจุดรั่วระเหย และแยกออกจากมอเตอร์ขับเคลื่อน ดังรูปที่ 2-5 ทำให้เสมือนว่าไม่มีจุดรั่วระเหยสำหรับ VOCs

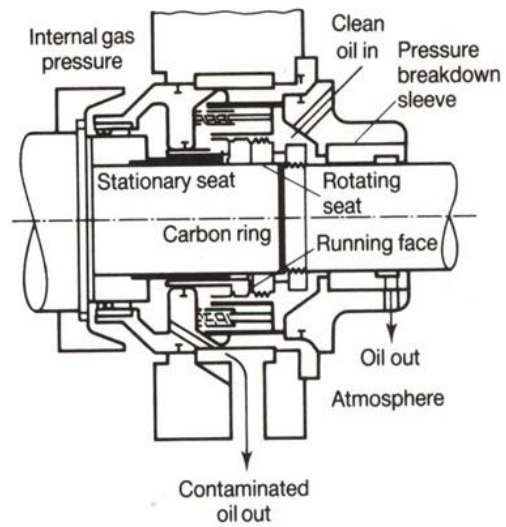
- เครื่องอัดอากาศ (Compressor) คือ ปั๊มที่ใช้งานกับก๊าซหรือไอน้ำเอง มีเทคนิคการควบคุม 2 วิธีคือ

ก. ระบบฉนวนสัมผัสโดยตรง (Mechanical Contact Seals) ซึ่งจะใช้ได้กับเครื่องอัดอากาศทั้ง 3 แบบ คือ แบบเหวี่ยง (centrifugal) แบบลูกสูบ (reciprocating) และ แบบโรตารี (rotary) ซึ่งก็เหมือนกับปั๊มที่ต้องมีการฉนวนกันรั่ว (seal) เพื่อป้องกันการรั่วระเหยซึ่งตำแหน่งที่จะมีโอกาสรั่วมากที่สุดคือ ช่องว่างของแกนของเครื่องอัดอากาศ (shaft) กับตลับลูกปืน (bearing) ซึ่งมีเทคนิคในการฉนวนหลายวิธี เช่น แบบเลบิรินท์ (Labyrinth compressor seal) แบบกดฉนวนด้วยแรงกล (mechanical contact) แบบใช้ฟิล์มของเหลว (liquid film) และแบบใช้แหวนรองฉนวน (restrictive ring seal) ดังแสดงในรูปที่ 2-6

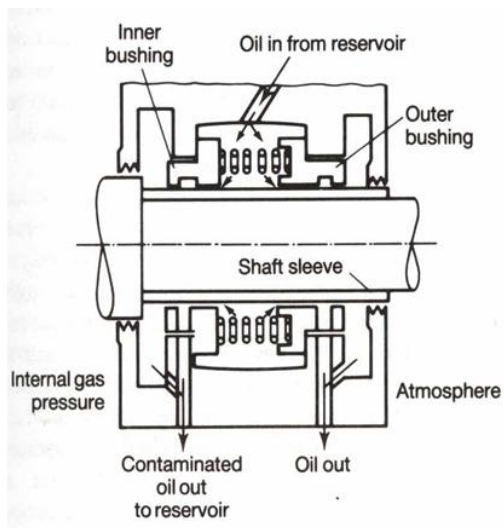
ข. การระบายออกในระบบปิด (Closed-vent Systems) และการส่งก๊าซที่ระบายออกเข้าไปในระบบควบคุม (Control Devices) เป็นวิธีการหุ้มคลุมและรวบรวมอากาศและ VOCs ที่ระบายออก ให้อยู่ภายในระบบปิด แล้วส่งไปบำบัดที่ระบบควบคุม เช่น ผ่านไปยังระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การส่งไปเผาที่หอเผา (Flare)



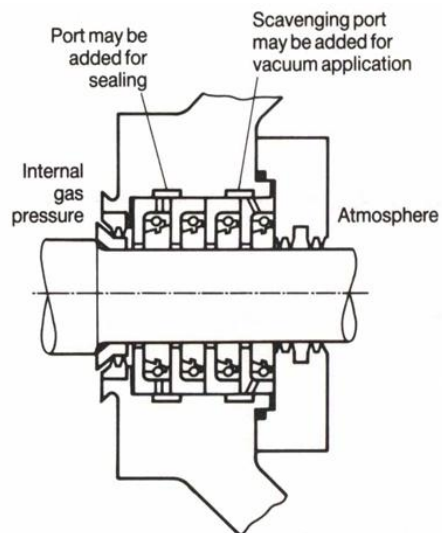
แบบเลบิรินท์ (Labyrinth compressor seal)



แบบกดผนึกด้วยแรงกล (mechanical contact)



แบบใช้ฟิล์มของเหลว (liquid film)

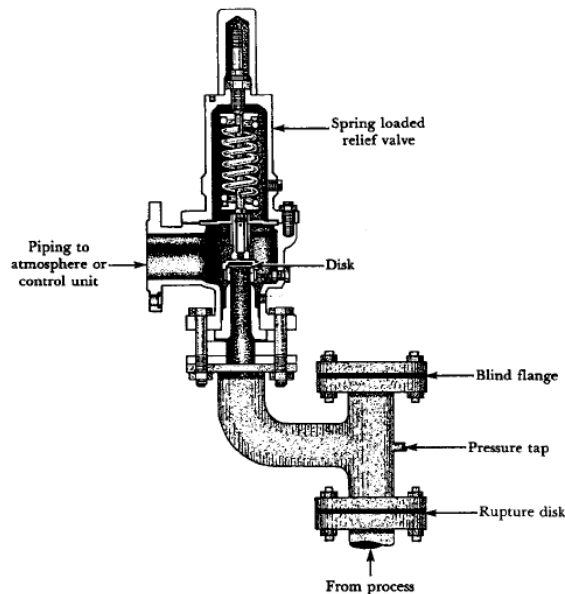


แบบใช้แหวนรองผนึก (restrictive ring seal)

รูปที่ 2-6 การผนึก (seal) แบบต่างๆ เพื่อป้องกันการรั่วระเหยจากเครื่องอัดอากาศ (compressor)

ที่มา: David R. Patrick, 1994.

2) การลดการปล่อย VOCs ที่วาล์วลดความดัน (Pressure Relief Devices) โดยใช้รับเจอร์ดิสก์ (Rupture Disks) โดยทั่วไป วาล์วลดความดันจะปิดโดยอาศัยแรงกดด้วยสปริง เมื่อความดันในระบบสูงกว่าแรงกดของสปริง จะทำให้วาล์วเปิดออกเพื่อระบายความดันในระบบออก การกดของสปริง มีโอกาสการรั่วระเหยจากผิวสัมผัสซึ่งไม่ได้แนบสนิทอย่างสมบูรณ์ ถ้ามีการติดตั้งแผ่นโลหะ (disk) ระหว่างแท่นรับและแกนกดของวาล์วลดความดันในลักษณะหุ้มปิด โดยแผ่นโลหะ (disk) นั้นจะสามารถฉีกขาดได้ เมื่อความดันในระบบสูงจนวาล์วลดความดันต้องเปิดออก ในกรณีนี้ จะทำให้ในขณะที่ความดันในระบบปกติจะไม่มีการรั่วระเหยจากจุดนั้น

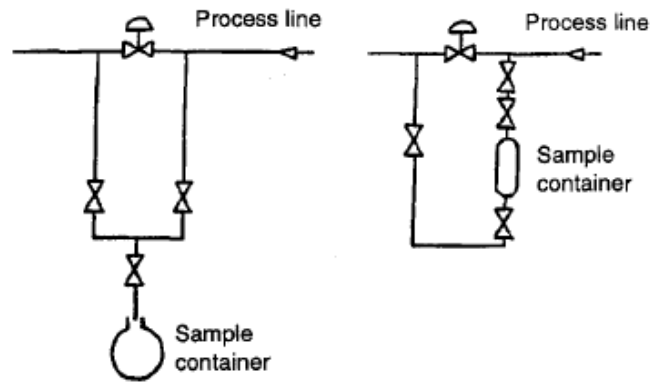


รูปที่ 2-7 การติดตั้ง Rupture-disk ร่วมกับ วาล์วลดความดัน

ที่มา: US.EPA., Controlling VOC Emissions from Leaking Process Equipment: Student Guidebook, 1982.

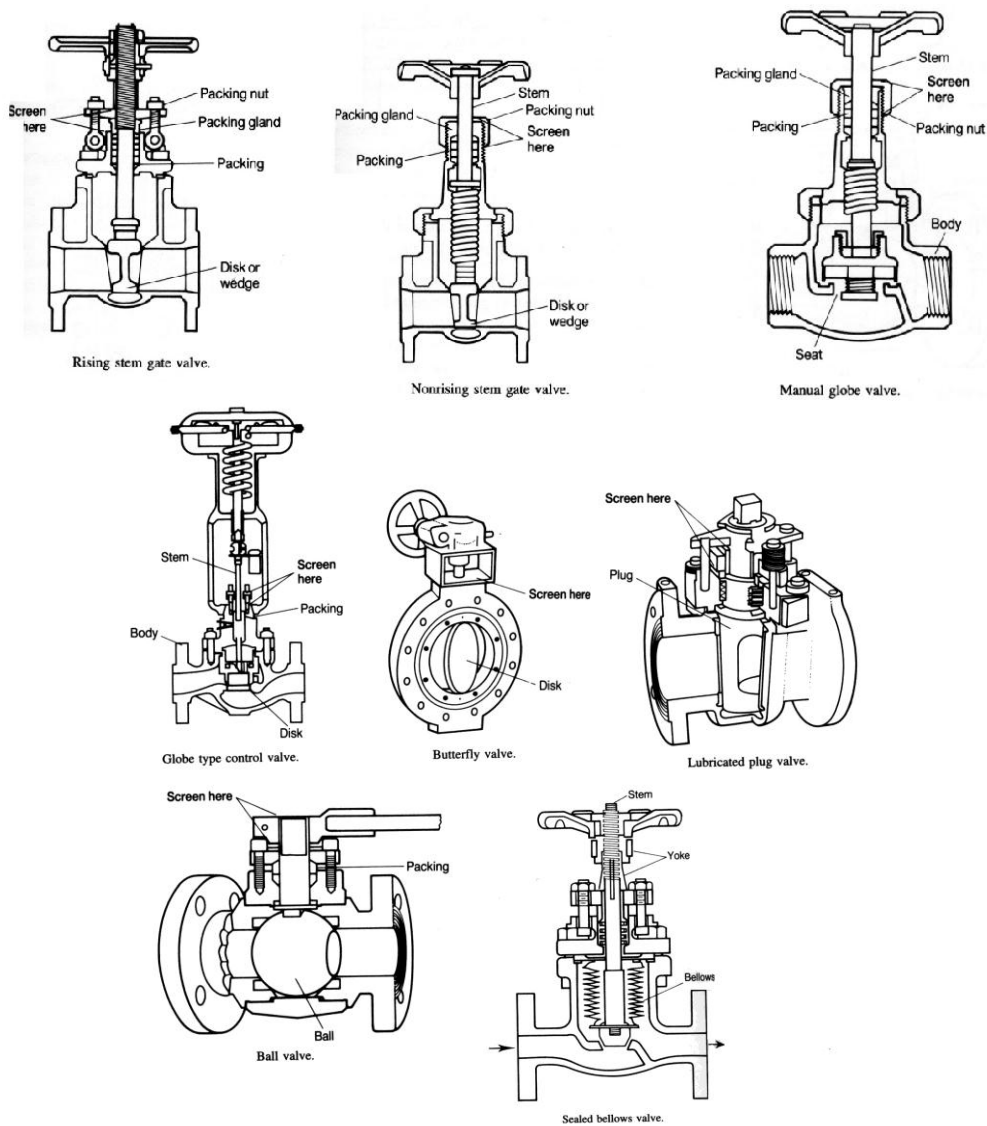
3) เพิ่มจุกอุดหรือฝาปิดให้กับท่อปลายเปิด (Open-ended Lines) หรือ วาล์วปลายเปิด (Open-ended Valves) ซึ่งมีปลายด้านหนึ่งเปิดออกสู่สิ่งแวดล้อม ถ้าติดตั้งจุกอุด (Plugs) ฝาปิด (Caps) หรือข้อต่อปิด (Blinds) ก็จะสามารถลดการรั่วระเหยลงได้

4) จุดเก็บตัวอย่าง (Sampling Connections) อัตราการรั่วระเหยจะลดลง ถ้าใช้ระบบเก็บตัวอย่างโดยใช้ระบบเก็บตัวอย่างแบบวนปิด (closed loop sampling system) ระบบเก็บตัวอย่างแบบนี้ (แสดงในรูปที่ 2-8) จะทำให้สารที่เราใช้ล้างไลในภาชนะเก็บตัวอย่างถูกวนกลับเข้าในระบบโดยไม่ถูกระบายทิ้งสู่ภายนอก



รูปที่ 2-8 ผังแสดงระบบเก็บตัวอย่างโดยใช้เทคนิควนสารเข้าในระบบ

ที่มา: US.EPA., Controlling VOC Emissions from Leaking Process Equipment: Student Guidebook, 1982.



รูปที่ 2-9 วาล์วและการผนึกการรั่ว หรือ seal แบบต่างๆ

ที่มา: David R. Patrick, 1994.

5) วาล์ว (Valves) การควบคุมการรั่วระเหย กระทำ ณ ตำแหน่งที่มีแนวโน้มที่จะมีการรั่ว เช่น ที่ก้านวาล์ว โดยการใช้ชุดอัดผนึก (packing gland) หรือ แหวนรองผนึก (O-ring seal) แล้วเพิ่มแรงกด (เช่น ชันชุดอัดผนึกให้แน่นขึ้น) จะทำให้การรั่วระเหยลดลง การใช้การผนึกกันรั่วโดยใช้ของเหลวหล่อเลี้ยงบริเวณที่มีโอกาสมีการรั่วระเหย วิธีนี้เป็นวิธีการลดการรั่วระเหยที่ได้ผลกว่าวิธีแบบผนึกโดยแรงกลหรือ Seal ผิดสัมผัสแบบเดิม อีกวิธีหนึ่งคือ การเปลี่ยนเป็นปั๊มแบบไดอะแฟรม (diaphragm pump) ก็จะทำให้การรั่วระเหยลดลง เนื่องจากลักษณะของปั๊มดังกล่าว ไม่มีตำแหน่งที่มีโอกาสที่จะรั่วระเหยได้เลย

การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อลดการรั่วระเหยของ VOCs มีเทคนิคและวิธีการที่หลากหลาย ซึ่งแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพในการลดการรั่วระเหยแตกต่างกัน โดยตัวอย่างของประสิทธิผลของการควบคุม การรั่วระเหย แสดงในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ประสิทธิภาพของการควบคุม Fugitive Sources

อุปกรณ์	การปรับปรุง	ประสิทธิภาพการควบคุมโดยประมาณ (%)
ปั๊ม	ออกแบบไร้ผนึก (Sealless design)	100 ^a
	ระบายสู่ระบบปิด (Closed-vent system)	90 ^b
	ผนึกแบบแรงกล 2 ชั้น (Dual mechanical seal) โดยมีหล่อเย็นกันรั่วด้วยของเหลว ซึ่งจะมีแรงกดมากกว่าแรงดันของของเหลวในปั๊ม	100
วาล์ว	ออกแบบให้ไม่มีรอยต่อ (Sealless design)	100 ^a
เครื่องอัดความดัน	ระบายสู่ระบบปิด (Closed-vent system)	90 ^b
	ผนึกแบบแรงกล 2 ชั้น (Dual mechanical seal) โดยมีหล่อเย็นกันรั่วด้วยของเหลว ซึ่งจะมีแรงกดมากกว่าแรงดันของก๊าซในเครื่องอัดอากาศ	100
วาล์วลดความดัน	ระบายสู่ระบบปิด (Closed-vent system)	^c
	ติดตั้ง รับเจอร์ริสค์ (Rupture disk) เพิ่ม	100
ข้อต่อ	เชื่อมติด (Weld together)	100
ท่อปลายเปิด	ข้อต่อปิด (Blind) ฝาปิด (cap) จุกอุด (plug) หรือใช้วาล์วตัวที่ 2	100
จุดเก็บตัวอย่าง	ระบบเก็บตัวอย่างแบบวนปิด (Closed-loop sampling)	100

^a อุปกรณ์ที่ออกแบบให้ไม่มีรอยต่อ อาจเป็นแหล่งกำเนิด VOCs ที่สำคัญได้ ถ้าอุปกรณ์นั้นเกิดความบกพร่อง

^b ประสิทธิภาพจริงของ การระบายสู่ระบบปิด (Closed-vent system) ขึ้นกับประสิทธิภาพการดักเก็บ VOCs และส่งเข้าระบบควบคุม

^c ประสิทธิภาพจริงของ การระบายสู่ระบบปิด (Closed-vent system) ที่ติดตั้งกับ วาล์วลดความดัน อาจมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการติดตั้งกับอุปกรณ์อื่น เนื่องจาก จะต้องออกแบบให้รับกับปริมาณ VOCs ทั้งสูง และต่ำด้วยอุปกรณ์ชุดเดียวกัน

ที่มา: สรุปจาก US.EPA, Preferred and Alternative Method for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks, 1996.

2.3 การควบคุมการรั่วระเหยจากถังเก็บ (Evaporative Loss from Tanks)

สำหรับถังเก็บสารเคมีการปล่อย VOCs จาก 2 ส่วน คือ การระเหยของสารในสภาวะเก็บกัก และ จากการเปลี่ยนแปลงระดับของสารในถังเก็บ ปริมาณการระเหยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง รวมถึงประเภทของถังเก็บ เทคนิคในการควบคุมสำหรับถังเก็บประเภทต่างๆ มีดังนี้

การลดการรั่วระเหยของ VOCs ที่บรรจุในถังเก็บ จะใช้เทคนิคของการออกแบบถังเก็บ และการปรับปรุงที่อุปกรณ์ประกอบที่ใช้กับถังเก็บ สำหรับถังเก็บสารเคมีที่มีการรั่วระเหยอย่างมีนัยสำคัญ มีอยู่ 4 ประเภท คือ 1) ถังหลังคาตริง 2) ถังหลังคาลอยภายนอก 3) ถังหลังคาลอยภายใน และ 4) ถังหลังคาลอยรูปโดมภายนอก

2.3.1 ถังหลังคาตริง (Fixed Roof Tanks)

สำหรับการรั่วระเหยจากถังเก็บสารเคมีแบบถังหลังคาตริง มีสาเหตุมาจากสองส่วนคือ

1) การระเหยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังเก็บ เรียกว่า Standing Loss เนื่องจากภายในถังเก็บประเภทนี้ จะมีปริมาตรอากาศอยู่เหนือระดับสารเคมีในถัง ซึ่งมีไอของสาร VOCs ปนอยู่ เมื่ออุณหภูมิในถังต่ำลง อากาศส่วนนี้จะมีปริมาตรลดลง ทำให้ดึงอากาศจากภายนอกเข้ามาในถัง ในขณะนี้จะไม่มีการปล่อยสาร VOCs สู่ภายนอก แต่เมื่ออุณหภูมิในถังเพิ่มขึ้น เช่นในตอนกลางวัน อากาศเหนือของเหลวในถังก็จะขยายตัว เกิดความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ จึงปล่อยอากาศที่มีไอของสาร VOCs ปนออกมาสู่บรรยากาศ ทั้งนี้ อุณหภูมิภายในถังเก็บขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิบรรยากาศภายนอก ความเข้มของแสงอาทิตย์ สีของถัง และพื้นที่ผาถัง

2) การเปลี่ยนแปลงระดับของสารในถังเก็บ เรียกว่า Working Loss เมื่อมีการเติมสารเคมีลงไปในถัง ปริมาตรอากาศอยู่เหนือระดับสารเคมีในถัง จะถูกแทนที่ในปริมาตรที่เท่ากัน ปริมาณการรั่วระเหยจึงขึ้นอยู่กับปริมาตรสารเคมีที่เติมลงในถัง

ดังนั้น การรั่วระเหยจากถังหลังคาตริง = Standing Loss + Working Loss

ซึ่งอัตราการรั่วระเหยทั้งสองส่วน โดยทั่วไปที่การใช้งานปกติ จะมีสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ ประมาณส่วนละ 50%

สำหรับถัง Fixed Roof Tank มีเทคนิคในการควบคุมดังนี้

- ใช้สีอ่อน หรือขาว เพื่อลดการดูดความร้อนของถังเก็บเพื่อลดอุณหภูมิในถัง
- ใช้ฉนวนห่อหุ้มถัง หรือการควบคุมอุณหภูมิในถัง หรือฝังถังไว้ใต้ดิน เพื่อควบคุมอุณหภูมิในถัง ไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลง
- ติดตั้ง Breather valve แทนที่ การระบายออกโดยธรรมชาติ โดยมีการตั้งให้ วาล์ว เปิดออกด้านนอกที่ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย และจะเปิดเข้าเมื่อความดันในถังต่ำกว่าบรรยากาศเล็กน้อย ซึ่งจะลดการปล่อยสาร VOCs สู่บรรยากาศระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จะต้องระวังไม่ให้ค่าที่ตั้งไว้สูงหรือต่ำเกินไป มิฉะนั้นจะเสี่ยงต่อการเกิดถังบวมหรือถังยุบได้

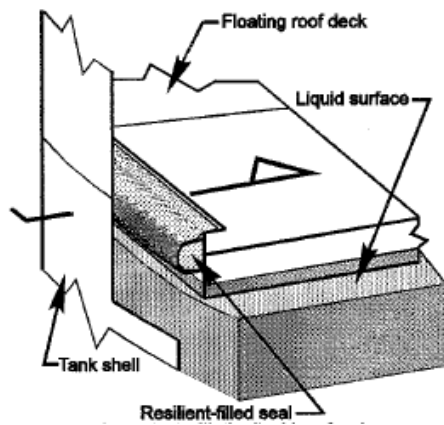
- การทำสมดุลไอ (Vapor balancing) คือ การต่อท่อระบายกลับเข้าระบบปิดหรือภาชนะที่ขนส่งสารเข้าถัง เช่น ขนถ่ายจากเรือ
- ติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการเก็บกักไอกลับมาใช้ (vapor recovery) อื่นๆ เช่น ใช้ระบบดูดกลืนไวด้วยของเหลว (vapor/liquid absorption)อัดความดันให้ไอลั่นตัว (vapor compression) ลดอุณหภูมิไอ (vapor cooling) ใช้ระบบดูดซับไวด้วยของแข็ง (vapor/solid adsorption) การเผาทำลายที่อุณหภูมิสูง (Thermal oxidation system) และการใช้ระบบหลายระบบร่วมกัน ประสิทธิภาพของเทคนิคการควบคุมการรั่วระเหยในแต่ละวิธีโดยประมาณ คือ
 - ติดตั้ง ถังลอย และผนึกกันรั่ว จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมประมาณ 66 – 99 %
 - การทำสมดุลไอ จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมประมาณ 90 – 98 %
 - อุปกรณ์และวิธีการดักเก็บไอล้วนนำกลับมาใช้ อื่นๆ เช่น การดูดกลืนไวด้วยของเหลว การอัดความดันให้ไอลั่นตัว การลดอุณหภูมิ การดูดซับไวด้วยของแข็ง และการใช้ร่วมกันจะได้ประสิทธิภาพรวมประมาณ 90 - 98 % ส่วนการเผาทำลายที่อุณหภูมิสูง จะให้ประสิทธิภาพรวมประมาณ 96 - 99 %

2.3.2 ถังหลังคาลอยภายนอก (External Floating Roof Tanks)

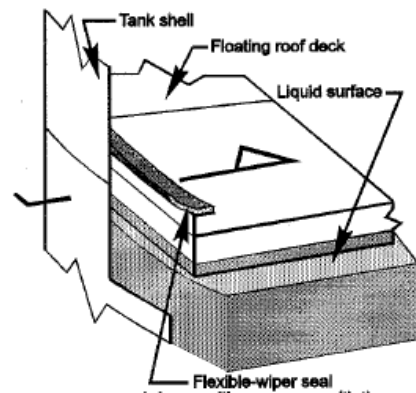
สำหรับถังหลังคาลอยภายนอก (External Floating Roof Tanks) มีแนวความคิดในการลดการรั่วระเหยโดยการลดการเปลี่ยนแปลงระดับของสารเคมีในถังเก็บ ในส่วนของ Standing Loss ซึ่งวิธีหนึ่งคือการเปลี่ยนฝาถังจากที่ตรึงอยู่กับที่ เป็นฝาลอยอยู่ที่ระดับผิวของ ของเหลว ซึ่งทำให้ไม่มีปริมาตรอากาศเหนือระดับของเหลวในถัง ทำให้ Standing Loss ลดลง (ซึ่งโดยประมาณคือ 50% ของทั้งหมด) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากฝาลอยไม่ได้เชื่อมติดกับตัวถังอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากต้องปล่อยให้มีการลอยขึ้นลงอย่างอิสระ ทำให้มีการรั่วระเหยอีก 2 แหล่งเกิดขึ้น คือ จากช่องว่างระหว่างฝากับตัวถัง (Rim Seal Loss) ประมาณ 15% และ จากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์และช่องว่างที่ฝาดัง (Deck Fitting Loss และ Deck Seam Loss) ประมาณ 10% ดังนั้นโดยประมาณ การเปลี่ยนถังเก็บจากหลังคาตรึง (Fixed Roof Tank) เป็นถังหลังคาลอย (External Floating Roof Tank) จะสามารถลดการปล่อยสาร VOCs ลงได้ประมาณ 25%

สำหรับเทคนิคในการลดอัตราการรั่วระเหยจากถังเก็บ ประเภทถังหลังคาลอยภายนอก (External Floating Roof Tank) ซึ่งส่วนใหญ่การรั่วระเหยมาจากช่องว่างระหว่างฝาลอย (Floating Roof) กับตัวถัง ทำได้โดยการผนึก (seal) ที่ช่องว่างระหว่างฝาดังและตัวถังดังกล่าว เช่น

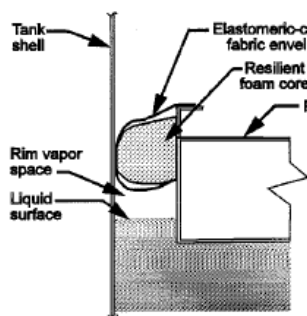
- ใช้การผนึกกันรั่วแบบแผ่นรองแรงกล (Mechanical shoe seal) โดยการใช้แผ่นโลหะบางและเบา (light-gauge metallic band) เป็นวัสดุรองรับการเคลื่อนผ่าน ระหว่างฝาดังกับตัวถังกับถัง วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไป
- ใช้การผนึกกันรั่วแบบผนึกกันรั่วชั้นเดียวสัมผัสกับอากาศ (Vapor-mounted primary seals) โดยใบปาดติดตั้งบนฝาลอย ซึ่งเชื่อมกันรอบฝาดังเป็นรูปวงแหวน ปิดช่องว่างระหว่างฝาดังกับฝาลอยกดแนบกับตัวถัง โดยที่สามารถลอยขึ้นลงได้ตามระดับของสารเคมีในถัง ผนึกกันรั่วแบบ Vapor-mounted หมายถึง ผนึกกันรั่วติดตั้งในระดับที่สัมผัสกับอากาศเหนือของเหลวในถัง รูปแบบของ ผนึกกันรั่วแบบนี้ มีอยู่ 3 รูปแบบ คือ แบบใบปาดโลหะแรงกล (mechanical (metallic) shoe) แบบหมอนรองที่ไม่ใช่โลหะ (resilient filled (nonmetallic)) และแบบใบปาดที่ยืดหยุ่นได้ (flexible wiper seals) แสดงในรูปที่ 2-10



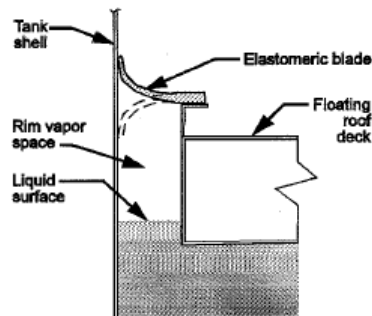
ผืนก้นรั้วแบบหมอนรองบนผิวกำซ



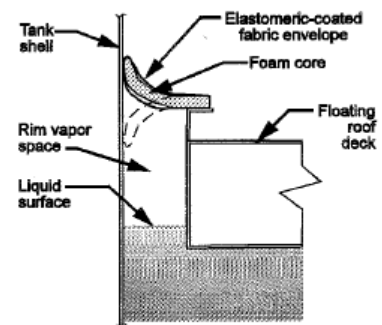
ผืนก้นรั้วแบบใบปาดบนผิวกำซ



ผืนก้นรั้วแบบหมอนรอง
สัมผัสกับกำซ (ด้านข้าง)



ผืนก้นรั้วแบบใบปาด
สัมผัสกับกำซ (ด้านข้าง)

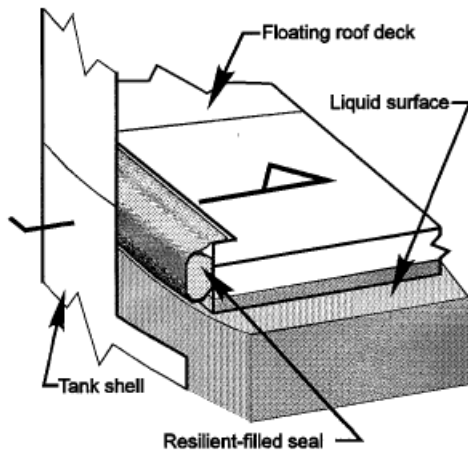


ผืนก้นรั้วแบบใบปาดแผ่นหนา
สัมผัสกับกำซ (ด้านข้าง)

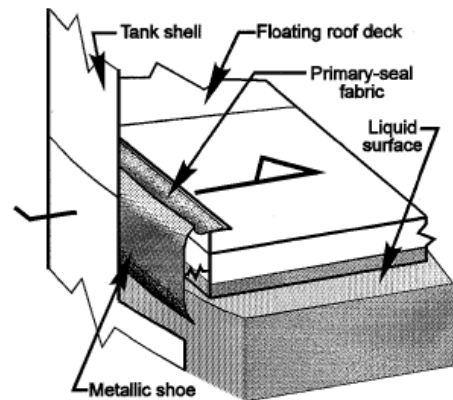
รูปที่ 2-10 ผืนก้นรั้วชั้นเดียวสัมผัสกับกำซ

ที่มา : U.S. EPA., 1995.

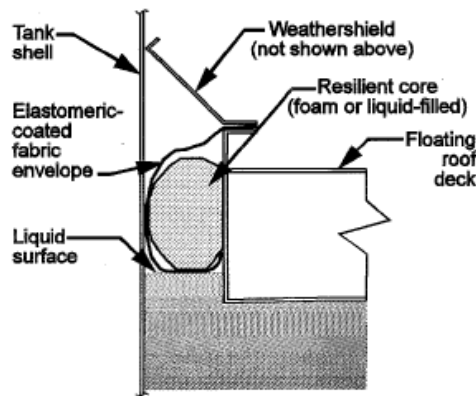
-การใช้ผืนก้นรั้วแบบสัมผัสกับของเหลว (Liquid-mounted) และใช้ร่วมกับหรือใช้เสริมกับ การใช้ผืนก้นรั้วแบบแผ่นรองแรงกล (mechanical shoe primary seals) ซึ่งใช้เป็นผืนก้นรั้วชั้นแรก ผืนก้นรั้วแบบนี้ มีแนวความคิดที่จะลดบริเวณหรือช่องว่างที่จะเกิดการสะสมไอของสารเคมีระหว่างผืนก้นรั้วกับตัวถัง ซึ่งในกรณีของผืนก้นรั้วสัมผัสกับอากาศ วิธีการคือติดตั้งให้ระบบกันรั้วนั้นสัมผัสกับของเหลว ก็จะทำให้ช่องว่างระหว่างผาถึงลอยกับตัวถังลดลง ทำให้สามารถลดการรั่วระเหยได้อีก ลักษณะของผืนก้นรั้วแบบนี้แสดงในรูปที่ 2-11



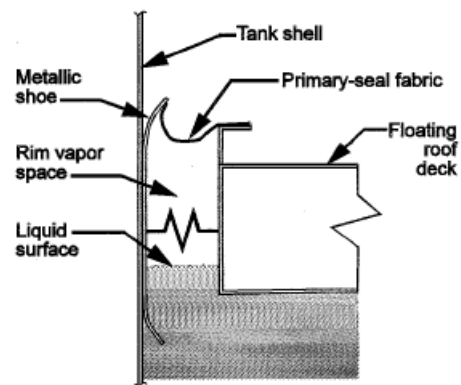
ผืนกั้นรั้วแบบหมอนรองบนผิวของเหลว



ผืนกั้นรั้วแบบใบปาดบนผิวของเหลว



ผืนกั้นรั้วแบบหมอนรองบนผิวของเหลว
(ด้านข้าง)



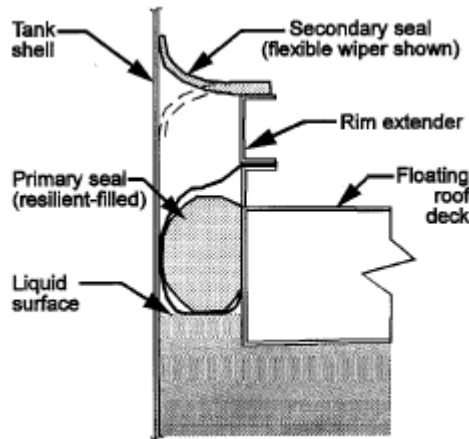
ผืนกั้นรั้วแบบใบปาดบนผิวของเหลว
(ด้านข้าง)

รูปที่ 2-11 ผืนกั้นรั้วแบบสัมผัสกับของเหลว

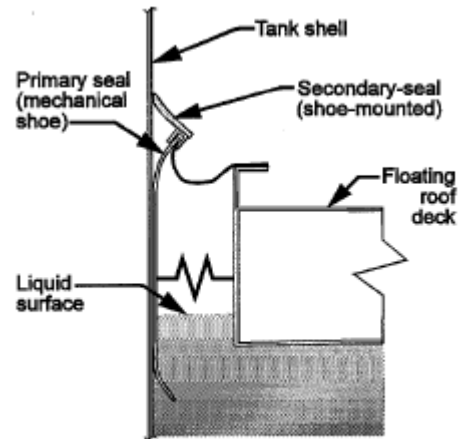
ที่มา : U.S. EPA., 1995.

ผืนกั้นรั้ว 2 ชั้น (Secondary rim seals)

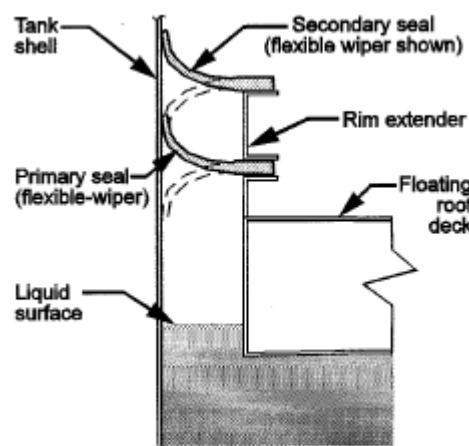
ผืนกั้นรั้วแบบนี้อาจมีการติดตั้ง ผืนกั้นรั้วชั้นที่ 2 (Secondary rim seals) โดยใช้ผืนกั้นรั้วที่เหมือนกับ ผืนกั้นแบบใบปาดชั้นที่ 1 (Primary seal fabric) ซึ่งนอกจากคล้ายเป็นแผ่นกันฝน ยังมีประโยชน์ในการลดช่องว่างระหว่างฝาดลอย (floating deck rim) กับถัง โดยใช้เทคนิคที่พยายามให้ใบผืนกั้นแบบใบปาดอยู่ใกล้กับระดับของเหลวในถังให้มากที่สุด ไม่ให้เกิดช่องว่าง ซึ่งจะเป็นบริเวณที่จะเกิดการรั่วระเหยของ VOCs ผืนกั้นรั้วชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2 อาจมีลักษณะเดียวกัน หรือ แตกต่างกันได้ ลักษณะของผืนกั้นรั้วแบบนี้ แสดงในรูปที่ 2-12



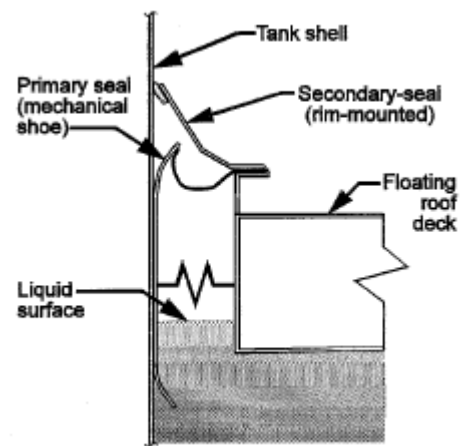
ผนีกกันรั้วชั้นที่ 2 แบบใบปาด
บนผนีกกันรั้วชั้นที่ 1 แบบหมอนรอง



ผนีกกันรั้วชั้นที่ 2 แบบแผ่นกด (shoe)
บนผนีกกันรั้วชั้นที่ 1 แบบแผ่นกด



ผนีกกันรั้วชั้นที่ 2 แบบใบปาด
บนผนีกกันรั้วชั้นที่ 1 แบบใบปาด



ผนีกกันรั้วชั้นที่ 2 แบบใบปาด
บนผนีกกันรั้วชั้นที่ 1 แบบแผ่นกด (shoe)

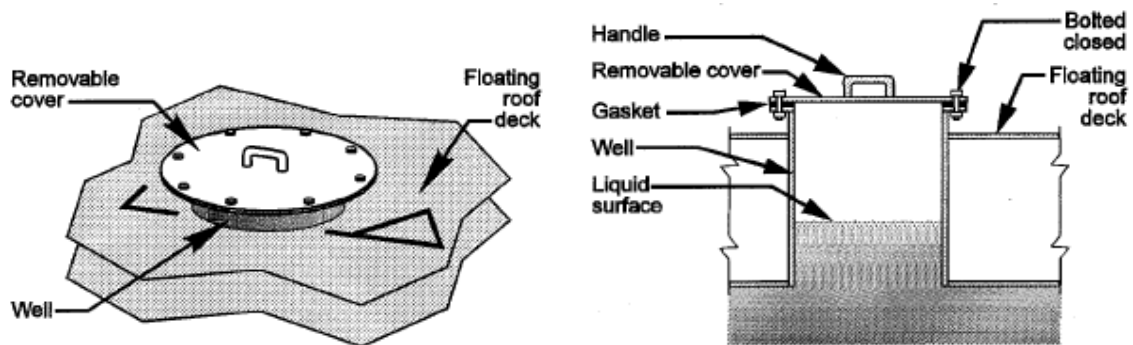
รูปที่ 2-12 ผนีกกันรั้วแบบ 2 ชั้น

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

การควบคุม ณ ตำแหน่งอื่นๆ

เป็นแนวทางในการลดการรั่วระเหย ของ VOCs จากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่บนฝาดัง ซึ่งส่วนใหญ่ ปรากฏบนบนถังฝาลอย แต่อย่างไรก็ตามแนวทางนี้อาจนำไปปรับใช้กับอุปกรณ์เหล่านี้ ที่ติดตั้งกับถังประเภทอื่นๆ ได้ด้วย ตัวอย่างของการควบคุม ณ ตำแหน่งอื่นๆ เช่น

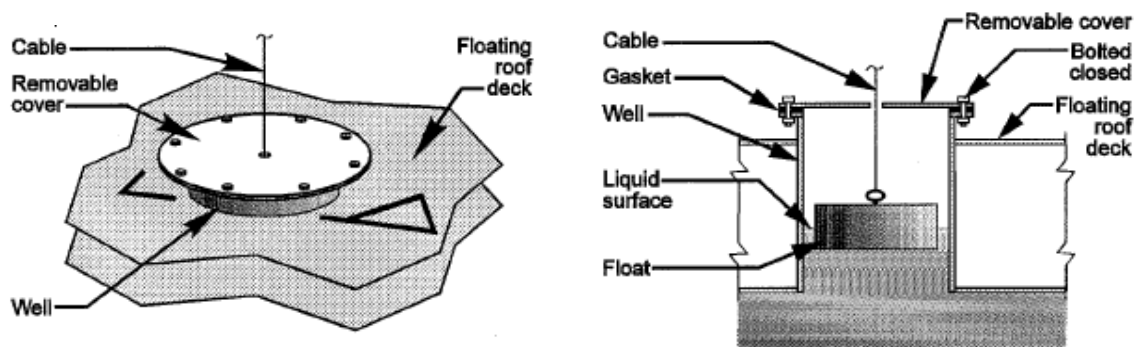
1) **ช่องทางเข้า (Access hatches)** คือช่องเปิดและทางเข้า ซึ่งต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะให้บุคลากรเข้าไปซ่อมบำรุง หรือติดตั้งอุปกรณ์ ฝาปิดด้านบนที่เปิดออกได้ จะต้องมีการขันนอตปิดโดยมีแผ่นผนึกกันรั่ว (gasket) เพื่อลดการรั่วระเหย สำหรับ กรณีถังฟลอยภายใน ที่ฟลอยไม่ได้สัมผัสกับผิวของของเหลวภายในถัง ควรมีลักษณะเป็นท่อที่ยื่นจุ่ม (well) ลงใต้ระดับผิวของสารเคมีในถัง เพื่อเป็นการผนึกกันการรั่วระเหยจากภายในถัง ลักษณะโดยทั่วไปของช่องทางเข้า (Access hatches) เช่นในรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 ช่องทางเข้า (Access hatches)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

2) **ลูกลอยวัดระดับ (Gauge-floats)** ลูกลอยวัดระดับ ใช้เพื่อแสดงระดับของสารเคมีในถัง ลูกลอยจะลอยอยู่บนผิวหน้าของของเหลวในถัง ซึ่งอยู่ในท่อที่ยื่นลงใต้ผิวของของเหลว (well) ที่บรรจุในถังฝาปิดด้านบนที่เปิดออกได้ จะต้องมีการขันนอตปิดโดยมีแผ่นผนึกกันรั่ว (gasket) เพื่อลดการรั่วระเหย เช่นในรูปที่ 2-14

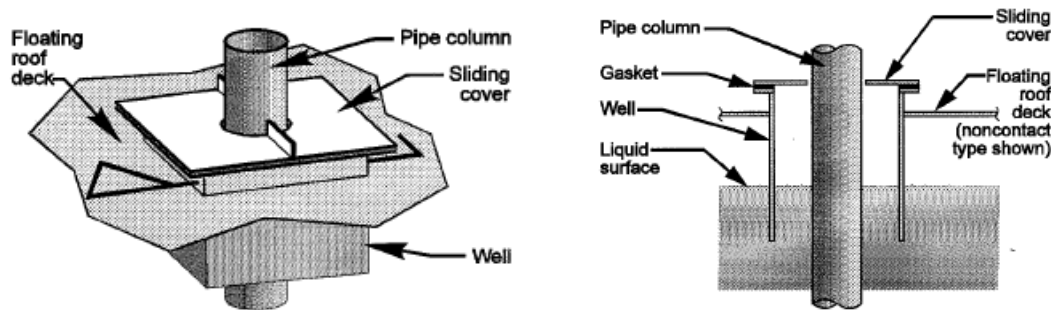


รูปที่ 2-14 ลูกลอยวัดระดับ (Gauge-floats)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

3) **ช่องวัดระดับ/เก็บตัวอย่าง (Gauge-hatch/sample ports)** มีลักษณะเป็นท่อสองชั้นที่ยื่นจุ่มลงในผิวของเหลวในถัง มีการผนึกปิดซึ่งมักจะปิดเองได้โดยอัตโนมัติ เพื่อลดการรั่วระเหย แต่สามารถถอดอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างหรือวัดค่าต่างๆ ลงไปได้ และยังเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามแนวเสา. ตำแหน่งของช่องวัดระดับ/เก็บตัวอย่าง

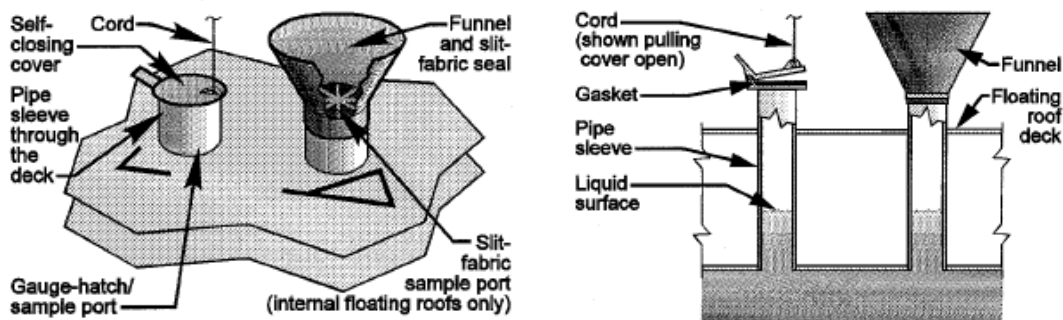
มักอยู่ใกล้แท่นยืน (platform) สำหรับทำงาน ที่มักติดตั้งอยู่ระดับบนสุดของถัง อาจใช้เชือกผูกยึด ฝาปิดกับแท่นยืน เพื่อให้สามารถเปิดฝาได้จากแท่นยืน ลักษณะโดยทั่วไปแสดงในรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 ช่องวัดระดับ/เก็บตัวอย่าง (Gauge-hatch/sample ports)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

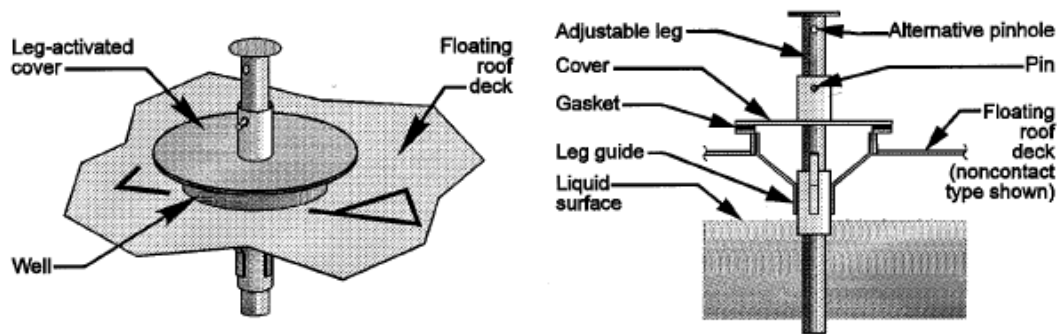
4) ช่องระบายระหว่างฝาลอยกับตัวถัง (Rim vents) เป็นช่องระบายกรณีการติดตั้งชุดผนึกกันรั่วระหว่างฝาลอยกับตัวถังมีที่ว่าง และทำให้ไอของสารเคมีในถังไปข้างสะสมอยู่ เช่น ในกรณีแผ่นรองกดด้วยแรงกลสัมผัสกับก๊าซ ช่องระบายนี้จะทำหน้าที่ระบายความดันที่สูงเกินไปในช่องดังกล่าว ออกสู่ด้านนอก มักมีลักษณะคล้ายกอน้ำหนักวางทับอยู่บนฝาปิดที่วางปิดบนแท่น ซึ่งจะสามารถเปิดได้เองถ้ามีความดันสูงในช่องว่างระหว่างฝาลอยและตัวถัง ลักษณะโดยทั่วไปของช่องระบายระหว่างฝาลอยกับตัวถัง แสดงในรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 ช่องระบายระหว่างฝาลอยกับตัวถัง (Rim vents)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

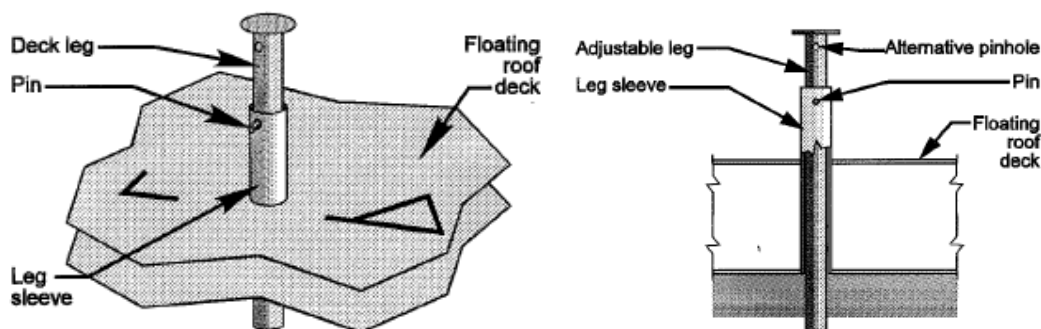
5) ช่องระบายบนฝาลอย (Deck drains) โดยทั่วไป จะมีช่องระบายบนฝาลอยอยู่ 2 แบบคือ แบบเปิดและแบบปิด วัตถุประสงค์เพื่อระบายน้ำฝนออกจากฝาลอย สำหรับแบบเปิด อาจมีลักษณะเป็นการไหลลงด้านข้างที่ต่ำกว่าหรือการล้นข้าม ทั้งสองแบบประกอบด้วยท่อที่ยื่นลงเข้าไปใต้ฝาลอย เพื่อระบายน้ำที่ขังอยู่ออกสู่ช่องพักของเหลว เฉพาะช่องระบายแบบเปิดเท่านั้นที่ VOCs สามารถรั่วระเหยออกได้ ดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 ช่องระบายบนฝาดัง (Deck drains)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

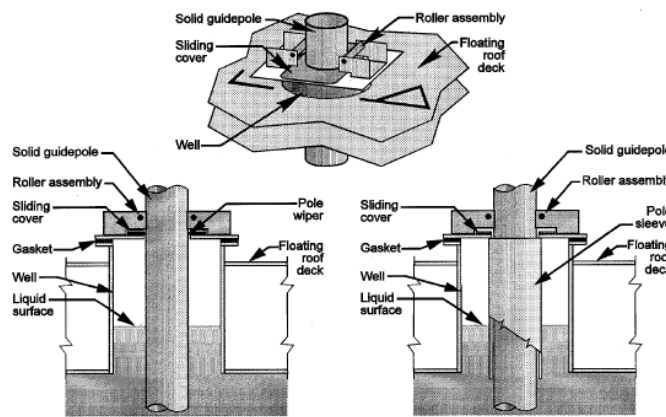
6) เสาค้ำฝาดัง (Deck legs) มีหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อส่วนที่อยู่ใต้ฝาดัง เช่น ข้อต่อเพื่อความสะดวกในการเข้าไปทำความสะอาดหรือซ่อมบำรุง ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างระดับหนึ่ง ถึงแม้ไม่มีสารเคมีในถังเลย โดยการค้ำพุงกับพื้นกันถังที่ระดับที่เราสามารถจะเลือกได้ การรั่วระเหยจะเกิดขึ้นที่ช่องว่างระหว่างขาพุงกับช่องที่เคลื่อนผ่าน (sleeve) ลักษณะของเสาค้ำฝาดัง (Deck legs) แสดงในรูป 2-18



รูปที่ 2-18 เสาค้ำฝาดัง (Deck legs)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

7) ช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบไม่เจาะรูและช่องรับ (Unslotted guidepoles and wells) ช่องที่ให้เสาเคลื่อนผ่านทำหน้าที่บังคับไม่ให้ฝาดังที่เคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างอิสระ ไม่ให้มีการหมุน ซึ่งอาจจะทำความเสียหายให้กับระบบผนึกกันรั่วรอบถัง หรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ฝาดัง ในบางกรณี ยังใช้เป็นจุดวัดระดับและเก็บตัวอย่างด้วย แต่เนื่องจากช่องเสาเคลื่อนผ่านนี้ ไม่มีการเจาะรู จึงอาจทำให้คุณสมบัติของสารเคมีด้านในช่องต่างจากบริเวณนอกช่องได้ ตัวอย่างของการติดตั้งช่องเสาเคลื่อนผ่านไม่เจาะรูเพื่อลดการปล่อย VOCs แสดงในรูปที่ 2-19

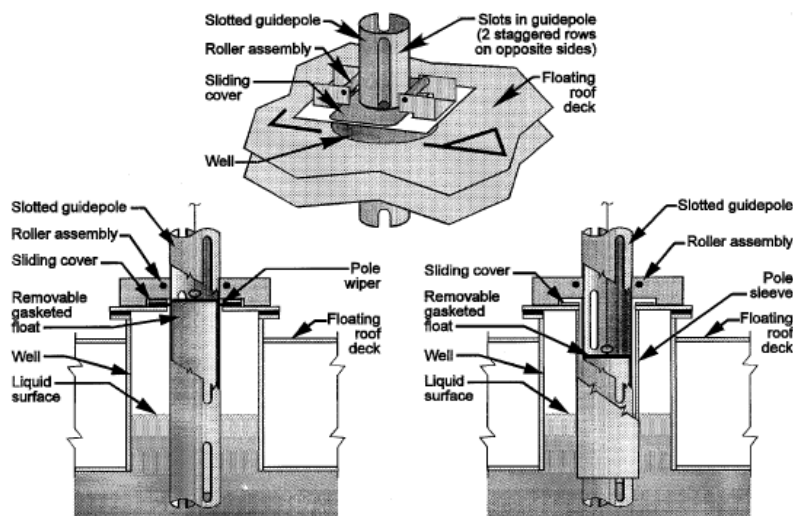


รูปที่ 2-19 ช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบไม่เจาะรูและช่องรับ (Unslotted guidepoles and wells)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

8) ช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบมีรูเจาะผ่านและช่องรับ (Slotted (perforated) guidepoles และ wells)

ช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบนี้ ทำหน้าที่เหมือนกับกรณีไม่เจาะรู และเหมาะในกรณีใช้เป็นจุดวัดระดับและเก็บตัวอย่าง ด้วย เพราะจะทำให้คุณสมบัติของตัวอย่างเหมือนกับในถัง แสดงในรูปที่ 2-20

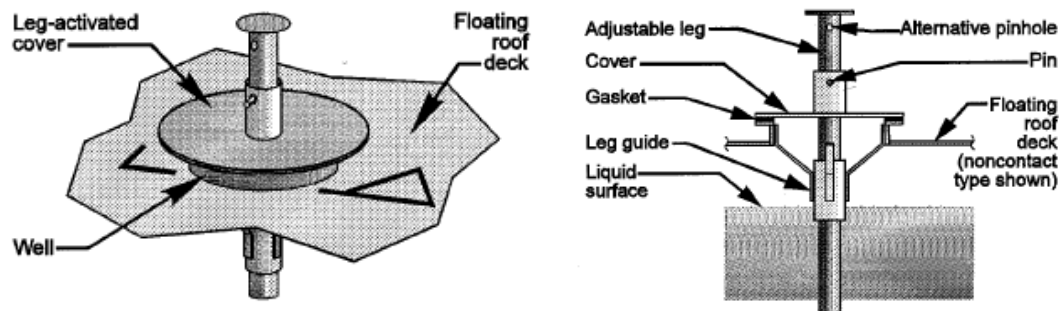


รูปที่ 2-20 ช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบมีรูเจาะผ่านและช่องรับ (Slotted (perforated) guidepoles และ wells)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

9) ชุดลดความเป็นสุญญากาศ (Vacuum breakers) ทำหน้าที่ทำให้ความดันของไอสารเคมีรอบถัง เท่ากัน ไม่ว่าฝาดังจะลอยอยู่บนผิวของสารเคมีในถัง หรือวางอยู่บนเสาค้ำฝาดัง (Deck legs) ลักษณะทั่วไปของ ชุดลดความเป็นสุญญากาศ (Vacuum breakers) แสดงอยู่ในรูปที่ 2-21 อุปกรณ์นี้ประกอบด้วย ช่องที่จุ่มลงใต้ ระดับสารเคมีในถังมีฝาดับ ฝาดับด้านในมีช่องเคลื่อนผ่านซึ่งยาวพอที่จะสัมผัสกับก้นถังเมื่อฝาดังเคลื่อนลงใกล้กัน

ถึง เมื่อสัมผัสกันถึง ช่องผ่านดังกล่าวจะมีกลไกในการเปิดชุดลดความเป็นสุญญากาศ โดยการเปิดฝาช่องที่จมลงใต้ระดับสารเคมี ซึ่งฝาปิดนี้อาจมีการผนึกหรือไม่ก็ได้ เนื่องจากจุดประสงค์เพื่อให้มีการถ่ายเทไอของสารเคมีได้ดี เพื่อปรับความดันดังกล่าว



รูปที่ 2-21 ชุดลดความเป็นสุญญากาศ (vacuum breaker)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

2.3.3 ถังหลังคาลอยภายใน (Internal Floating Roof Tanks)

ในการลดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของสารในถังเก็บ เรียกว่า Working Loss วิธีหนึ่งคือการเปลี่ยนฝาถังจากที่ตรึงอยู่กับที่เป็นฝาลอยอยู่ที่ระดับผิวของของเหลว ซึ่งทำให้ไม่มีปริมาตรอากาศเหนือระดับของเหลวในถัง ทำให้ Standing Loss ลดลง ซึ่งโดยประมาณจะลดลงสุทธิประมาณ 25% ของทั้งหมด โดยมีการรั่วระเหยจากช่องว่างระหว่างฝาดังกับตัวถัง (Rim Seal Loss) ประมาณ 15% ซึ่งใน 15% ดังกล่าวนี้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความดันไอของสาร VOCs และลม แม้ว่าไม่มีความเร็วลมก็จะมีรั่วระเหยจาก Rim Seal จำนวนหนึ่ง (ประมาณ 5%) อีกส่วนหนึ่ง (ประมาณ 10%) ขึ้นกับความเร็วลม โดยเมื่อมีกระแสลมพัดผ่านถึงที่ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้เกิดความดันที่ลดลงเหนือฝาดังให้สาร VOCs ระเหยออกทาง Rim Seal มากขึ้น เมื่อนำฝาดังปิดคลุมด้านบน ก็จะลดอิทธิพลของลมลง ทำให้อัตราการรั่วระเหยลดลงอีกประมาณ 10% เป็นที่มาของ Internal Floating Roof

2.3.4 ถังหลังคาลอยภายนอกรูปโดม (Domed External (or covered) Floating Roof Tanks)

ถังประเภทนี้มีฝาด้านนอกเป็นรูปโดม (ซึ่งเป็นที่มาของชื่อถัง) แต่กลไกของการรั่วระเหยและเทคนิคในการลดการรั่วระเหยและการควบคุมเหมือนกับถังประเภทถังหลังคาลอยภายใน

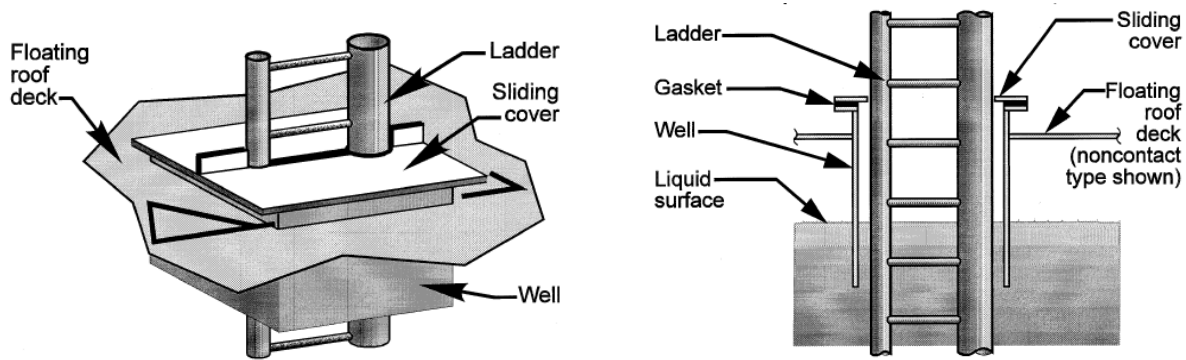
สำหรับเทคนิคในการลดอัตราการรั่วระเหยจากถังเก็บ ประเภท ถังหลังคาลอยภายใน ซึ่งส่วนใหญ่การรั่วระเหยมาจาก ช่องว่างระหว่างฝาดังลอยกับตัวถัง เช่นเดียวกับถังประเภทถังหลังคาลอยภายนอก โดยการปิดผนึก (seal) ช่องว่างดังกล่าวด้วยเทคนิคเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามมีอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้เฉพาะสำหรับถังหลังคาลอยภายใน คือ

1) เสาและช่องจุ่มในถัง (Columns and wells)

เป็นเสาค้ำภายในถังซึ่งโดยปกติมีอยู่ในถังแบบหลังคาตึงแนวตั้ง ทำหน้าที่คล้ายกับช่องเสาเคลื่อนผ่านแบบไม่เจาะรู (unslotted guide pole wells) ที่ใช้ในถังฟลายอยภายนอก เสามักเป็นท่อที่มีจำนวนไม่แน่นอนขึ้นกับขนาดของถัง (ตั้งแต่ 1 เสา จนถึง 50 เสา สำหรับถังขนาดใหญ่ เสาจะทะลุผ่านฝาถังในแนวช่องลอดผ่าน โดยไม่สัมผัสกับฝาถัง มักจะมีฝาปิดด้านบนระหว่างช่องลอดผ่านกับเสาเพื่อลดการรั่วระเหย นอกจากนี้มักจะใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่น รองรับผิวสัมผัสระหว่างเสาและช่องเคลื่อนผ่าน เพื่อให้การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างนิ่มนวลและป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวราบ

2) บันไดและช่องจุ่มในถัง (Ladders and wells)

บางครั้งที่ถังเก็บสารเคมี จะมีบันไดเชื่อมระหว่างด้านนอกเข้าสู่ด้านในถังผ่านช่องทางเข้า เพื่อเข้าสู่ภายในฝาถังที่ตรึงอยู่กับถัง เช่นในรูปที่ 2-22 ซึ่งมีหลักการในการควบคุมการรั่วระเหยเหมือนกับฝาเปิดด้านบนของช่องเคลื่อนผ่านสำหรับเสาค้ำฝาถังตรึงข้างนอก



รูปที่ 2-22 ช่องบันได (Ladder well)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

3) สตัปเดรน (Stub drains)

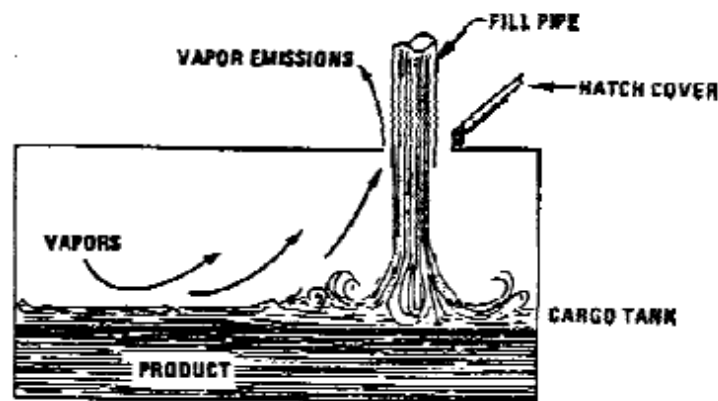
กรณีฝาถังลอยภายในเป็นแบบยึดต่อกันด้วยนอตและสลักเกลียว จะมีการติดตั้งสตัปเดรน (Stub drains) เพื่อระบายสารเคมีที่อาจตกค้างบนฝาถังลอย ให้ไหลกลับสู่อีกด้านหนึ่งของฝาถังลอย สตัปเดรนมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว และจุ่มลงใต้ผิวระดับสารเคมีในถัง รอยต่อของฝาถังภายในที่เป็นแบบยึดต่อกันด้วยนอตและสลักเกลียว คือแหล่งการปล่อย VOCs ซึ่งถ้าฝาถังเป็นแบบเชื่อมติด (weld) การรั่วระเหยในส่วนนี้จะไม่เกิดขึ้น อีกปัจจัยหนึ่งที่จะต้องพิจารณาคือ ฝาถังลอยภายในสัมผัสกับสารเคมีหรือไม่ ถ้าไม่สัมผัส การรั่วระเหยจะเกิดขึ้นน้อย

2.4 เทคนิคในการควบคุม VOCs เนื่องจากการขนถ่าย (Emission from loading /unloading activities)

เทคนิคในการควบคุมการปล่อย VOCs เนื่องจากการขนถ่าย ประกอบไปด้วย

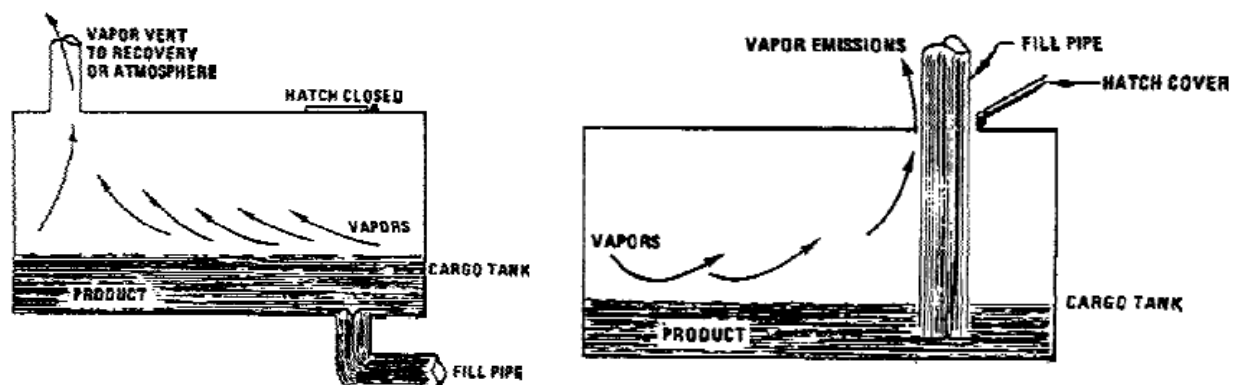
2.4.1. ปรับเปลี่ยนวิธีการถ่ายสาร VOCs ลงรถหรือเรือ

รูปที่ 2-23 และ รูปที่ 2-24 การปรับเปลี่ยนวิธีการขนถ่ายสาร VOCs ลงรถหรือเรือจากแบบ Top Load เป็น Bottom Load จะสามารถลดการปล่อย VOCs ลงได้กว่า 50%



รูปที่ 2-23 การถ่ายสาร VOCs ลงรถและเรือแบบ Top Load

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

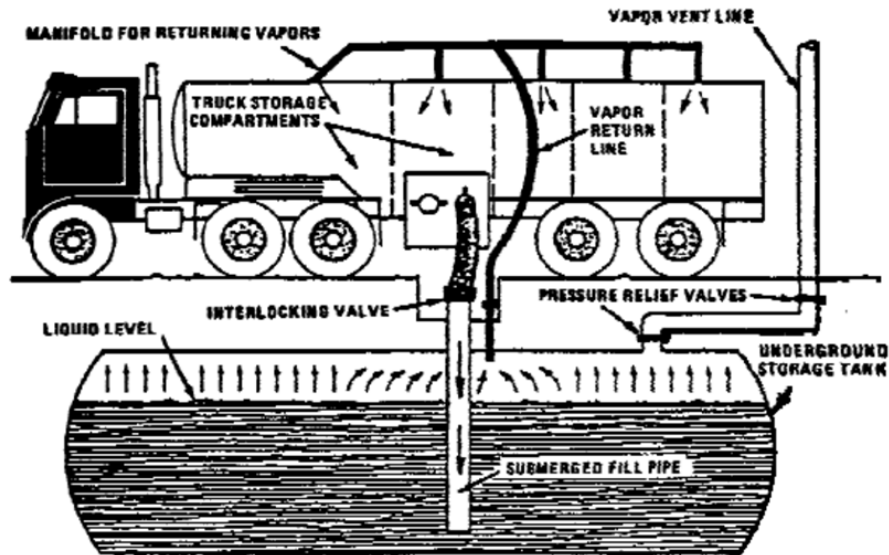


รูปที่ 2-24 การถ่ายสาร VOCs ลงรถและเรือแบบ Bottom Load

ที่มา: U.S. EPA., 1995

2.4.2 การใช้วิธีสมดุลไอ (Vapor Balance)

เทคนิคการใช้สมดุลไอ (Vapor Balance) ในการควบคุม VOCs เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งในขั้นตอนการรับสารจากถังเก็บลงเรือหรือรถ มีการต่อท่อระบายจากระถหรือเรือกลับเข้าสู่ถังเก็บหรือการถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมลงสู่ถังน้ำมันใต้ดินของปั๊มน้ำมันทั่วไป รูปที่ 2-25 เป็นตัวอย่างของการถ่ายน้ำมันลงถังใต้ดินและมีระบบสมดุลไอ (Vapor Balance) ในการควบคุม VOCs

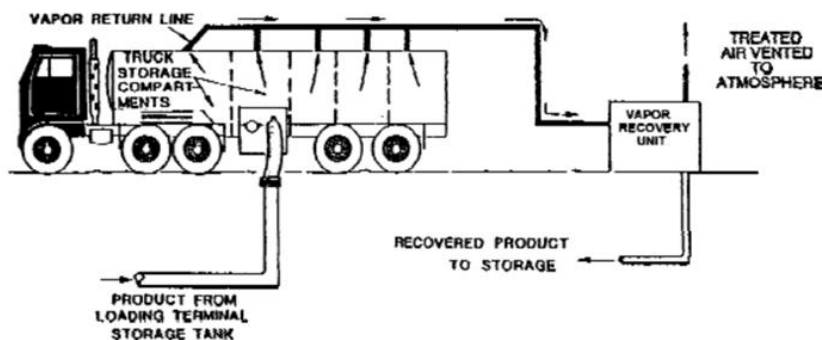


รูปที่ 2-25 การถ่ายน้ำมันลงถังใต้ดินและมีระบบสมดุลไอ (Vapor Balance)

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

2.4.3 การควบคุมที่จุดปล่อย

การควบคุมที่จุดปล่อยอาจใช้เทคนิค Vapor Recovery Unit (VRU) คือระบบที่มีการดักเก็บไอของ VOCs แล้ววนกลับมาใช้ใหม่ เช่น ระบบการควบแน่นเป็นของเหลวและระบบดูดซับ (Adsorption) แบบมีการฟื้นฟูสภาพสารดูดซับ (Regeneration) เช่น ระบบ activated carbon แบบ 2 ถัง รูปที่ 2-26 เป็น ตัวอย่าง การใช้ระบบควบคุมที่จุดปล่อย การถ่ายน้ำมันจากถังลงรถ



รูปที่ 2-26 การใช้ระบบควบคุมที่จุดปล่อยเพื่อควบคุม VOCs จากถังลงรถ

ที่มา: U.S. EPA., 1995.

2.5 การควบคุม VOCs จากระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment)

การควบคุมสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) จากระบบบำบัดน้ำเสีย มักใช้วิธีการพยายามลดการปนเปื้อน VOCs ลงในน้ำเสีย โดยใช้วิธีการควบคุมแหล่งกำเนิด VOCs ที่กระบวนการผลิต แต่ถ้การควบคุมที่แหล่งกำเนิดใช้ไม่ได้ผลหรือมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ จำเป็นต้องใช้ระบบควบคุมที่จุดปล่อยในหมวดของ stationary source ที่เหมาะสมและพิจารณาความเหมาะสมเป็นกรณีๆ ไป

2.6 การควบคุมที่จุดปล่อย (Stationary Source Control)

วิธีการโดยทั่วไปของการควบคุมการระบายสารอินทรีย์ระเหยจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary หรือ Point Sources) คือการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเพิ่มเติม (Add-on Control Devices) ความแตกต่างของเทคโนโลยีในการควบคุมที่จะนำไปใช้ตามแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยมีเพียง 2 ประเด็นเท่านั้น คือ เป็นระบบการนำกลับ (Recovery) หรือเป็นระบบการกำจัด/ทำลาย (Destroy) สารมลพิษโดยทั่วไปนั้นวิธีการที่จะนำเทคโนโลยีใดไปใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของกระแสก๊าซและประสิทธิภาพที่ต้องการมากกว่าที่จะพิจารณาประเภทของแหล่งกำเนิด และลักษณะเฉพาะที่สำคัญที่จะมีผลต่อความสามารถในการใช้งาน เทคโนโลยีการควบคุมก็คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในกระแสก๊าซ

ตัวอย่างของระบบควบคุมสารอินทรีย์ระเหยที่จะนำเสนอในที่นี้ เป็นระบบควบคุมสำหรับอุตสาหกรรมเคลือบผิว ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมในการควบคุมการปล่อยก๊าซที่มีสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณต่ำ (Control Technologies for Low Concentration Organic Vapor Gas Streams) โดยสามารถแบ่งประเภทของระบบควบคุมได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- 1) ระบบการเผาทำลาย
- 2) ระบบการดูดซับ
- 3) ระบบการดูดกลืน
- 4) ระบบการกรองชีวภาพ

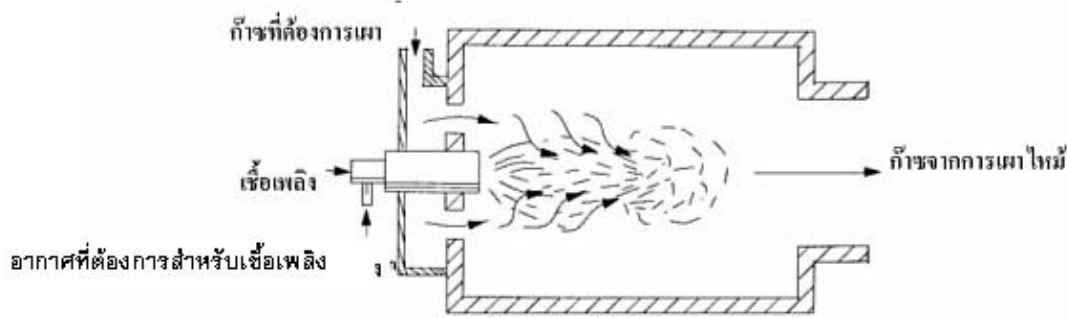
2.6.1 ระบบการเผาทำลาย (Incineration)

เตาเผา คือ อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศชนิดหนึ่ง มีหลักการทำงานคือให้ความร้อนแก่อากาศที่ระบายออกจากสายการผลิต จนทำให้อุณหภูมิของก๊าซสูงขึ้นจนเพียงพอที่สาร VOCs สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ ประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และระยะเวลาที่ใช้ในการเผา ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของชนิดของเตาเผาและสาร VOCs ที่ถูกเผา

เตาเผา แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) เตาเผาที่ใช้ความร้อนโดยตรง เรียกว่า Thermal Incinerator และ 2) Catalytic Incinerator เป็นเตาเผาที่มีสารเร่งปฏิกิริยาบรรจุอยู่ ใช้อุณหภูมิในการเผาต่ำกว่า Thermal Incinerator และใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่า ถึงแม้ว่าเตาเผาแบบนี้ใช้เชื้อเพลิงน้อยและมีต้นทุนต่ำกว่าแต่มีค่าใช้จ่ายในการควบคุมดูแลระบบสูง และค่าใช้จ่ายของการใช้สารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอาจทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าเตาเผาแบบใช้ความร้อนโดยตรงในบางกรณีได้

1). เตาเผาที่ใช้ความร้อนโดยตรง (Thermal Incinerator)

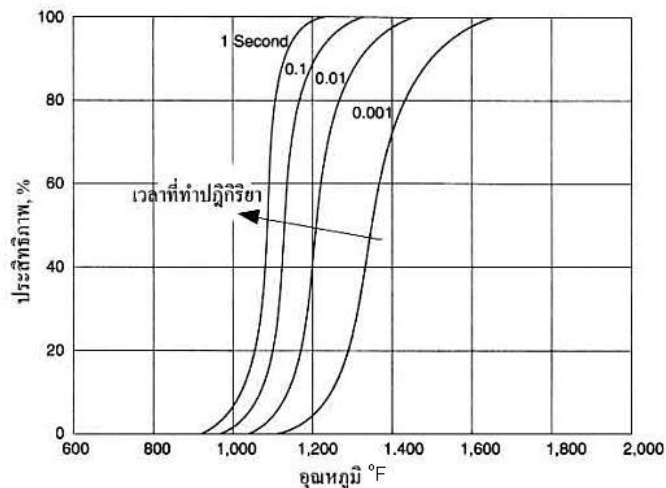
Thermal Incinerator อาจจะประกอบด้วยห้องเผาเพียงหนึ่งห้องเผา หรือมากกว่าหนึ่งห้องเผา ใช้ความร้อนจากเปลวไฟผ่านเข้าไปในเตาเผา เพื่อให้เตาเผามีความร้อนสูงจนถึงระดับที่ต้องการคือที่อุณหภูมิการเผาไหม้ และเป็นระยะเวลาพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (รูปที่ 2-27) ประสิทธิภาพของเตาเผาชนิดนี้จะมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีค่าอยู่ในช่วง 650–800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการเผามีค่า 0.3 – 0.5 วินาที



รูปที่ 2-27 เตาเผาไหม้ตาม (after burner)

สารไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าสูง (มีค่าความร้อนจากการเผา) และจะสามารถช่วยเพิ่มพลังงานความร้อนในเตาเผา ช่วยให้มีความต้องการเชื้อเพลิงน้อยลง อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดในด้านความปลอดภัยกำหนดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่ป้อนเข้าสู่ระบบเตาเผาต้องมีค่าไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ ของค่า LEL (ระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่อาจเกิดการระเบิด) ของสารอินทรีย์ระเหยดังกล่าว ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารที่จะนำมาเผาจะถูกจำกัดความเข้มข้นไว้ที่ 1,000 – 3,000 ppm ดังนั้นสาร VOCs ที่เข้าสู่ระบบเตาเผาจะมีส่วนช่วยลดแทนเชื้อเพลิงได้เล็กน้อย และความร้อนจากสาร VOCs ในส่วนนี้ถือว่าเล็กน้อยมาก เมื่อเทียบกับความร้อนที่ต้องการทั้งหมดในการเผา

ประสิทธิภาพของระบบ เตาเผาเพื่อทำลายสารอินทรีย์ระเหย ต้องคำนึงถึงเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของเตาเผาที่จะใช้โดยเฉพาะ นั่นคือประสิทธิภาพการเผาขึ้นกับอุณหภูมิของก๊าซทางเข้าก่อนเผา และอุณหภูมิในเตาเผา ช่วงเวลาที่ก๊าซอยู่ในห้องเผา โดยพิจารณาจากสมการการเผาไหม้ซึ่งโดยปกติจะสมมติว่าเป็นสมการลำดับที่ 1 (first order reaction) และจะเป็นค่าเฉพาะสำหรับสารเคมีที่จะทำการเผา (รูปที่ 2-28)



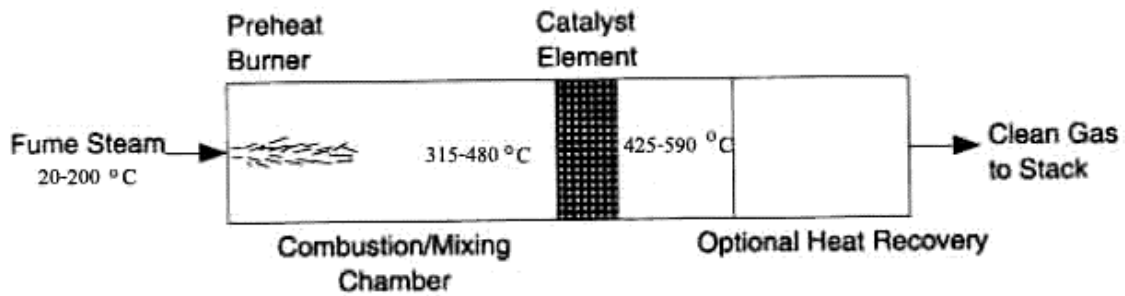
รูปที่ 2-28 ผลของอุณหภูมิกับเวลาและความเร็วของปฏิกิริยา

ขนาดของเตาเผา พิจารณาจากอัตราการไหลของก๊าซจากกระบวนการ และผลผลิตที่ได้จากการเผา เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา จะเป็นเชื้อเพลิงสะอาดเช่นก๊าซธรรมชาติ ซึ่งจะต้องมีอากาศส่วนหนึ่งมาใช้ในการเผาไหม้ ค่าประมาณอัตราไหลที่ดีสำหรับก๊าซที่เป็นผลจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นคือ 11.5 เท่าของก๊าซธรรมชาติที่ต้องการ

ความเร็วของก๊าซในเตาเผาอาจเป็นได้ตั้งแต่ 3 ถึง 15 เมตรต่อวินาที แต่โดยปกติจะใช้ค่าระหว่าง 6 ถึง 12 เมตรต่อวินาที ความเร็วก๊าซที่สูงสามารถช่วยลดอันตรายจากการเกิดเปลวไฟย้อนกลับ (Flashback) อัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้อยู่ระหว่าง 2.0 ถึง 3.0 เวลาที่ก๊าซอยู่ในห้องเผาไหม้ที่ต่ำสุดเป็น 0.20 ถึง 2.0 วินาที ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพที่ต้องการและสารที่ต้องการเผา

2) เตาเผาแบบมีสารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Incineration)

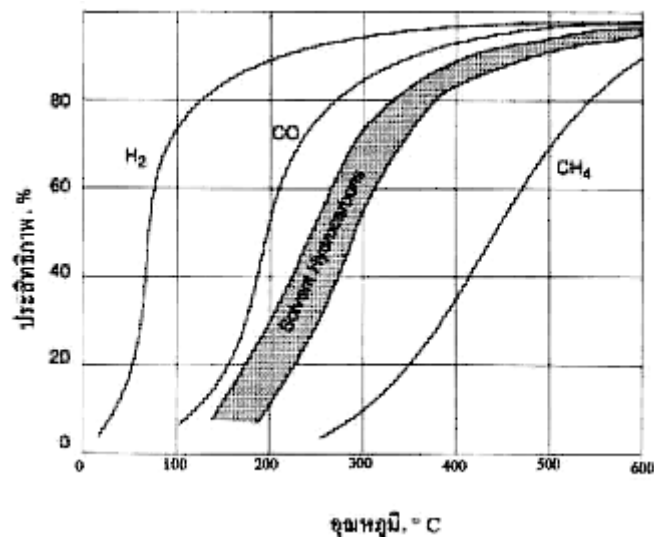
การเผาไหม้แบบสารเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วคล้ายกับการเผาไหม้แบบใช้ความร้อน (Thermal Oxidation) ส่วนข้อแตกต่างที่สำคัญคือเตาเผาแบบใช้สารเร่งปฏิกิริยา เมื่อก๊าซผ่านส่วนของการเพิ่มความร้อน เบื้องต้นแล้ว จะเคลื่อนที่ผ่านชั้นสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะช่วยให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแบบใช้ความร้อน (ดังรูปที่ 2-29) ตัวเร่งปฏิกิริยานั้น อาจเป็นวัสดุพูนที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.5 -12.5 มิลลิเมตร หรืออาจมีลักษณะเป็นรวงผึ้ง ริปป์น หรือตาข่ายก็ได้ สารเร่งปฏิกิริยาส่วนมากมักเป็นโลหะมีค่าหรือเกลือของโลหะมีค่า เช่น พลาตินัม แพลลาเดียม โคบอลต์ ทองแดง โครเมียม โมลิบดีนัม ส่วนโลหะจำพวกอลูมิเนียมหรือเหล็กจะสัมผัสและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนโดยตรงทำให้เกิดชั้นของออกไซด์ขึ้นที่ผิว จึงไม่เหมาะต่อการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนโลหะจำพวกพลาตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีเพราะโลหะเหล่านี้จะไม่ทำปฏิกิริยาและเกิดเป็นออกไซด์ทำให้คุณสมบัติการเป็นสารเร่งปฏิกิริยาไม่สูญเสียไปในขณะใช้งาน



รูปที่ 2-29 องค์ประกอบของเตาเผาแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา

ประสิทธิภาพของระบบ

เตาเผาแบบใช้สารเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วเกิดที่อุณหภูมิต่ำคือในช่วง 250 ถึง 500 องศาเซลเซียส โดยอาศัยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งปฏิกิริยาแทนการใช้อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาจึงสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า สิ่งที่ต้องพิจารณาคือความร้อนในสารเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากก๊าซได้ดูดซับความร้อนไว้และได้ปลดปล่อยออกสู่ตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อเคลื่อนที่ผ่านและอาจทำให้สารเร่งปฏิกิริยาเสียหาย ประสิทธิภาพของเตาเผาที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับองค์ประกอบของก๊าซที่จะเข้าเตาเผาอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา ปริมาตรของสารเร่งปฏิกิริยาและลักษณะการสัมผัสของสารเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไป หากต้องการประสิทธิภาพของการทำลายที่ 90-95 เปอร์เซ็นต์ จำต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 1.5-2.0 ลูกบาศก์เมตรต่อไอเสีย 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่ออนาที (ไอเสียและก๊าซจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงรวมกัน)

รูปที่ 2-30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและประสิทธิภาพในเตาเผาแบบมีสารเร่งปฏิกิริยา (Pt/Al₂O₃)

2.6.2 ระบบการดูดซับ (Adsorption)

ระบบการดูดซับเป็นส่วนหนึ่งในเทคโนโลยีควบคุมสารอินทรีย์ระเหย ที่มีการนำไปใช้แพร่หลายมากที่สุด ในกระบวนการของการดูดซับนั้น สารอินทรีย์จะถูกจับอยู่บนผิวของของแข็งที่มีความพรุน โดยที่ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นสารดูดซับ (Adsorbent) ที่มีการใช้มากที่สุด สำหรับก๊าซที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ระบบการดูดซับที่นำมาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยนั้นมี 2 ชนิด คือ ระบบดูดซับที่สามารถฟื้นฟูสภาพ (Regenerable) เช่น Fixed Bed System และ ระบบดูดซับที่ไม่สามารถฟื้นฟูสภาพ (Nonregenerable) เช่น Carbon Canisters

ในกระบวนการดูดซับ อนุภาคของก๊าซจะถูกดูดซับออกจากก๊าซที่ไหล โดยการจับติดกับผิววัตถุของแข็ง ซึ่งโมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับ เรียกว่า adsorbate ในขณะที่ของแข็งที่ทำการดูดซับก๊าซ เรียกว่า adsorbent อย่างไรก็ตาม กระบวนการดูดซับนี้ไม่ใช่กระบวนการสุดท้ายของการบำบัด เนื่องจากเมื่อผ่านไประยะหนึ่งแล้ว ผิวของสารดูดซับจะอิ่มตัวไปด้วย adsorbate และจะต้องทำการไล่สาร adsorbate ออกจาก adsorbent ซึ่งเรียกว่า กระบวนการฟื้นฟูสภาพ (regenerate) ในขั้นตอนนี้สารที่ถูกดูดซับหรือ adsorbate จะถูกไล่ออกจาก adsorbent ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิของชั้น adsorbate ขึ้น ทำให้โมเลกุลของ adsorbate หลุดจากผิวของแข็ง จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงจนกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลกลับไปที่ใหม่หรือกำจัดโดยวิธีที่เหมาะสม ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการกำจัดโดยตรง สารดูดซับส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม คือ activated carbon, silica gel, activated alumina (alumina oxide) และ zeolites (molecular sieves) สารดูดซับมีคุณสมบัติเคมีตามธรรมชาติของสารที่นำมาผลิต พื้นที่ผิวของสาร รูปร่างและขนาดของช่องว่าง ปริมาตรของช่องว่าง คุณสมบัติที่สำคัญในการดูดซับของสารดูดซับ คือ ประจุไฟฟ้าที่ผิวสัมผัส ถ้าสารดูดซับมีประจุไฟฟ้า จะทำให้อิออนน้ำจะเข้ามาเกาะและรบกวนกระบวนการดูดซับ เนื่องจากความชื้นจะพบได้ทั่วไปในอากาศ ดังนั้นการใช้สารดูดซับที่มีประจุ จึงมักใช้ไม่ได้ผลสำหรับระบบการควบคุมมลพิษทางอากาศ แต่ activated carbon เป็นสารดูดซับที่ไม่มีประจุจึงไม่ถูกรบกวนโดยไอน้ำในกระบวนการดูดซับ จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง activated carbon อาจทำขึ้นจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอน เช่น ไม้ ถ่านหิน และ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม คำว่า “activated” ใช้กับสารดูดซับที่ได้รับการเพิ่มพื้นที่ผิวทั้งภายในและภายนอกโดยกระบวนการเทคนิคพิเศษ กระบวนการกระตุ้นหรือการ activate กล่าวคือ เป็นการให้ความร้อนในที่ไม่มีออกซิเจนและอัดด้วยความดันสูง ที่อุณหภูมิสูงจะระเหยส่วนที่ระเหยได้ทั้งหมดออกจากผิววัตถุเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว กระบวนการที่ใช้ (เช่น อุณหภูมิและความดัน) และประเภทของวัตถุดิบ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของคาร์บอน

คาร์บอนถูกใช้ในกระบวนการดูดซับสารมลพิษจำพวกก๊าซถูกผลิตเป็นรูปเม็ด โดยปกติขนาดอยู่ระหว่าง 4x6 ถึง 4x10 mesh ความหนาแน่นรวมของก้อนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 5 ถึง 30 lb/ft³ ขึ้นอยู่กับโพรงภายในของคาร์บอน ช่องว่างพื้นที่ผิวของคาร์บอนอยู่ในช่วงระหว่าง 3x10⁶ ถึง 8x10⁶ ft²/lb นี่คือการความสามารถในการดูดซับเมื่อพิจารณาจากการมีพื้นที่ผิวของ 2 ถึง 5 พื้นที่สนามฟุตบอล ใน 1 กรัมของคาร์บอน

หลักการดูดซับนั้นมี 2 กระบวนการคือ การดูดซับทางกายภาพ ที่พิจารณาถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวล และการดูดซับทางเคมี ที่ใช้การสร้างพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับและก๊าซ การดูดซับทางกายภาพไม่รวมถึงการแลกเปลี่ยน หรือการโอนย้ายอิเล็กตรอน ปฏิกริยาสามารถทำกลับสู่สภาพเดิมได้ การดูดซับ

ทางกายภาพไม่มีการจำเพาะเจาะจง โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีความอิสระที่จะจับได้ทั้งพื้นผิวของสารดูดซับ สำหรับการดูดซับทางเคมีคือการรวมโดยพันธะเคมี โดยหลักเป็นการทำปฏิกิริยาที่ความร้อนจะมีผลต่อพันธะเคมี เมื่อมีการดูดซับทางเคมีจะยากต่อการกลับสู่สภาพเดิมหรือยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการดูดซับทั้งหมด เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ไม่ว่าการดูดซับจะเกิดจากแรงทางกายภาพหรือทางเคมี เนื่องจากความเร็วการเคลื่อนตัวของโมเลกุลก๊าซ จะถ่ายเทพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่ไปยังสารดูดซับ กลายเป็นความร้อน ในกระบวนการดูดซับทางเคมี จะมีความร้อนของการดูดซับ โดยปกติมากกว่า 100 kcal/mol เมื่อเปรียบเทียบกับความร้อนที่คายออกเนื่องจากการควบแน่น จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ การดูดซับทางเคมีจึงมักไม่นำมาใช้ในระบบการควบคุมมลพิษทางอากาศ

Activated carbon เหมาะสำหรับใช้ดูดซับสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีประจุ และไม่เหมาะกับการบำบัดก๊าซที่มีไอน้ำหรือมีความชื้นสัมพัทธ์สูง (มากกว่า 50%) เนื่องจากโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปแย่งจับพื้นผิวของ activated carbon แทนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน ดังนั้น จึงทำให้ความสามารถและประสิทธิภาพของระบบการดูดซับลดลง โดยเฉพาะอากาศที่ปล่อยออกมานั้นมีความชื้นมากกว่า 50 % ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อดึงเอาความชื้นออก หรือเพิ่มอุณหภูมิเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ลง

ประสิทธิภาพของระบบ

การดูดซับเกิดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอน ในขั้นแรกการแพร่กระจายของโมเลกุลของก๊าซและไอเข้าสู่ผิวนอกของสารดูดซับ ในขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของมวลสารจะเคลื่อนที่จากพื้นที่เล็กๆ ของผิวนอกไปยังโพรงช่องว่างภายในของสารดูดซับ การดูดซับจะเกิดในโพรงช่องว่างเหล่านี้ ความเหมาะสมระหว่างรูปร่างของโมเลกุลของก๊าซและไอกับลักษณะของพื้นที่ผิวของสารดูดซับ จะทำให้เกิดการดูดซับได้ดี ในขั้นตอนที่ 3 โมเลกุลของมวลสารจะเกาะติดที่ผิวในโพรงช่องว่าง

โดยปกติทั่วไป ข้อมูลที่แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบดูดซับ คือ adsorption isotherm ซึ่งหมายถึงเส้นกราฟแสดงความสามารถของสารดูดซับกับความดันของสารมลพิษที่อุณหภูมิคงที่ ประสิทธิภาพของสารดูดซับปกติแสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์น้ำหนัก หรือเป็นกรัมของไอสารอินทรีย์ต่อ 100 กรัมของสารดูดซับ วิธีการอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในการอธิบายการดูดซับ คือ Langmuir Isotherm (Ruthven, 1984, Noll, 1992) อีกทฤษฎีหนึ่งคือ Polanyi Potential Theory ซึ่งเมื่อใช้ทำนายความสามารถในการดูดซับของสารบางชนิดใช้สมการการทำนายแสดงไว้ในตารางที่ 2-7

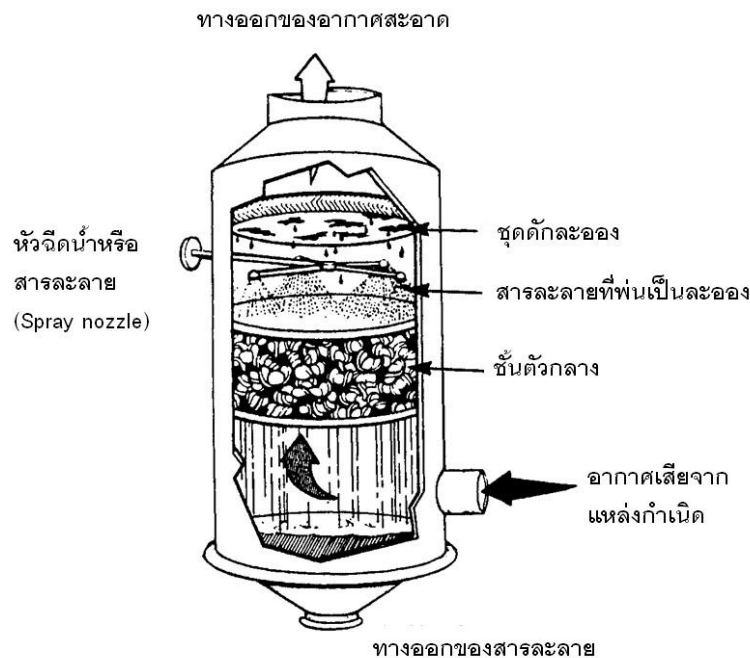
ตารางที่ 2-7 ความสามารถในการดูดซับสำหรับไฮสสารบางชนิดบน BC-AC activated carbon^a 6x10 mesh

Vapor	Liquid density, ^b ρ_L (g/cm ³)	W_e (kg/Kg)
Acetamide	1.159	0.494
Acrylonitrile	0.8060	0.357
Benzene	0.8761 ²³	0.409
Carbon tetrachloride	1.5881 ²³	0.741
Chloroform	1.4832	0.688
bis(Chloromethyl) ether	1.315	0.608
Chloromethyl methyl ether	1.0605	0.480
1,2-Dibromo-3-chloropropane	2.09311	0.992
1,1-Dibromoethane	2.0555	0.962
1,2-Dibromoethane	2.1792	1.020
1,2-Dichloroethane	1.2492 ³³	0.575
Diepoxy butane (meso)	1.1157	0.510
1,1-Dimethyl hydrazine	0.791 ²²	0.359
1,2-Dimethyl hydrazine	0.8274	0.375
Dimethyl sulfate	1.332	0.615
p-Dioxane	1.0333 ²³	0.475
Ethylenimine	0.8321	0.354
Hydrazine	1.0083	0.380
Methyl methane sulfonate	1.2943	0.595
1-Naphthylamine	1.229 ²⁵	0.585
2-Naphthylamine	1.0614 ⁹⁸	0.506
N-Nitrosodiethylamine	0.9422	0.442
N-Nitrosodimethylamine	1.0059	0.458
N-Nitroso-N-methylurethane	1.133	0.534
N-Nitrosopiperidine	1.0631 ^{18.5}	0.501
N-Nitrosopropylamine	0.9163	0.434
1,3-Propane sultone	1.39310	0.646
β -Propiolactone	1.1460	0.508
Propylenimine	0.802 ²⁵	0.361
Safrole	1.096	0.522
Urethane	0.9862 ²¹	0.456
Vinyl chloride	0.9114	0.404

2.6.3 ระบบการดูดกลืน (Absorption)

การดูดกลืนเป็นวิธีที่แพร่หลายสำหรับใช้บำบัดก๊าซ การดูดกลืนเป็นการทำให้ก๊าซเปลี่ยนรูปไปปรากฏอยู่ในของเหลว การดูดกลืนก๊าซด้วยของเหลว จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณของเหลวน้อยกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดสมดุลความเข้มข้นของก๊าซ ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นจริงกับความเข้มข้นสมดุล ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนของการดูดกลืน อัตราการดูดกลืนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซหรือของเหลว (เช่น การแพร่กระจาย ความเร็ว ความหนาแน่น เป็นต้น) และสภาวะของตัวดูดกลืน (เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของก๊าซและของเหลว) กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิต่ำลง พื้นที่สัมผัสมากขึ้น สัดส่วนระหว่างของเหลวและก๊าซสูงขึ้น ความเข้มข้นของกระแสก๊าซมากขึ้นการดูดกลืนจะเกิดได้ดีขึ้น

การดูดกลืนเกิดขึ้นได้ทั้งแบบกายภาพและแบบเคมี การดูดกลืนแบบกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อก๊าซที่ถูกดูดกลืนละลายอยู่ในตัวทำละลาย และหากเกิดปฏิกิริยาระหว่างก๊าซที่ถูกดูดกลืนกับตัวทำละลาย นั่นคือ เกิดการดูดกลืนแบบเคมี ถ้าก๊าซที่ปนเปื้อนนั้นละลายได้ดี การบำบัดด้วยวิธีการดูดกลืนจะมีประสิทธิภาพสูง และสำหรับก๊าซปนเปื้อนที่ละลายไม่ดีในตัวทำละลายบางครั้งอาจต้องมีการเพิ่มสารเคมีเข้าไปในระบบ เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของก๊าซที่ปนเปื้อนนั้น สารเคมีเหล่านั้นอาจช่วยให้ก๊าซปนเปื้อนละลายได้มากขึ้น หรือสารเหล่านั้นอาจเกิดปฏิกิริยากับก๊าซปนเปื้อน การเลือกคุณสมบัติของของเหลวที่ใช้ดูดกลืนควรพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ต้องการและราคาของสารเคมี ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้น้ำ เนื่องจากก๊าซที่ปนเปื้อนสามารถละลายในน้ำได้ อีกทั้งน้ำยังสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก



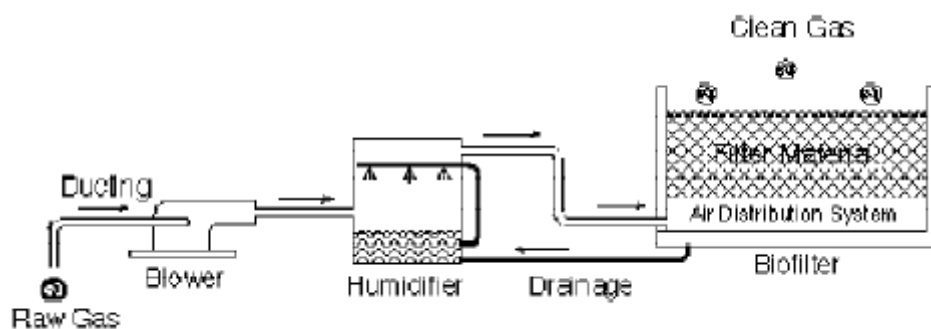
รูปที่ 2-31 รูป Packed Column ที่พบโดยทั่วไป

Packed Column เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ถูกนำมาใช้สำหรับการดูดกลืนก๊าซ Packed Column จะทำการกระจายของเหลวที่เป็นตัวดูดกลืนเหนือ Packing Materials ที่เป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวขนาดใหญ่สำหรับให้ก๊าซและของเหลวสัมผัสกันอย่างต่อเนื่อง กระแสของก๊าซปนเปื้อนจะถูกปล่อยเข้ามาทางด้านล่างของ tower และไหลขึ้นสู่ Packing materials ส่วนของเหลวที่เป็นตัวดูดกลืนจะถูกนำเข้ามาทางด้านบนของ packing โดยวิธีการสเปร์ย์ และไหลลงสู่ Packing materials ในทางทฤษฎีวิธีเช่นนี้จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงที่สุด หากทำการเจือจางก๊าซปนเปื้อนให้มากที่สุด และให้ก๊าซนั้นสัมผัสกับของเหลวที่เป็นตัวดูดกลืนที่สะอาด และให้กระบวนการทั้งหมดเกิดในคอลัมน์ขนาดที่มีความสูงเพียงพอ

โดยปกติ Absorption ใช้สำหรับก๊าซอินทรีย์ เมื่อจะนำมาใช้สำหรับไอสารอินทรีย์จะต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติม เช่น ระบบ QUAD ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท QUAD Environmental Technologies Corporation ในสหรัฐอเมริกา และระบบที่เรียกว่า DAVIS Process ซึ่งทั้งสองวิธีใช้เทคนิคการเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำซึ่งเป็นสารละลาย sodium hypochlorite ทำให้ไอสารอินทรีย์ละลายลงในน้ำได้บางส่วน

2.6.4 ระบบการกรองชีวภาพ (Biofiltration)

ระบบการกรองชีวภาพนับเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการกำจัด ไอสารอินทรีย์ออกจากอากาศ โดยที่ในอากาศดังกล่าวมีองค์ประกอบของก๊าซที่สามารถย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ (Microorganism) อื่นๆ โดยการควบคุมทั้ง อุณหภูมิและความชื้น จะเสริมให้จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในชั้นกรองชีวภาพ (Biofilter bed) ย่อยสลายไอสารอินทรีย์กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ น้ำ ระบบ การกรองชีวภาพนี้มีปรากฏใช้อย่างกว้างขวางในประเทศเยอรมันและเนเธอร์แลนด์สำหรับการควบคุมกลิ่น VOCs และไอสารอินทรีย์จากอุตสาหกรรมหลายประเภท อย่างไรก็ตามระบบนี้ มักจะใช้งานได้กับความเข้มข้นของไอสารอินทรีย์ที่ไม่เกิน 1,000 ppm ประสิทธิภาพการควบคุมโดยทั่วไปจะมากกว่าร้อยละ 90 สำหรับสารมลพิษอากาศโดยทั่วไป ค่าใช้จ่ายสำหรับระบบและในการเดินระบบจากระบบที่ใช้งานอยู่ทั้งในยุโรปและสหรัฐอเมริกามีความหลากหลายมาก แต่จาก US.EPA (1995) พบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสำหรับ Biofiltration จะต่ำมาก (ในช่วงประมาณ 0.6-1.50 ดอลลาร์ ต่อ 100,000 ลูกบาศก์ฟุต) ทำให้เป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญที่จะแข่งขันกับระบบอื่น ถ้าใช้กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่สูงมากนัก



รูปที่ 2-32 ระบบการกรองชีวภาพ (Biofiltration)

2.7 แนวทางการเลือกใช้ Technology ที่เหมาะสม ในการควบคุม VOCs

โดยเทคโนโลยีการบำบัด VOCs แต่ละระบบ มีหลักการทำงาน ข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

2.7.1 ระบบการเผาไหม้โดยตรง

ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Process) ใช้หลักการบำบัด VOCs โดยอากาศเสียที่มีสารก่อเกิด VOCs ถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 550 – 800 องศาเซลเซียส เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) และสลาย (Decompose) สาร VOCs และเผาไหม้ได้ ซึ่งจะทำให้มี VOCs เจือจางลงหรือไม่ก็กลืนเลย

ตารางที่ 2-8 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบการเผาไหม้โดยตรง

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ใช้ได้กว้างขวางสามารถบำบัด VOCs ได้มากที่สุด 2) ระบบนี้ใช้ได้กับ VOCs ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ 3) ค่อนข้างดำเนินการง่ายและในขณะเดียวกันมีผลในการบำบัด VOCs สูง	1) มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสูง 2) ไม่สามารถกำจัดสารที่ก่อให้เกิด VOCs จำพวกอินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาได้ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_x) อาจเกิดขึ้นได้จากการใช้น้ำมันก๊าด และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

2.7.2 ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ระบบเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic) เกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิ 350-650 องศาเซลเซียส ขณะผ่านชั้นคะตะลิสต์ (Catalyst bed)

ตารางที่ 2-9 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ข้อดี	ข้อเสีย
1) การใช้ตัวเร่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ จะทำให้เสียค่าเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาโดยตรง 2) สามารถกำจัดสาร VOCs ในความเข้มข้นต่ำได้ดี 3) ระบบมีขนาดกะทัดรัดและใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยมาก 4) บำรุงรักษาระบบได้ง่าย	1) ไม่สามารถกำจัดสาร VOCs ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ 2) ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีอายุการใช้งานต่ำถ้าใช้กับเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ 3) อาจทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_3) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.7.3 ระบบออกซิเดชัน (Oxidation)

ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Oxidation Process) มีหลักการบำบัด VOCs โดยอากาศเสียที่มี VOCs ถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 250 – 350 องศาเซลเซียส และผ่านกะตะลิสต์เบด (Catalyst Bed) ซึ่งเป็นการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น สารที่ก่อให้เกิด VOCs จะอยู่ภายใต้สภาวะที่ถูกออกซิเดชัน (Catalytic Oxidation) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะถูกเผาไหม้ให้ VOCs เจือจางหรือไม่มีกลิ่นเลย

ตารางที่ 2-10 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบออกซิเดชัน

ข้อดี	ข้อเสีย
1) การใช้ตัวเร่ง (Catalyst) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จะทำให้การเผาไหม้ VOCs ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ โดยจะเสียค่าเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาไหม้โดยตรง 2) สามารถบำบัดสาร VOCs ที่เป็นอันตรายในความเข้มข้นต่ำได้ดี 3) ระบบมีขนาดกะทัดรัดและใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยมาก 4) บำรุงรักษาระบบได้ง่าย	1) ไม่สามารถบำบัดสาร VOCs ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ 2) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จะมีอายุการใช้งานต่ำ ถ้าอากาศเสีย มีสารโลหะหนักปนอยู่ เช่น สังกะสี พรอท ตะกั่ว และสารจำพวกฟลูออรีน ซัลเฟอร์ เป็นต้น 3) ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้

2.7.4 ระบบกำจัด VOCs ด้วยวิธีชีวภาพ

ระบบตัวกรองชีวภาพ เป็นระบบบำบัดมลพิษทางอากาศที่มีการใช้กันมาแพร่หลายในหลายประเทศทั่วโลกมากกว่า 30 ปี ซึ่งหลักการของระบบนี้ได้อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นมลพิษต่อไป ได้มีการนำระบบตัวกลางแบบชีวภาพไปใช้ในการกำจัด VOCs ที่เกิดจากระบบน้ำเสีย ต่อมาได้มีการพัฒนานำมาใช้เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหย (VOC) และสารมลพิษที่เป็นอันตราย (HAPs) สารประเภทไฮโดรคาร์บอนรวมทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์อื่นๆ

ในการบำบัดสาร VOCs นั้น ไอของสารอินทรีย์ที่จะนำเข้ามาสู่ระบบบำบัดโดยใช้ตัวกรองชีวภาพ จะต้องมีการปรับสภาพก่อน เพื่อควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ หรือฝุ่นละอองให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนนำเข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพ

ตารางที่ 2-11 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบตัวกรองชีวภาพ

ข้อดี	ข้อเสีย
1) เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารเคมี แต่อาจจะมีการเติมเกลือแร่และสารอาหารบางอย่างเพื่อให้จุลินทรีย์เติบโต ในกรณีที่สารปนเปื้อนในอากาศมีไม่เพียงพอที่จะเลี้ยงจุลินทรีย์ 2) เป็นเทคโนโลยีที่ไม่เป็นอันตรายและไม่ก่อให้เกิดมลพิษข้างเคียงอื่น ๆ 3) วัสดุที่ใช้เช่นก้ามปูฉะว้าว เศษไม้ ปุ๋ยคอก เป็นของที่หาได้ง่าย 4) ค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบบำบัดต่ำ	1) ค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อความเปลี่ยนแปลงของสารปนเปื้อน หากมีสารพิษเข้ามาในระบบมาก ระบบอาจจะล้มเหลวได้ 2) ใช้เวลาในช่วงแรกก่อนที่จะบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพนานกว่าระบบอื่น เนื่องจากต้องรอจนมีปริมาณของจุลินทรีย์เพียงพอ 3) ความเข้มข้นของ VOCs ต้องไม่สูงมาก

2.7.5 ระบบสครับบิง (Scrubbing)

ระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing Process) มีกระบวนการบำบัด VOCs โดยในกรณีที่ส่วนหนึ่งของสาร VOCs ที่มีสภาพเป็นด่าง เช่น ไตรเมทิลลามีน (Trimethylamine) เป็นต้น จะนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดจะได้สารประกอบต่าง ๆ ที่เป็นกลางหรือสารประกอบใหม่ที่ไม่มีการเคลื่อนหรือมีการเคลื่อนน้อยลง ส่วนในกรณีที่สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นมีสภาพเป็นกรด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) เมทิลเมอร์แคปแทน (Methyl Mercaptan) เป็นต้น จะทำปฏิกิริยากับสารละลายด่าง (Alkaline Solution) ได้เป็นสารประกอบต่าง ๆ ที่เป็นกลางหรือสารประกอบใหม่ที่ไม่มีการเคลื่อนหรือมีการเคลื่อนน้อยลงเช่นเดียวกัน

ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon – Adsorption) ต้องถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing) เพื่อกำจัดสารที่เป็นกลาง เช่น เมทิลซัลไฟด์ (Methyl Sulfide) ได้

ตารางที่ 2-12 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบสครับบิง

ข้อดี	ข้อเสีย
1) สามารถ บำบัด VOCs ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ได้ 2) การลงทุนก่อสร้างระบบต่ำ 3) สามารถกำจัดละออง (Mist) ฝุ่น (Fume) และ ฝุ่น (Dust) ได้พร้อม ๆ กัน	1) อาจไม่สามารถบำบัดสาร VOCs ที่เป็นกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ เนื่องจากสารที่เป็นกลางมักใช้เวลามากกว่าในการทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นกรดหรือต่าง 2) จะมีน้ำเสียเกิดขึ้นจากการใช้ระบบนี้ 3) ผู้ควบคุมต้องมีความชำนาญในการควบคุมและบำรุงรักษา

2.7.6 ระบบดูดซับ

ก. ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon - Adsorption Process) มีกระบวนการบำบัด VOCs โดย VOCs จะถูกดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ระบบนี้ใช้เสริมการบำบัดสาร VOCs ร่วมกับระบบอื่น ๆ ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon – Adsorption) ต้องถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing) เพื่อกำจัดสารที่เป็นกลาง เช่น เมทิลซัลไฟด์ (Methyl Sulfide) ได้

ตารางที่ 2-13 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์

ข้อดี	ข้อเสีย
1) เป็นระบบพื้นฐานและง่ายต่อการควบคุมและบำรุงรักษา 2) มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดสารอินทรีย์ และสามารถดูดซับสารที่เกิดกลิ่นได้มาก 3) เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียที่มีปริมาณมากและความเข้มข้นของกลิ่นต่ำ	1) มีประสิทธิภาพต่ำสำหรับการบำบัดสารแอมโมเนีย (Ammonia) เอมีน (Amine) และ อัลดีไฮด์ (Aldehydes) 2) ก๊าซที่มีกลิ่นความเข้มข้นสูง ต้องทำการเปลี่ยนผงถ่านกัมมันต์บ่อย หรือต้องทำการปรับสภาพ (Regeneration) บ่อยครั้ง และอาจทำให้ถ่านกัมมันต์ร้อนจัด เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาที่คายความร้อน 3) ช่วงเวลาที่ใช้สัมผัส ต้องปรับตามสภาพของอัตราการดูดซับกลิ่น 4) ประสิทธิภาพลดลงหากอากาศที่เข้ามามีความร้อนสูง (ไม่ควรเกิน 50°C)

สารเคมีที่มีกลิ่นที่เป็นประเภทไฮโดรคาร์บอนจะถูกจับติดอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีรูเล็ก ๆ และมีพื้นที่ผิวจำนวนมาก เมื่อสารถูกจับจนถ่านอิ่มตัวก็ต้องไล่สารเคมีออกไป เพื่อให้ถ่านกลับมาใช้งานได้ใหม่ (Regeneration) จากข้อมูลที่มีการใช้งานในประเทศไทย ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์เหมาะสมที่จะใช้กำจัดกลิ่นจากบริเวณที่เก็บวัตถุดิบ (กองวัตถุดิบ) ระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ทำงานที่มีกลิ่นจากการใช้ตัวทำละลาย เพราะสารมีกลิ่นมีความเข้มข้นไม่สูงมากจึงไม่ต้องเปลี่ยนถ่านบ่อยๆ

ข. ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี

ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี (Impregnated Activated Carbon (A/C) - Adsorption Process) มีกระบวนการบำบัดกลิ่นโดยใช้ Impregnated A/C ที่ถูกเคลือบด้วยสารเคมีบางชนิด เช่น กรดหรือด่างอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นหลายสิบเท่าของผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ธรรมดา

ทั้งนี้ ผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการบำบัดสารที่ดูดซับไว้และทำการปรับสภาพใหม่

ตารางที่ 2-14 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ประสิทธิภาพสูงมากในการบำบัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหลายชนิด 2) ง่ายต่อการควบคุมและบำรุงรักษา 3) สามารถนำ Impregnated A/C กลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อผ่านการปรับสภาพ (Regeneration)	1) การเปลี่ยน หรือการปรับสภาพของ Impregnated A/C จำเป็นต้องเป็นไปตามเวลาที่กำหนดไว้

2.7.7 การควบแน่นและการนำมาใช้ใหม่

การควบแน่นคือ การเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิให้ไอระเหยกลายเป็นของเหลว เพื่อลดการแพร่กระจายของ VOCs การควบแน่นจะมีประสิทธิภาพและได้ผลคุ้มค่าในการนำสารที่ควบแน่นได้มาใช้ใหม่ก็ต่อเมื่อมีความเข้มข้นของสารนั้นสูงเพียงพอ เช่น อากาศที่ดูดจากหม้อผสมสี เป็นต้น โดยทั่วไปการควบแน่นจะใช้เครื่องทำความเย็น และค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะเป็นค่าไฟฟ้า

ระบบการควบแน่น (Condensation Process) ใช้หลักการบำบัด VOCs โดยอากาศเสียที่มีสาร VOCs ถูกทำให้เย็นลงจนควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งอุณหภูมิที่ต้องการจะขึ้นกับคุณสมบัติของสารนั้นๆ

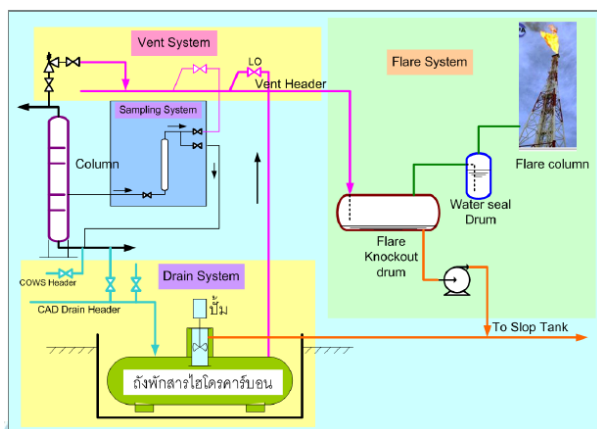
ตารางที่ 2-15 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบการควบแน่น

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ใช้ได้กับ VOCs ที่ปกติเป็นของเหลว เช่น ทินเนอร์ ไซลีน โทลูอิน 2) ระบบนี้ใช้ได้กับสาร VOCs ที่มีความเข้มข้นสูงๆ เช่น อากาศในถังผสมสีน้ำมัน 3) ค่อนข้างดำเนินการง่ายและในขณะเดียวกันอาจได้ VOCs คืนในระดับที่คุ้มค่า	1) ค่าไฟฟ้าในการทำความร้อนสูง 2) ไม่สามารถกำจัดสาร VOCs ที่ไม่ควบแน่น หรือสารที่ควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำเกินไป 3) อากาศที่ระบายออกมีความเย็นและไอน้ำที่ยังเหลืออาจไม่ลอยตัว ทำให้อาจรบกวนผู้ที่อยู่อาศัยข้างเคียง 4) อาจต้องมีระบบเสริม เช่น ดูดซับ VOCs ที่ยังเหลือด้วยถ่านกัมมันต์

3. การกำหนดมาตรการควบคุม VOCs ตามแหล่งกำเนิดและการดำเนินการแก้ไขจุดที่รั่วซึมในกระบวนการผลิต

ในการดำเนินการกำหนดมาตรการการควบคุม VOCs นั้น ควรพิจารณาตามลักษณะและความเร่งด่วน ตามสถานะการปล่อย VOCs ของกิจการนั้นๆ หรือตามสถานการณ์ ที่เป็นอยู่ซึ่งอาจจะต้องพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป เช่น การกำหนดระดับความเร่งด่วนของการจัดการและควบคุม ควรพิจารณาจากผลของการทำบัญชีการปล่อย VOCs เทียบกับค่ามาตรฐานที่ดี (Benchmark) ถ้าผลจากการทำบัญชีการปล่อย VOCs มีค่าสูงกว่าค่า “มาตรฐานที่ดี” มากเท่าใด ก็หมายถึงความเร่งด่วนที่มีความสำคัญมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ สัดส่วนการปล่อย VOCs จากแหล่งกำเนิดต่างๆ ยังเป็นข้อมูลให้ทราบถึงลำดับความสำคัญของแหล่งกำเนิดแต่ละกลุ่ม เช่น แหล่งกำเนิดจาก “การรั่วระเหยจากอุปกรณ์” มักเป็นแหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนเกินกว่า 75% ของอัตราการปล่อย VOCs ทั้งหมดจากกิจการมาตรการการลดการปล่อย VOCs จึงควรเริ่มจากการควบคุมการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ เป็นต้น

การควบคุมจุดรั่วซึมที่มีนัยสำคัญอาจพิจารณาตามตามนโยบายของทางราชการ เช่น ตามข้อแนะนำตามความเห็นของกรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือโดยความเห็นของผู้ประกอบการเอง ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ จากการรั่วระเหยจากจากแหล่งกำเนิดปกติ 6 กลุ่ม และจากวิธีการปฏิบัติงาน ซึ่งจะนำเทคโนโลยีในการควบคุมซึ่งระบุไว้ในบทที่ 2 มาใช้ ส่วนการรั่วระเหย หรือการสูญเสีย VOCs อันเนื่องมาจากวิธีการปฏิบัติงานจะใช้หลักการปฏิบัติที่ดีมาใช้ โดยมุ่งเน้นให้มีการปิดคลุมหรือจัดทำเป็นระบบปิด เพื่อไม่ให้เกิดการระเหยรั่วซึมของสารออกสู่บรรยากาศ เช่น ให้ระบบการปล่อยทิ้ง VOCs เป็นระบบปิด ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบก่อสร้าง เช่น รูปที่ 3-1 เป็นตัวอย่างการออกแบบในกระบวนการผลิตและทำให้จุดปล่อยทิ้งในกระบวนการผลิตเช่นจาก “Vent” มีลักษณะเป็นระบบปิด (Closed Loop) ซึ่งการออกแบบของโรงงานในปัจจุบันใช้แนวความคิดนี้ทั้งสิ้น และส่งก๊าซปล่อยทิ้งทั้งหมดไปเผาที่ที่แฟลร์ ส่วนจากจุด “Drain” จะรวบรวมส่งไปยัง ถังรวบรวม “Sump Tank” แล้ววนกลับเข้าไปในกระบวนการผลิตต่อไป



รูปที่ 3-1 ตัวอย่างการออกแบบในกระบวนการผลิตเป็นระบบปิด

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) (ชื่อเดิม บริษัท ปตท.อะโรเมติกส์และการกลั่น จำกัด (มหาชน))

อย่างไรก็ตาม การดำเนินการควบคุม ควรดำเนินการโดยพิจารณาร่วมกับถึงปัจจัยสำคัญอื่นๆ ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น นโยบาย หรือกฎเกณฑ์ที่ทางราชการอาจกำหนดขึ้นเป็นการเฉพาะด้วย และควรดำเนินการควบคุมในทุกแหล่งกำเนิดไปพร้อมๆ กัน โดยมีตัวอย่างแนวทางการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1 การเดินสำรวจและแก้ไขในทันที (Walkthrough Survey Technique หรือ Quick Win)

การควบคุมการรั่วซึมจากวิธีปฏิบัติงาน ใช้วิธีการเดินสำรวจและแก้ไขในทันที เพื่อสำรวจแหล่งรั่วระเหยโดยเฉพาะ ในโรงงานหลายแห่งมีการกำหนดให้มีคณะทำงานที่มีหน้าที่ “เดินสำรวจ” อย่างเป็นทางการ มีการกำหนดเวลาและบุคคล (ซึ่งจะผลัดเวียนกันไป) ที่จะเดินสำรวจเป็นประจำ เช่น สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในบางโรงงานมีนโยบายที่จะเชิญบุคลากรต่างแผนก หรือแม้กระทั่งจากต่างโรงงานที่มีกระบวนการผลิตคล้ายกัน เข้ามาร่วมเดินสำรวจเป็นครั้งคราว โดยผู้สำรวจจากภายนอกนี้ จะมีส่วนช่วยในการหาข้อบกพร่องที่เกิดจาก “ความเคยชินจากแนวทางปฏิบัติที่ใช้” ซึ่งมักถูกมองข้ามในการสำรวจตามปกติ ซึ่งนับว่าเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์แนวทางหนึ่ง ในการเดินสำรวจดังกล่าวนี้จะมีตำแหน่งที่ควรทำการสำรวจตามคำแนะนำที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม และกรมควบคุมมลพิษได้ระบุไว้ในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3-1 แหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญของการรั่วระเหยของสาร VOCs จากการปฏิบัติงาน และแนวทางในการควบคุม

แหล่งกำเนิด	จุดรั่วซึม	ตัวอย่างสภาพปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	ตัวอย่างแนวทางการแก้ไข
1.การเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ/ผลิตภัณฑ์	1.1 วาล์วที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างหรือถ่ายสารเคมี (Sampling/Drain Valve)	- วาล์วรั่ว - ปิด valve ไม่สนิทหลังใช้งาน	- ทำแผนตรวจเช็คการรั่ว - ทำเป็นระบบปิด - ทำวิธีการปฏิบัติงานและกำหนดนโยบายปฏิบัติ
	1.2 ท่อบรรจุวัตถุดิบ/ผลิตภัณฑ์	- เป็นท่อเปิด - ไม่ปิดหน้าแปลนหลังการใช้งาน	- ทำ cap ปิดคลุม - ทำวิธีการปฏิบัติงานและกำหนดนโยบายปฏิบัติ
	1.3 ภาชนะรองรับสารเคมีตัวอย่างหรือของเสีย	- ภาชนะเก็บตัวอย่างไม่มีฝาปิด - สารเคมีหก/กระเด็นออกนอกที่รองรับ	- ใช้ภาชนะฝาปิด หรือ sump pit ระบบปิด - ต่อท่อให้ยาวเพียงพอไปถึงที่รองรับสาร

ตารางที่ 3-1 แหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญของการรั่วระเหยของสาร VOCs จากการปฏิบัติงาน และแนวทางในการควบคุม (ต่อ)

แหล่งกำเนิด	จุดรั่วซึม	ตัวอย่างสภาพปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	ตัวอย่างแนวทางการแก้ไข
2. การถ่ายเทสารเคมีเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต	2.1 ท่อที่ใช้ในการถ่ายเทสารเคมีเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต	- ขนาดท่อ/สายเล็กกว่าช่องที่รับสารเคมีหรือเชื่อมต่อไม่สนิทกับช่องรับสาร	- ปรับปรุงท่อ/สาย
	2.2 ถัง/รรับสารเคมีเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต	- ถังเป็นระบบเปิด - ถังมีขนาดเล็ก - มี vent ออกจากถังขณะถ่ายเทสารเคมี	- เปลี่ยนถังรองรับสารให้เป็นถังปิด - ใช้ถังขนาดใหญ่หรือใช้รถรับสารเพื่อลดจำนวนครั้งของการถ่ายเทสาร - รวบรวมไอจากถังหรือรถเข้าสู่ระบบบำบัดมลพิษ
3. การระบายของเหลือจากระบบการผลิต	3.1 บ่อรวบรวมของเหลือจากระบบการผลิต เช่น waste water sump /waste oil sump/CPI oil separator หรืออื่นๆ	- มีการระเหยของสารจากบ่อเปิดที่รองรับหรือกักเก็บของเหลือ	- ใช้ระบบปิด และ/หรือนำไ้เข้าระบบบำบัด
	3.2 การระเหยจากตะกอน	- ทำตะกอนให้แห้งโดยการตากหรือต้มระเหยไ้โดยตรงสู่บรรยากาศ	- ทำเป็นระบบปิดแล้วนำไ้ไปบำบัด - ใส่กากตะกอนในถังปิด
4. การกักเก็บวัตถุดิบ/ผลิตภัณฑ์/ของเสีย	4.1 ถังเก็บสารเคมี/ถังเก็บของเสีย	- ถังเก็บไม่มีฝาปิดคลุม - ฉนั้กถังมีรอยรั่ว - มีการรั่วออกจากช่องอุปกรณ์วัดระดับสารเคมี	- ปิดฝา - ซ่อมฉนั้ก - ทำระบบปิดคลุมช่องอุปกรณ์

ตารางที่ 3-2 แหล่งกำเนิดอื่นที่อาจมีการระเหยของสาร VOCs จากการปฏิบัติงานและแนวทางในการควบคุม (แหล่งกำเนิดอื่นที่โรงงานตรวจสอบพบเพิ่มเติม ให้เสนอแผนการดำเนินงานและระยะเวลาการแก้ไขตามสภาพปัญหา)

แหล่งกำเนิด	จุดรั่วซึม	ตัวอย่างสภาพปัญหาที่อาจเกิดขึ้น	ตัวอย่างแนวทางการแก้ไข
1. Pressure relief valve	1.1 Pressure relief valve ของถังสารเคมี/การผลิต	- Seal รั่ว - valve เสีย	- ซ่อม/เปลี่ยนอุปกรณ์
2. ท่อ Vent	2.1 ท่อ vent ของถังบรรจุสาร หรือท่อ vent จากการผลิต	- ระบายไอออกโดยตรงไม่มีระบบบำบัดมลพิษ	- นำไอไปเข้าระบบบำบัดมลพิษ
3. การผลิต	3.1 ห้องผสมสารเคมี Dryer	- เป็นห้องเปิด ไม่มีการควบคุม	- ทำเป็นระบบปิด - นำไอไปเข้าระบบบำบัดมลพิษ - ทบทวนการปฏิบัติงานเพื่อปรับปรุงวิธีการดำเนินงาน
4. ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ	4.1 ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ	- ประสิทธิภาพของระบบบำบัดมลพิษไม่เป็นตามเกณฑ์ที่กำหนด - ขาดการตรวจสอบและ/หรือเปลี่ยนถ่ายตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดมลพิษ	- จัดทำแผนตรวจสอบประสิทธิภาพและซ่อมบำรุงรักษาระบบสม่ำเสมอ

ตัวอย่างการควบคุมเพื่อลดการปล่อย VOCs ที่ได้จากการ “เดินสำรวจ” คือการได้กลิ่น VOCs ขณะเดินสำรวจจากจุดเก็บตัวอย่าง จึงได้ทำฝาปิดที่จุดเก็บตัวอย่างนั้น



รูปที่ 3-2 การทำฝาปิดที่จุดเก็บตัวอย่าง เนื่องจากได้กลิ่น VOCs ขณะเดินสำรวจ

ที่มา: บริษัท ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด

3.2 ระบบการควบคุม VOCs จากการรั่วซึมของอุปกรณ์ (Fugitives)

การควบคุมการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ มีหลักการ ในการควบคุม 2 หลักการ คือ การกำหนดให้มีการวัดสำรวจ การรั่วระเหย ส่วนอีกแนวทางหนึ่ง คือการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อลดหรือควบคุมการปล่อย VOCs ณ อุปกรณ์นั้น

3.2.1 การกำหนดให้มีการวัดสำรวจการรั่วระเหย

การกำหนดให้มีการวัดสำรวจว่ามีอุปกรณ์ชิ้นใดที่ใช้อยู่มีการปล่อยหรือระบาย VOCs เกินกว่าอัตราการ “รั่วระเหย” ปกติ หรือ “รั่ว”หรือไม่ และถ้าพบว่ามี การ “รั่ว” ก็ให้แก้ไขหรือซ่อมบำรุงในเวลาที่กำหนด เนื่องจากอัตราการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ที่ “รั่ว” อาจจะมากกว่าอัตราการปล่อย VOCs ชนิดเดียวกันที่มีอัตราการรั่วระเหยปกติมากกว่า 100 เท่า ดังนั้นการดำเนินการวัดสำรวจเพื่อหาอุปกรณ์ที่รั่วจะทำให้ลดอัตราการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในภาพรวมได้มาก อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยโดยวิธีนี้ยังขึ้นอยู่กับ ความถี่ หรือจำนวนครั้งที่ดำเนินการวัดสำรวจ เนื่องจาก เป็นไปได้ว่า อุปกรณ์ที่เคยทำการวัดสำรวจแล้วพบว่าไม่รั่ว หรือพบอุปกรณ์ที่รั่วและได้ดำเนินการซ่อมบำรุงแล้ว อาจกลับมา “รั่ว” ในช่วงเวลาต่อมา โดยทั่วไป พบว่าการวัดสำรวจและซ่อมบำรุงในเวลาที่กำหนดหรือในทันที สามารถลดอัตราการปล่อย VOCs ในส่วนจากการรั่วระเหยจากอุปกรณ์ได้ประมาณ 20-25% ตัวอย่าง การดำเนินการ เช่นในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 การวัดสำรวจการรั่วระเหยและแก้ไขหรือซ่อมบำรุงในเวลาที่กำหนด

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

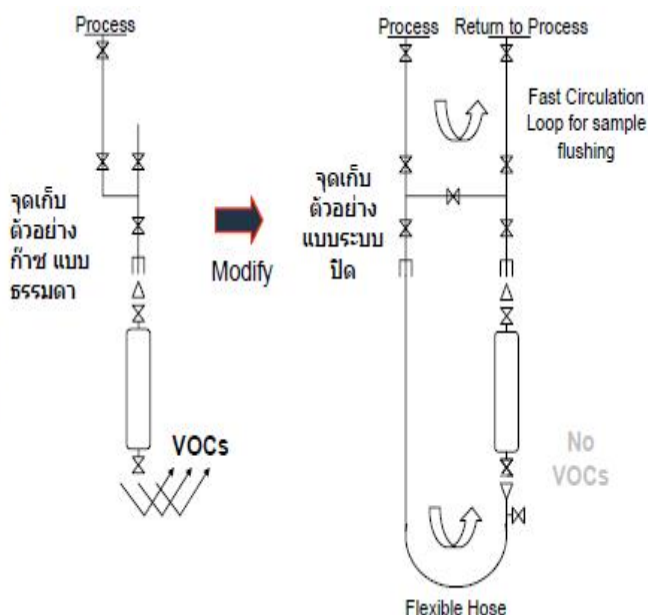
3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม

โดยหลักการเป็นการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อการควบคุมและลดการปล่อย VOCs ณ อุปกรณ์นั้นเป็นการเฉพาะ โดยหลักการการควบคุมชั้นที่ 2 เช่น การใช้ seal ที่ปั๊ม หรือวาล์ว เป็นแบบ double seal หรือ dual seal และการหุ้มคลุมจนกระทั่งไม่สามารถเห็นหรือเข้าถึงจุดที่มีการรั่วระเหยได้ เช่น seamless pump ถือว่าเป็นเทคนิคที่ทำให้อัตราการปล่อย VOCs ที่อุปกรณ์นั้นเป็น ศูนย์ เช่นในรูปที่ 3-4 คือการหุ้มคลุมปั๊ม รูปที่ 3-5 คือ ตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมจนกระทั่งจุดเก็บตัวอย่างกลายเป็นระบบปิด (Close loop or in-line sampling)



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างการหุ้มคลุมปั๊มจนมีลักษณะไม่มีจุดรั่วระเหย

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด



รูปที่ 3-5 ตัวอย่างการปรับปรุงจุดเก็บตัวอย่างเป็นระบบปิด

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด



รูปที่ 3-6 เปลี่ยนภาชนะรับสารปล่อยทิ้งเป็นระบบปิด

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด

รูปที่ 3-6 เป็นตัวอย่างการปรับปรุงกรวยรองรับสารจากกระบวนการผลิตเป็นระบบปิด โดยแค่เดิมกรวยรับสารเป็นภาชนะเปิด ทำให้มีไอระเหยของ VOCs ปล่อยออกสู่บรรยากาศ การปรับปรุงในขั้นตอนแรกมีการปรับปรุงโดยการหุ้มฉนวนด้วยฉนวน เพื่อไม่ให้มีกลิ่นและไอของ VOCs ปล่อยออกสู่บรรยากาศ ส่วนในการปรับปรุงขั้นที่ 2 มีการปรับเปลี่ยน ท่อปล่อยทิ้งเข้าด้านข้างฉนวนกันรั่วฝาปิด เพิ่มช่องมองใส (Sight glass) เพื่อตรวจสอบการไหลผ่าน

รูปที่ 3-7 เป็นการอุดผนึกโดยใช้ฝาปิดแบบฝาเกลียว (capping) เพื่อ ลดการปล่อย VOCs จากท่อปลายเปิด (open-ended line) ซึ่งปกติจะมีอัตราการรั่วระเหยที่สูง



รูปที่ 3-7 การอุดผนึกท่อปลายเปิด

ที่มา: ปิมน้ำมัน บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

3.2.3 การลดจำนวนอุปกรณ์ที่ปล่อยสาร VOCs ในระบบ

การลดจำนวนอุปกรณ์ที่อาจเป็นจุดปล่อย VOCs จากระบบ ถือเป็นแนวทางที่สำคัญและได้ผลชัดเจนเช่นการ ตัด หรือ ปิด ระบบท่อและอุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้งานออกจาก เส้นทางท่อไหลผ่านของสาร VOCs การเปลี่ยนจุดต่อเชื่อม ระบบท่อจากการใช้ข้อต่อแบบ Flange เป็นการเชื่อมต่อน (welded) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ลดลงก็จะทำให้อัตราการปล่อย VOCs ลดลง รูปที่ 3-8 เป็นตัวอย่างของการลดการใช้ Flange ในระบบท่อ ใช้ระบบการ “เชื่อม (welding)” แทน



รูปที่ 3-8 ใช้ระบบการเชื่อม (Welding) แทน Flange ในระบบท่อ

ที่มา: ระบบบ่อส่งก๊าซธรรมชาติ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

3.2.4 การใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบให้ไม่มีรอยต่อ

อุปกรณ์หลายชนิด เช่น ปั๊ม วาล์ว และคอมเพรสเซอร์ มีการออกแบบให้ไม่มีรอยต่อที่ตัว (body) ของอุปกรณ์ เช่น seamless pump วาล์วประเภท seamless type valves และ ปั๊มในกลุ่ม ไดอะแฟรม เป็นต้น การออกแบบอุปกรณ์ที่ไม่มีรอยต่อทำให้ไม่มีจุดที่มีการรั่วระเหย รูปที่ 3-9 และรูปที่ 3-10 แสดง ตัวอย่างการใช้ วาล์ว แบบไม่มีรอยต่อ รูปที่ 3-11 และ 3-12 แสดงการใช้ ปั๊มชนิดไม่มีรอยต่อ ส่วนรูปที่ 3-13 แสดงการติดตั้ง Rupture disk สำหรับ วาล์วระบายเพื่อลดความดันในระบบ (Pressure Relief Valve) และมีการต่อระบบเข้าในระบบปิดถ้ามีการระบายความดันจากระบบ



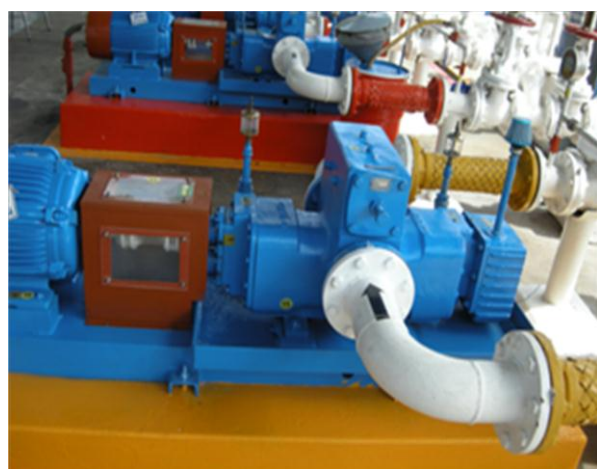
รูปที่ 3-9 วาล์วแบบไม่มีรอยต่อ

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3-10 วาล์วแบบไม่มีรอยต่อ

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด



รูปที่ 3-11 แสดงการใช้ปั๊มชนิดไม่มีรอยต่อ

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3-12 การใช้ปั๊มชนิด double mechanical seal

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด



รูปที่ 3.13 Rupture Disk สำหรับวาล์วระบายเพื่อลดความดันในระบบและต่อเข้าระบบปิด

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

3.3 ระบบการเผาทำลาย (Combustion)

ระบบการเผาทำลาย ถือว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมการปล่อย VOCs ที่จุดปล่อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่ม VOCs ที่เป็นสารก่อกลิ้น แต่อย่างไรก็ตาม มักมีข้อจำกัดที่สำคัญบางประการเช่น มีค่าใช้จ่ายสูง ใช้ไม่ได้กับสารที่ไม่ติดไฟ ไม่เหมาะกับอากาศเสียที่มีความเข้มข้นสูง

3.3.1 การเผาทิ้งที่ระดับพื้น

ตัวอย่างของระบบการเผาทำลายแบบนี้เช่น การเผาทิ้งที่ระดับพื้น (ground level flare) การเผาทิ้งในปล่องเหนือท่อเปิดปลาย (enclosed flare) วิธีนี้มักใช้วิธีการเผาโดยใช้ออกซิเจนจากอากาศในบรรยากาศมีการควบคุมอัตราส่วนของอากาศกับสารที่เผาทิ้งน้อย ตัวอย่างของ ground level flare แสดงอยู่ในรูปที่ 3-14

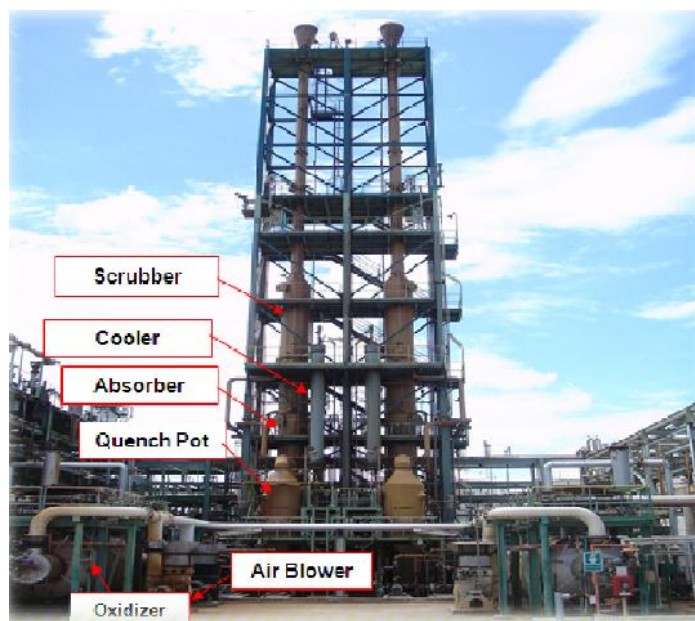
3.3.2 ระบบเผาทำลายด้วยความร้อน (Thermal Incinerator)

ระบบนี้มีหลักการคล้ายกับการเผาทิ้งที่ระดับผิวพื้น แต่มักมีระบบควบคุมสัดส่วนของอากาศต่อ VOCs ที่นำมาเผาทำลายโดยใช้ความร้อน ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในการเผาได้ รูปที่ 3-15 เป็นระบบเผาทำลายโดยใช้ความร้อนสำหรับ VOCs ที่เหลือจากกระบวนการผลิต (ในตัวอย่างนี้ คือ ไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ และเอทิลีนไดคลอไรด์) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 750 °C ซึ่งจะทำให้ VOCs ทั้งสองชนิดถูกเผาไหม้หมด



รูปที่ 3-14 Ground Flare

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3-15 ตัวอย่าง Thermal Incinerator

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด

3.4 ระบบการดูดซับ (Adsorption)

ระบบดูดซับ คือการใช้ของแข็งดูดซับ VOCs ออกจากอากาศเสีย ระบบนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ระบบดูดซับแบบมีการฟื้นฟูสภาพ (regeneration system) ซึ่งมักมีถังใส่สารดูดซับ 2 ถัง ใช้งานสลับกัน เมื่อถังหนึ่งเต็มหรืออิ่มตัวจากการดูดซับสาร VOCs จะมีการเปลี่ยนไปใช้งานอีกถังหนึ่ง โดยถังที่อิ่มตัวแล้วจะเข้าสู่กระบวนการฟื้นฟูสภาพ หรือได้ VOCs ออกจากชั้นของสารดูดซับโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ จากนั้นจึงทิ้งให้เย็นเพื่อให้พร้อมนำกลับมาใช้งานอีก ส่วนระบบดูดซับอีกระบบหนึ่งเป็นแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่นระบบ Carbon Canister ซึ่งเหมาะกับอากาศเสียที่มี VOCs ความเข้มข้นต่ำและอัตราการไหลของอากาศไม่คงที่ เช่น ท่อระบายจากถังเก็บ หรือจากระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น รูปที่ 3-17 เป็นตัวอย่างของระบบดูดซับแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งสำหรับถังเก็บสาร VOCs



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการใช้ Charcoal Adsorber เพื่อดูดซับไอจากถังเก็บ

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

3.5 ระบบ Vapor Recovery Unit (VRU)

ระบบ Vapor Recovery Unit เป็นการเรียกรวมๆถึงระบบการบำบัดหรือควบคุม VOCs ที่มีระบบเก็บคืน VOCs จากระบบบำบัดกลับมาใช้ใหม่ Vapor Recovery Unit อาจใช้เทคนิค การดูดซับ (adsorption) แบบ ถังดูดซับ 2 ถัง ระบบการควบแน่น (condensation) หรือ การดูดกลืน (absorption) ซึ่งใช้น้ำหรือของเหลวอื่นๆ ในการแยก VOCs ออกจากอากาศเสีย แต่โดยทั่วไปแล้ว การใช้งานระบบดูดกลืนในการควบคุม VOCs ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจาก VOCs ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ไม่ดี รูปที่ 3-18 แสดงตัวอย่าง ของระบบ Vapor Recovery Unit ซึ่งใช้เทคนิค ระบบการดูดกลืน (adsorption) แบบ 2 ถัง ติดตั้ง ที่สถานีขนถ่ายน้ำมันทางรถของโรงกลั่นน้ำมันแห่งหนึ่ง



รูปที่ 3-18 ตัวอย่าง VRU ที่เทคนิคการดูดซับแบบ 2 ถึง

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

รูปที่ 3-19 แสดงตัวอย่างของ ระบบ Vapor Recovery Unit ซึ่งใช้เทคนิคดูดกลืน (absorption) ซึ่งโรงงานที่ใช้ระบบนี้เรียกว่าระบบ Scrubber ใช้สำหรับดูดซับไอระเหยจากการสุญญากาศผลิตภัณฑ์ทางรถ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ขนถ่ายคือ Cracked bottom, toluene และ C8+

รูปที่ 3-20 แสดงตัวอย่างของ ระบบ Vapor Recovery Unit ซึ่งใช้เทคนิคการควบแน่น (Condensation) โดยใช้กับถังเก็บ ชนิด Dome Roof โดยสารที่กักเก็บคือ mixed C4 ระบบ vapor recovery มีการฟั่นคูลมโดยก๊าซไนโตรเจน และมี Low Pressure Flare รองรับกรณี Vapor Recovery มีปัญหาในการใช้งานมีการควบคุมและติดตามตรวจสอบอุณหภูมิภายใน Vapor Recovery ไว้ที่ $4-6^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3-19 แสดงตัวอย่างของ VRU ที่ใช้เทคนิคการดูดกลืน (absorption)

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด



รูปที่ 3-20 แสดงตัวอย่าง VRU ซึ่งใช้เทคนิคการควบแน่น (Condensation)

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

3.6 ระบบการควบคุม VOCs จากถังเก็บสารเคมี (Storage Tank)

การควบคุม VOCs จากถังเก็บ VOCs มีการใช้ระบบส่งเข้าระบบเผาไหม้เป็นระบบปิด หรืออาจใช้ระบบ VRU หรือ อาจเป็นระบบดูดซับแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง รูปที่ 3-21 แสดง Charcoal Adsorber 2 ชุด สำหรับบำบัดไอ VOCs ที่เกิดจากถังเก็บกัก Heavy Aromatic โดยที่ Charcoal Adsorber แต่ละชุดเชื่อมต่อกับถังเก็บกัก Heavy Aromatic

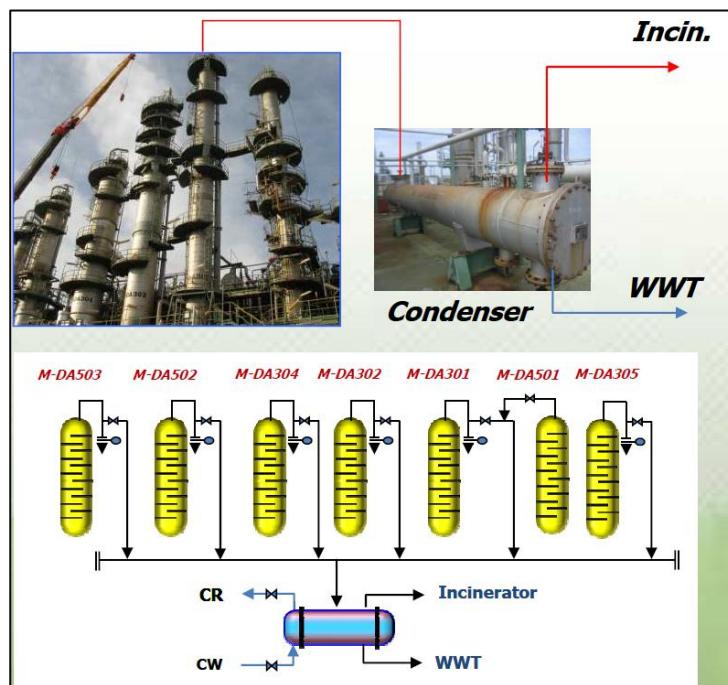


รูปที่ 3-21 ตัวอย่างการใช้ Charcoal Adsorber เพื่อดูดซับไอจากถังเก็บ

ที่มา: บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด

รูปที่ 3-22 แสดงระบบ VRU ที่ใช้หลักการควบแน่น (Condensation) เพื่อลดการปล่อย VOCs สู่อากาศ ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิให้น้ำที่มี VOCs ปนอยู่จนกลั่นตัว แล้วจึงส่งไปบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสีย

รูปที่ 3-23 แสดงตัวอย่างของระบบเผาทั้งที่ระดับผิวพื้น (Enclosed Flare)



รูปที่ 3-22 ตัวอย่างการใช้ระบบควบแน่น (Condensation)

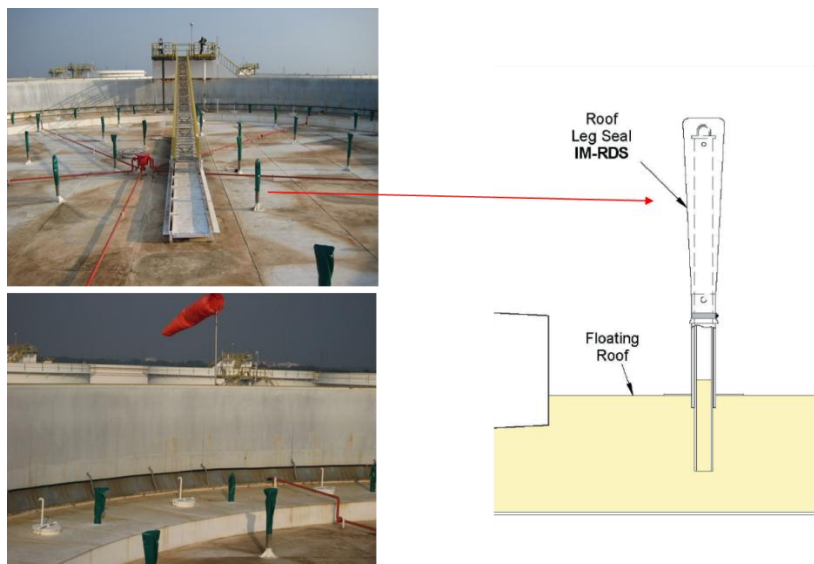
ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด



รูปที่ 3-23 ตัวอย่าง Ground Flare

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด

นอกจากนี้ ในกรณีที่เป็นถังเก็บผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำมันดิบหรือน้ำมันเบนซิน จะมีระยะห่างระหว่างขาค้ำยันกับ ปลอกขาค้ำยันบนหลังคาลอย (External Floating Roof) เพื่อเป็นการลดการระบายนสารอินทรีย์ระเหยจากการระเหย ของน้ำมันดิบและน้ำมันเบนซินที่บรรจุในถังเก็บผลิตภัณฑ์ดังกล่าว อาจใช้วิธีการปิดด้วยถุงครอบเพื่อทำให้เป็นระบบ ปิดได้ ดังแสดงในรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-24 ใช้วิธีการปิดด้วยถุงครอบเพื่อทำให้เป็นระบบปิด

ที่มา: บริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด (มหาชน)

3.7 ระบบการควบคุม VOCs จากการขนถ่าย

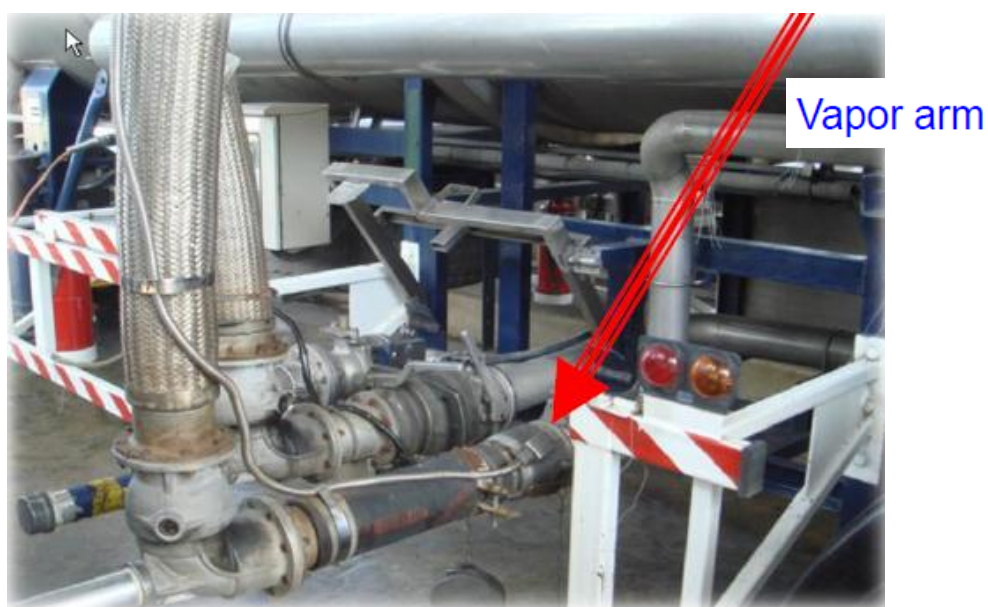
เทคนิคการควบคุม VOCs จากระบบขนถ่าย เช่น การขนถ่ายลงรถ รถไฟ และ เรือ มักเริ่มจากการเลือกวิธีการ ขนถ่ายที่จะทำให้เกิดการปั่นป่วนของของเหลวในระบบที่ต่ำลง เพื่อลดอัตราการรั่วระเหยขณะขนถ่าย เช่น ใช้เทคนิค การขนถ่ายแบบ bottom loading ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงการที่ปลายหัวจ่ายสารลงในภาชนะบรรจุจะอยู่ต่ำกว่าระดับ สารที่บรรจุเสมอ การสูบลำระบบนี้จะทำให้การรั่วระเหยลดลงเกินกว่า 50 % เมื่อเทียบกับการสูบลำแบบปลายหัว จ่ายสารอยู่เหนือระดับสารในถังหรือภาชนะบรรจุ รูปที่ 3-25 แสดงการสูบลำผลิตภัณฑ์ลงรถแบบ Bottom Loading

ในการสูบลำลงรถในรูปที่ 3-25 ยังมีเทคนิคในการควบคุม VOCs เพิ่มเติมโดยการวนไอน้ำ VOCs กลับเข้าสู่ ถังเก็บ ในลักษณะ Vapor Return Line โดย Loading Rack แต่ละชุดจะมี Vapor Return Arm เพื่อรวบรวมไอน้ำ 1 ชุด แทนที่ปริมาตร VOCs ที่สูบลำลงถังหรือภาชนะบรรจุ ตัวอย่างระบบ Vapor Return Line แสดงในรูปที่ 3-26



รูปที่ 3-25 การสูบน้ำแบบ Bottom loading

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3-26 การสูบน้ำแบบมี Vapor Return Line

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

3.8 ระบบการควบคุม VOCs จากระบบบำบัดน้ำเสีย

เนื่องจากระบบ VOCs ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย เช่นมี VOCs อยู่ในน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดหรือไม่ ถ้ามีแล้ว มีความเข้มข้นมากน้อยเพียงใด อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบและความปั่นป่วน (Turbulence) ที่เกิดขึ้นในระบบ (เช่น การกวน การเติมอากาศ) แต่อย่างไรก็ตามอัตราการระบายออก จะมีลักษณะเป็นอัตราการปล่อยออกต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้น การลดพื้นที่เปิดในระบบจะมีส่วนช่วยในการลดอัตราการระบายออกของ VOCs

3.8.1 การปิดคลุมระบบ

การปิดคลุมระบบถือว่าเป็นมาตรการหนึ่งในการลดการปล่อย VOCs จากระบบบำบัดน้ำเสียอย่างได้ผล รูปที่ 3-26 เป็นตัวอย่างการปรับปรุงบ่อรองรับน้ำเสียจากระบบเปิด ให้เป็นระบบปิด โดยวัสดุที่ใช้ปิดคลุมอาจเป็นวัสดุโดยทั่วไปที่ไม่ยุ่งยากต่อการจัดหา อาจเป็นผ้าใบหรือแผ่นพลาสติก อย่างไรก็ตาม การออกแบบจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยควบคู่ไปด้วยเนื่องจากการปิดคลุมจะทำให้ความเข้มข้นของ VOCs (ซึ่งมักเป็นสารไวไฟ) ที่อยู่ภายใต้วัสดุปิดคลุมมีความเข้มข้นสูงขึ้นจนอาจถึงระดับที่ติดไฟได้ ซึ่งทำให้มีความเสี่ยงต่ออัคคีภัยมากขึ้น รูปที่ 3-27 และ 3-30 เป็นการติดตั้งหลังคาคลุมบ่อพักน้ำเสีย บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อลดปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย พร้อมกับติดตั้งถังคาร์บอนเพื่อดูดซับไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหย



รูปที่ 3-27 การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: บริษัทฯ ในกลุ่มธุรกิจ บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด



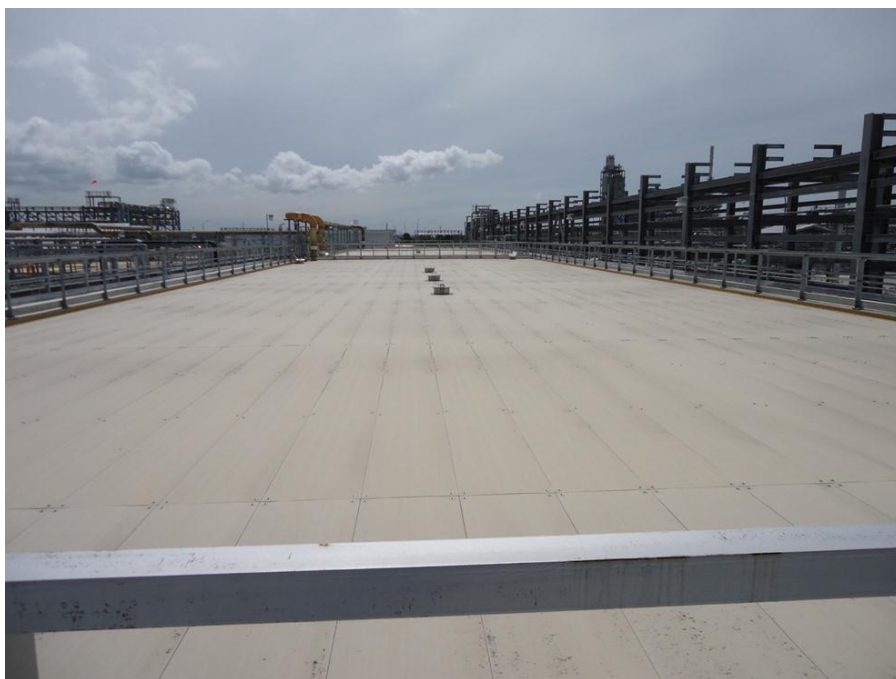
รูปที่ 3-28 การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3-29 การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 3-30 การปิดคลุมระบบบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: กลุ่มบริษัท ดาว ในประเทศไทย

3.8.2 การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำให้มีการระบาย VOCs น้อยลง

แนวความคิดนี้คือการพยายามลดแหล่งกำเนิดให้น้อยลง เช่น พยายามลดปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด หรือลดอัตราการไหลเข้าระบบบำบัด โดยการพิจารณาจากระบวนการผลิต การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้เป็นระบบปิด รวมถึงปรับปริมาณการใช้สารเคมีให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำเสีย ซึ่งจะทำให้มีอัตราการใช้สารเคมีที่ลดลง การใช้งานระบบบำบัดที่ลดลงทำให้ VOCs มีโอกาสระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยลง ตลอดจนการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สามารถกำจัดสาร VOC ได้

3.8.2.1 ระบบ Charcoal Adsorber และ Wet Scrubber

รูปที่ 3-31 คือตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ 2 ขั้นตอน ประกอบด้วยระบบ Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) และ ระบบ Activated Sludge (AS) มีการปรับปรุงระบบโดยมีการปิดคลุมบ่อบำบัดน้ำเสียและระบายไอเสียไปบำบัดที่ระบบบำบัดแบบดูดซับโดย Charcoal Adsorber และ Wet Scrubber ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ



รูปที่ 3-31 ตัวอย่างการใช้ระบบ Charcoal Adsorber และ Wet Scrubber

ที่มา: บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด



รูปที่ 3-32 ตัวอย่างการใช้ระบบ Activated Carbon Adsorber

ที่มา: กลุ่มบริษัท ดาว ในประเทศไทย

3.8.2.2 ระบบ Biotrickling Filter Tank

การใช้ระบบ Biotrickling Filter Tank เป็นการนำหลักการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มาประยุกต์ใช้ โดยต่อเข้ากับระบบบำบัดน้ำเสียโดยตรงแบบระบบปิด หรือให้มีการปิดคลุมระบบน้ำเสียเพื่อเก็บกัก VOCs ในรูปก๊าซที่เกิดขึ้น แล้วต่อมายังถังที่บรรจุจุลินทรีย์ ในตัวถังจะติดตั้งระบบ Humidifier เพื่อเพิ่มความชื้นของอากาศและลดความเป็นกรดของก๊าซที่อาจเกิดขึ้นเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และระบบ Bio filter ซึ่งมีจุลินทรีย์ชนิด Fix film ยึดเกาะอยู่บน Media ทำหน้าที่ย่อยสลาย VOCs ดังแสดงในรูปที่ 3-33



รูปที่ 3-33 ระบบ Biotrickling Filter Tank

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

3.9 วิธีการจัดการ VOCs ช่วง Plant Turnaround & Tank Inspection

วิธีการจัดการในช่วงหยุดซ่อมใหญ่ ควรเน้นการวางแผนการจัดการให้ช่วงการหยุดซ่อมให้การทำงานมีประสิทธิภาพและใช้เวลาอันน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งรายละเอียดของแผนงานจะต้องพิจารณาเป็นรายกรณี แต่โดยหลักการ ในการวางแผนควบคุมหรือลดการปล่อย VOCs เนื่องจากการรั่วระเหยจากระบบท่อหรือหน่วยผลิต ซึ่งปกติในขณะที่ยังดำเนินการผลิตจะเป็นระบบปิด จะต้องมีการเตรียมภาชนะเพื่อบรรจุ VOCs ที่ตกค้างอยู่ในระบบพร้อมกับเตรียมระบบควบคุมการปลดปล่อย VOCs จากภาชนะบรรจุดังกล่าว รูปที่ 3-34 เป็นตัวอย่างของการเตรียมภาชนะเพื่อบรรจุ VOCs ที่ตกค้างในระบบพร้อมระบบควบคุม



รูปที่ 3-34 ตัวอย่างการเตรียมภาชนะเพื่อบรรจุ VOCs ที่ตกค้างในระบบพร้อมระบบควบคุม
ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

รูปที่ 3-35 เป็นตัวอย่างการ Drain VOCs จากหอกลิ้นหรือจาก Vessel เข้ารถ Tank Car มีการใช้ Mobile Carbon Canister ต่อเข้ากับจุดระบายของรถ Tank Car เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสู่บรรยากาศระหว่างการ drain



รูปที่ 3-35 การ Drain VOCs จากหอกลิ้นหรือจาก Vessel เข้ารถ Tank Car
ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

รูปที่ 3-36 คือ ตัวอย่างการทำ De-contamination หรือลดการปนเปื้อน โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Spray เพื่อดูดซับสาร VOCs ที่อาจจะระคายออกมาตามข้อต่อของสาย Hose ที่ต่อเข้ากับ Vessel



รูปที่ 3-36 ตัวอย่างการทำ De-contamination โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Spray

ที่มา: บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

นอกจากแนวทางการจัดการเพื่อควบคุม VOCs ที่เกิดขึ้นขณะหยุดซ่อมใหญ่แล้ว หลักการจัดการที่ได้ผลดีอีกแนวทางหนึ่งคือ การพยายามขยายช่วงระยะเวลาระหว่างการหยุดซ่อมบำรุงแต่ละครั้งให้นานขึ้นเท่าที่เป็นไปได้ เช่น เปลี่ยนจากหยุดซ่อมบำรุงใหญ่ทุก 3 ปี เป็นทุก 5 ปี เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดการรั่วระเหยของ VOCs ที่เกิดขึ้นขณะหยุดซ่อม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. American Petroleum Institute. **Evaporative Loss form External Floating Roof Tanks**. Third Edition, Bulletin No. 2517, Washington, DC, 1989.
2. American Petroleum Institute. **Evaporative Loss form Fixed Roof Tanks**. Second Edition, Bulletin No. 2518, Washington, D.C., October 1991.
3. American Petroleum Institute. **Evaporation Loss form Internal Floating Roof Tanks**. Third Edition, Bulletin No. 2519, Washington, DC, 1982.
4. America Petroleum Institute. **Fugitive Hydrocarbon Emissions from Oil and Gas Production Operations**. API Publication No. 4589. 1993.
5. American Petroleum Institute. **Manual Of Petroleum Measurement Standards: Chapter 19: Evaporative Loss Measurement, Section 2, Evaporative Loss From Floating Roof Tanks**. Preliminary Draft, Washington, DC, December 1994.
6. California Air Resources Board. **Technical Guidance Document to the Criteria and Guidelines Regulation for AB-2588**. August 1989.
7. Chemical Manufacturer's Association (CMA). **Improving Air Quality: Guidance for Estimating Fugitive Emissions**. Second Edition. Washington, D.C. 1989.
8. David R. Patric. **Toxic Air Pollution Handbook**. Van Nostrand Reinhold, 1994.
9. EPA. **Equipment Leaks Enabling Document. Final Report. Internal Instruction Manual for ESD Regulation Development**. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards, Reasearch Triangle Park, North Carolina. July 1992.
10. EPA. **Fugitive Emission Sources of Organic Compounds — Additional Information on Emissions, Emission Reductions, and Costs**. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air Quality, Planning, and Standards, 450/3-82-010. Research Triangle Park, North Carolina. April 1982.
11. EPA. **Protocol for Equipment Leak Emission Estimates**. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards, 453/R-95-017. Research Triangle Park, North Carolina. November, 1995.
12. Epperson, D.L. U.S. Environmental Protection Agency, **Petroleum Industry Equipment Leaks: Revised Correlations, Default Zero Emission Factors, and Pegged Emission Factors Based on the 1993 Data from Refineries, Marketing Terminals, and Oil and Gas Production Operations**. Technical memorandum to D. Markwordt, Radian Corporation. January 27, 1995.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

13. Ferry, R.L. **Estimating Storage Tank Emissions--Changes Are Coming**. TGB Partnership, 1994. EPA. **Assessment of Atmospheric Emissions from Petroleum Refining: Volume 3, Appendix B**. U.S. Environmental Protection Agency. 600/2-80-075c. Research Triangle Park, North Carolina. April 1980.
14. Laverman, R.J. **Emission Reduction Options For Floating Roof Tanks**, Chicago Bridge and Iron Technical Services Company. Presented at the Second International Symposium on Aboveground Storage Tanks, Houston, TX, January 1992.
15. Taback, et al. **Analysis of Refinery Screening Data**. American Petroleum Institute (US-API), API Publication 310, 1997.
16. **Title 40: Protection of Environment Part 60-Standards of Performance for New Stationary Sources Subpart DDD—Standards of Performance for Volatile Organic Compound (VOC) Emissions from the Polymer Manufacturing Industry Source**: 55 FR 51035, Dec. 11, 1990, unless otherwise noted.
17. U.S. Code of Federal Regulations (CFR). **Title 40: Part 51.100(s)**, As of 3/31/2009.
18. U.S. Code of Federal Regulations, **Title 40, Part 60, Appendix A**. July 1, 1987. Reference Method 21, Determination of Volatile Organic Compound Leaks. Office of the Federal Register. Washington, D.C.
19. U. S. Environmental Protection Agency. **VOC Emissions From Volatile Organic Liquid Storage Tanks-Background Information For Proposed Standards**, EPA-450/3-81-003a. Research Triangle Park, NC, July 1984.
20. U.S. Environmental Protection Agency. **Air Emission Models for Waste and Wastewater**, EPA-453/R-94-080A, U.S. EPA Contract No. 68D10118. November 1994.
21. U. S. Environmental Protection Agency. **Benzene Emissions From Benzene Storage Tanks-Background Information For Proposed Standards**, EPA-450/3-80-034a. Research Triangle Park, NC, December 1980.
22. U. S. Environmental Protection Agency. **Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources**, AP-42, Fifth Edition, Office Of Air Quality Planning And Standards Office of Air And Radiation Research Triangle Park, NC 27711 January 1995.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

23. U.S. Environmental Protection Agency. **Handbook Control Technologies for Hazardous Air Pollutants**, EPN625/6-91/014, Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, Cincinnati, OH 45268, June 1991.
24. US.EPA. **Preferred and Alternative Method for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks**, 1996.
25. U.S. Environmental Protection Agency. **Protocol for Equipment Leak Emission Estimates**, 1995, EPA-453/R-95-017, Emission Standards Division, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina 27711, November 1996.
26. United States Environmental Protection Agency, **SI: 417 Controlling VOC Emissions from Leaking Process Equipment: Student Guidebook**, EPA 450/2-82-015, Air Pollution Training Institute, Environmental Research Center, Research Triangle Park, NC 27711, August 1982
27. US.EPA. **Survey of Control Technologies for Low Concentration Organic Vapor Gas Streams**, EPA-456/R-95-003, May 1995, p88.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ดัชนีคำค้น

ดัชนีคำค้น

ก		I	
การรั่วซึมของ VOCs	33	Internal Floating Roof Tanks	96
บ		L	
บัญชีสารอินทรีย์ระเหย	46	LDAR	75
ห		Q	
แหล่งกำเนิด VOCs	13	Quick Win	115
A		S	
Absorption	107	Stationary Source	100,129
Adsorption	104	Storage Tank	60
B		V	
Biofiltration	108	Vapor Balance	99
		VOCs	1
D		VRU	125
Domed External Floating Roof Tanks	96		
		W	
E		Walkthrough Survey Technique	115
Evaporative Loss from Tanks	87	Wastewater treatment	100
Emission from loading /unloading activities	98		
External Floating Roof Tanks	88		
F			
Fixed Roof Tank	87		
Flare	67		
Fugitive Source	75		

ภาคผนวก ข

กฎหมายในประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง

กับสารอินทรีย์ระเหย

ประกาศกรมควบคุมมลพิษ

เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง ทั้งสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) ในบรรยากาศโดยทั่วไป ที่เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) และสารที่มีได้เป็นสารก่อมะเร็ง (non-carcinogen) ซึ่งอาจมีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลา ๒๔ ชั่วโมง จนส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่สัมผัสโดยการหายใจเข้าสู่ร่างกาย แม้ว่าปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศดังกล่าว จะไม่เกินมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๓๐ (พ.ศ. ๒๕๕๐) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี

ดังนั้น กรมควบคุมมลพิษในฐานะหน่วยงานที่มีภารกิจเกี่ยวกับการกำกับ ดูแล อำนวยการ ประสานงาน ติดตาม และประเมินผลเกี่ยวกับการฟื้นฟู คุ้มครอง และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมงไว้ ดังต่อไปนี้

- (๑) อะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ต้องไม่เกิน ๘๖๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๒) อะครอลีน (Acrolein) ต้องไม่เกิน ๐.๕๕ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๓) อะคริโลไนไทร (Acrylonitrile) ต้องไม่เกิน ๑๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๔) เบนซีน (Benzene) ต้องไม่เกิน ๗.๖ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๕) เบนซิลคลอไรด์ (Benzyl Chloride) ต้องไม่เกิน ๑๒ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๖) ๑, ๓ - บิวทาไดอิน (1, 3 - Butadiene) ต้องไม่เกิน ๕.๓ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๗) โบรโมมีเทน (Bromomethane) ต้องไม่เกิน ๑๕๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๘) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ต้องไม่เกิน ๑๕๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (๙) กลอโรฟอร์ม (Chloroform) ต้องไม่เกิน ๕๗ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๐) ๑, ๒ - ไดโบรโมอีเทน (1, 2 - Dibromoethane) ต้องไม่เกิน ๓๓๐ ไมโครกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๑) ๑, ๔ - ไดคลอโรเบนซีน (1, 4 - Dichlorobenzene) ต้องไม่เกิน ๑,๑๐๐ ไมโครกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๒) ๑, ๒ - ไดคลอโรอีเทน (1, 2 - Dichloroethane) ต้องไม่เกิน ๔๘ ไมโครกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๓) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ต้องไม่เกิน ๒๑๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๔) ๑, ๒ - ไดคลอโรโพรเพน (1, 2 - Dichloropropane) ต้องไม่เกิน ๘๒ ไมโครกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๕) ๑, ๔ - ไดออกเซน (1, 4 - Dioxane) ต้องไม่เกิน ๘๖๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๖) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) ต้องไม่เกิน ๔๐๐ ไมโครกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๗) ๑, ๑, ๒, ๒ - เตตระคลอโรอีเทน (1, 1, 2, 2 - Tetrachloroethane) ต้องไม่เกิน
๘๓ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๘) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๑๓๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(๑๙) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) ต้องไม่เกิน ๒๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ข้อ ๒ หลักการ ขอบเขต และการคำนวณ วิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจวัด และเครื่องมือ
ตรวจวิเคราะห์ค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง
ปรากฏตามภาคผนวกท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๑๘ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๑

สุวัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา

อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ

ภาคผนวก

ท้าย

ประกาศกรมควบคุมมลพิษ

เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง

๑. หลักการ

การกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง โดยประยุกต์ใช้ค่า Permissible Exposure Limit (PEL) ของ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) มีขั้นตอนดังนี้

(๑) ปรับค่า PEL ซึ่งกำหนดภายใต้เงื่อนไขของค่าเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงานในสภาวะปกติ ๘ ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น ๕ วันต่อสัปดาห์ (รวมทั้งสิ้น ๔๐ ชั่วโมงต่อสัปดาห์) ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่ประชาชนทั่วไปจะได้รับสัมผัสตลอดระยะเวลาทั้งวัน (๒๔ ชั่วโมง) เป็นเวลาทั้งสิ้นตลอดสัปดาห์ (๗ วัน) หรือคิดเป็นเวลาทั้งสิ้น ๑๖๘ ชั่วโมง โดยการหารค่า PEL ด้วย ๔.๒ (ตัวเลขดังกล่าวได้จาก ๑๖๘/๔๐) ทั้งนี้ภายใต้สมมติฐานว่าประชาชนทั่วไป และคนงานมีอัตราการหายใจเท่ากัน

(๒) ปรับค่า PEL ซึ่งกำหนดภายใต้เงื่อนไขที่คนงานซึ่งเป็นกลุ่มของประชากรที่มีสุขภาพแข็งแรงได้รับสัมผัสในช่วงวัยที่เป็นผู้ใหญ่ หากแต่การกำหนดค่าเฉลี่ยในสิ่งแวดล้อมต้องคำนึงถึงประชากรทั่วไป และมีโอกาสได้รับสัมผัสตลอดชีวิต ไม่ใช่เพียงแค่วัยในช่วงวัยที่เป็นผู้ใหญ่ ที่ทำงานในโรงงานเท่านั้น ดังนั้นจึงหารค่า PEL ด้วย ๑๐ เพื่อเป็น safety factor ในประเด็นดังกล่าว ทั้งนี้ค่า safety factor ดังกล่าวใช้ภายใต้สมมติฐานว่ากลุ่มประชากรทั่วไปมีความเสี่ยงต่อสารมลพิษทางอากาศมากกว่ากลุ่มคนงาน ๑๐ เท่า

(๓) ปรับค่า PEL จากข้อเท็จจริงที่ว่ากลุ่มประชากรทั่วไปอาจมีระดับความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายแตกต่างกัน ดังนั้นจึงหารค่า PEL ด้วย ๑๐ เพื่อเป็น safety factor ในประเด็นดังกล่าว ทั้งนี้ค่า safety factor ดังกล่าวใช้ภายใต้สมมติฐานว่าประชากรกลุ่มอ่อนไหว (sensitive population) เช่น เด็ก คนชรา และคนป่วย จะมีความอ่อนไหว (sensitive) ต่อสารมลพิษทางอากาศมากกว่ากลุ่มประชากรทั่วไป ๑๐ เท่า

โดยสรุปการกำหนดค่าเฝ้าระวังของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง ดำเนินการโดยใช้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} &\text{ค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง} \\ &= \text{PEL ของแต่ละสาร} / (๔.๒ \times ๑๐ \times ๑๐) \end{aligned}$$

สำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่าย ๙ ชนิด ตามที่กำหนดไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๓๐ (พ.ศ. ๒๕๕๐) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี ให้ใช้หลักการประยุกต์ค่า PEL กำหนดค่าเฝ้าระวัง แยกเว้นกรณี chloroform, 1,2 - dichloroethane, 1,2 - dichloropropane และ trichloroethylene ให้เพิ่มค่า safety factor อีก ๑๐

ในการคำนวณค่าเฝ้าระวัง และให้กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับ vinyl chloride เท่ากับ ๒ เท่าของค่ามาตรฐานในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ปี

๒. ขอบเขต

สำหรับให้หน่วยงานของรัฐ และเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง ที่จะไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือภาวะที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้

อย่างไรก็ตาม ค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมง ไม่ใช่เป็นเส้นแบ่งระหว่างความเข้มข้นที่ปลอดภัย และความเข้มข้นที่เกิดอันตราย ไม่ใช่ข้อบ่งชี้ถึงความเป็นพิษ และให้ใช้ได้เฉพาะผู้ที่มีความเข้าใจเกี่ยวกับข้อจำกัด และผลกระทบมลพิษอากาศต่อสุขภาพ โดยควรมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดนั้น ๆ ในรายละเอียดต่อไป

๓. การคำนวณ วิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจวัด และเครื่องมือตรวจวิเคราะห์

๓.๑ การหาค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมงแต่ละชนิดให้นำผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศแบบต่อเนื่องตลอด ๒๔ ชั่วโมง มาคำนวณค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปแต่ละชนิด ตามข้อ ๑ โดยให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท และที่อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส

๓.๒ วิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจวัด และเครื่องมือตรวจวิเคราะห์หาค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๒๔ ชั่วโมงแต่ละชนิด ตามข้อ ๑ ให้นำหลักการ และเครื่องมืออย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้มาปรับใช้ เว้นแต่ประกาศนี้จะกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น

(๑) US EPA Compendium Method TO-14A "Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in ambient air using specially prepared canisters with subsequent analysis by Gas Chromatography (GC)" ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนด หรือ

(๒) US EPA Compendium Method TO-15 "Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in air collected in specially prepared canisters and analyzed by Gas Chromatography/Mass/Spectrometry (GC/MS)" ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนด หรือ

(๓) US EPA Compendium Method TO-11A "Determination of Formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Active sampling method)" ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาคำหนด หรือ

(๔) วิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจวัด และเครื่องมือตรวจวิเคราะห์อื่นที่กรมควบคุมมลพิษ ประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุม
การรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม
พ.ศ. ๒๕๕๕

สารอินทรีย์ระเหย เป็นสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน การรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ถือเป็นแหล่งระบายสารอินทรีย์สู่บรรยากาศทั่วไปที่สำคัญ จึงเป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุมการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๐ และข้อ ๑๖ แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุมการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้ เรียกว่า “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการปฏิบัติในการตรวจสอบและควบคุมการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๕๕”

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๓ ในประกาศนี้

“โรงงานอุตสาหกรรม” หมายถึง โรงงานลำดับที่ ๔๒ ลำดับที่ ๔๔ ลำดับที่ ๔๙ และลำดับที่ ๘๙ ตามบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ ที่มีหรือใช้สารอินทรีย์ระเหยในกระบวนการผลิต ตั้งแต่ ๓๖ ตันต่อปีขึ้นไป

“สารอินทรีย์ระเหย” หมายความว่า สารประกอบที่มีคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีความดันไอมากกว่า ๐.๑ มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส และความดัน ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท ยกเว้น มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ โลหะคาร์ไบด์ หรือคาร์บอนเนต แอมโมเนียมคาร์บอนเนต

“การรั่วซึม” หมายความว่า การแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ชนิดใดชนิดหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เกินกว่าเกณฑ์ควบคุมการรั่วซึม

“อุปกรณ์ที่ต้องตรวจวัดการรั่วซึม” หมายความว่า ปั๊ม (Pumps) เครื่องอัดอากาศ (Compressors) อุปกรณ์ที่ใช้กวาดหรือผสมของเหลว (Agitators หรือ Mixers) วาล์ว (Valves) ท่อส่งปลายเปิด (Open-Ended Lines) ข้อต่อหรือหน้าแปลน (Connectors หรือ Flanges) อุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Relief Devices) จุดเก็บตัวอย่างสารเคมี (Sampling Connections)

“สภาวะสูญญากาศ” หมายความว่า สภาวะที่ความดันภายในอุปกรณ์ มีค่าต่ำกว่าความดันของบรรยากาศภายนอก อย่างน้อย ๕ กิโลปาสกาล (๓๗.๕๐ มิลลิเมตรปรอท)

ข้อ ๔ เกณฑ์การควบคุมการรั่วซึมสารอินทรีย์ระเหยของอุปกรณ์

โรงงานอุตสาหกรรมต้องควบคุมการรั่วซึมของอุปกรณ์ มิให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยทั้งหมดเกินเกณฑ์ควบคุม หน่วยเป็นส่วนต่อล้านส่วนโดยปริมาตร (ppm_v) ดังนี้

ความเข้มข้นของไอสารอินทรีย์ทั้งหมด ส่วนต่อล้านส่วนโดยปริมาตร (ppm _v)				
	- เครื่องอัดอากาศ - ท่อส่งปลายเปิด - จุดเก็บตัวอย่าง สารเคมี - อุปกรณ์ลดความดัน สำหรับแก๊ส	- อุปกรณ์ลดความดัน สำหรับของเหลว - วาล์ว (แก๊ส/ของเหลว) - ข้อต่อหรือหน้าแปลน	ปั๊มสำหรับ ของเหลว	อุปกรณ์ที่ใช้กวนหรือ ผสมของเหลว
ระยะที่ ๑	๕๐๐	๑๐,๐๐๐	๑๐,๐๐๐	๑๐,๐๐๐
ระยะที่ ๒	๕๐๐	๕๐๐	๕,๐๐๐	๑๐,๐๐๐

ทั้งนี้ เกณฑ์การควบคุมการรั่วซึมสารอินทรีย์ระเหยของอุปกรณ์ ระยะที่ ๑ ให้ใช้บังคับเป็นเวลา ๒ ปี นับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา ส่วนเกณฑ์การควบคุมการรั่วซึมสารอินทรีย์ระเหยของอุปกรณ์ ระยะที่ ๒ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนด ๒ ปี นับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๕ อุปกรณ์ที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องตรวจวัดการรั่วซึม

(๑) อุปกรณ์ที่อยู่ในจุดหรือสถานที่ที่มีความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดอันตราย หมายถึงจุดที่อยู่ในสถานที่ที่อาจทำให้ผู้ที่เข้าทำการตรวจวัดได้รับอันตราย หรือสภาวะที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายหรือชีวิต เช่น ออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ ๑๙.๕ หรือเกิดการติดไฟ ระเบิด หรือจุดที่มีความดันสูงหรือความร้อนสูง เป็นต้น

(๒) อุปกรณ์ที่อยู่ในจุดที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ หมายถึงจุดที่อยู่ในสถานที่จำกัดซึ่งไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อการทำงานอย่างต่อเนื่องและยากต่อการเข้าไปทำการตรวจวัดได้ เช่นอุปกรณ์ที่อยู่ในจุดที่มีความสูงเกิน ๒ เมตรขึ้นไปจากระดับพื้นที่ปฏิบัติงานปกติ ข้อต่อและหน้าแปลนที่ถูกฝังใต้พื้นดินหรือถูกกีดขวางจนเครื่องมือตรวจวัดเข้าไปไม่ถึง

(๓) ข้อต่อหรือหน้าแปลน (Connectors หรือ Flanges) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Nominal Internal Diameter) น้อยกว่า ๒ นิ้ว และวาล์วที่อยู่บนข้อต่อหรือหน้าแปลนดังกล่าว

(๔) ปั๊ม (Pumps) เครื่องอัดอากาศ (Compressors) และอุปกรณ์ที่ใช้กวนของเหลว (Agitators) ที่มีกันซึม (Seal) สองชั้น (Dual mechanical seal) โดยมีระบบไหลเวียนของของเหลวกัน (Barrier fluid) ซึ่งจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิต (Process Stream) โดยไม่มีการระบายสารอินทรีย์ระเหยออกสู่บรรยากาศ และมีอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) การรั่วของกันซึมและของเหลวกัน

(๕) ปั๊มชนิดที่ไม่มีกันซึมที่เพลลา (Seal-less Pumps) เป็นปั๊มชนิดที่ไม่มีการระบายสารอินทรีย์ระเหยออกสู่บรรยากาศ

(๖) อุปกรณ์ที่ภายในไม่ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์ระเหยใด ๆ เช่น หน่วยกำจัดกำมะถัน

(๗) อุปกรณ์ที่อยู่ในสถานะสุญญากาศ (Vacuum service)

(๘) ระบบสาธารณูปการ (Utility unit) ได้แก่ ระบบผลิตน้ำใช้ในโรงงาน ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบผลิตไอน้ำ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบน้ำดับเพลิง ระบบไนโตรเจน ระบบไฮโดรเจน เป็นต้น ที่ไม่มีการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย

ข้อ ๖ วิธีตรวจวัด

การตรวจวัดการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรมให้ใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจวัดโดยเครื่องตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยแบบพกพา โดยคุณลักษณะของเครื่องมือและวิธีปฏิบัติให้เป็นไปตามวิธีการตรวจวัดที่ ๒๑ (Method 21 : Determination Of Volatile Organic Compound Leaks) ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด

(๒) การตรวจวัดโดยกล้องที่ใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยแสงอินฟราเรดหรือเทคนิคอื่น ๆ ที่มีความสามารถแสดงภาพสารอินทรีย์ระเหยที่มองไม่เห็นด้วยสายตามนุษย์ได้ โดยคุณลักษณะของกล้องต้องสามารถตรวจวัดตามเกณฑ์การควบคุมการรั่วซึมที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดในข้อ ๔ และวิธีปฏิบัติในการใช้กล้องให้เป็นตามข้อกำหนดในแนวทางเลือกสำหรับปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบการรั่วซึมของอุปกรณ์ (Alternative Work Practice To Detect Leaks From Equipment) ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาคำหนด

(๓) การตรวจวัดโดยวิธีอื่นที่เทียบเท่าและกรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ

ข้อ ๗ ความถี่ในการตรวจวัด

ทำการตรวจวัดข้อต่อหรือหน้าแปลน วาล์วแก๊ส วาล์วของเหลว ท่อส่งปลายเปิด ปั๊มสำหรับของเหลว เครื่องอัดอากาศ อุปกรณ์ลดความดันสำหรับแก๊ส อุปกรณ์ลดความดันสำหรับของเหลว จุดเก็บตัวอย่างสารเคมี อุปกรณ์ที่ใช้กวนหรือผสมของเหลว ปีละ ๑ ครั้ง

ข้อ ๘ การซ่อมบำรุงและซ่อมแซมอุปกรณ์ที่มีการรั่วซึม

(๑) หากผลการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์เกินจากเกณฑ์ควบคุมการรั่วซึมสารอินทรีย์ระเหยของอุปกรณ์ที่กำหนด ให้ทำการปรับเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ตัวที่ไม่มีการรั่วซึมหรือซ่อมแซมอุปกรณ์ให้เสร็จ ภายใน ๑๕ วันนับถัดจากวันที่ตรวจพบ เมื่อดำเนินการแก้ไขเสร็จแล้วให้ตรวจวัดซ้ำและผลการตรวจวัดซ้ำต้องไม่เกินจากเกณฑ์ที่กำหนด

(๒) อุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Relief Devices) ให้ซ่อมแซมให้เสร็จภายใน ๒๔ ชั่วโมงหรือให้ต่อเข้ากับระบบบำบัดมลพิษ

(๓) หากไม่สามารถซ่อมแซมตามที่กำหนดไว้ใน (๑) หรือ (๒) ให้กำหนดมาตรการเพื่อป้องกันหรือลดการรั่วซึม โดยระบุเหตุผลและระยะเวลาที่สามารถซ่อมแซมได้ให้ชัดเจน แล้วรายงานต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่กำกับดูแล ภายใน ๓๐ วัน นับจากการตรวจพบจุดรั่วซึมแต่ละจุด

ข้อ ๙ การรายงานผลการตรวจวัดและการซ่อมแซมอุปกรณ์

โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องทำการตรวจวัดการระบายสารอินทรีย์ระเหย ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(๑) ต้องจัดทำบัญชีรายชื่ออุปกรณ์พร้อมผลการตรวจวัดและการซ่อมแซมให้เป็นปัจจุบัน โดยรวบรวมจัดทำสรุปตามแบบรายงานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แล้วจัดส่งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่กำกับดูแลทุก ๖ เดือน ทั้งนี้ให้จัดส่งรายงานครั้งแรกภายใน ๖ เดือนถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๒) การจัดทำรายงานต้องมีผู้จัดการสิ่งแวดล้อมหรือผู้ได้รับอนุญาตประกอบกิจการโรงงานลงนามรับรองด้วยทุกครั้ง และให้เก็บต้นฉบับไว้ที่โรงงานพร้อมให้พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ตลอดเวลา

ประกาศ ณ วันที่ ๓ เมษายน พ.ศ. ๒๕๕๕

หม่อมราชวงศ์พงษ์สวัสดิ์ สวัสดิวัตน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

