



การสร้างอุปกรณ์ลดสารปนเปื้อนประเภทก๊าซไอระเหยจากสารเคลือบผิว
ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมบริการพื้นที่ขนาดเล็ก
จังหวัดนครปฐม



สกลภัทร เหมือนจันทร์เชย

อภินันทนาการ
ห้องสมุดคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2543

ISBN 974-663-717-7

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล Mahidol University

วิทยานิพนธ์

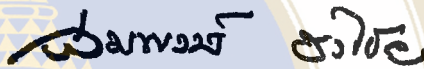
เรื่อง

การสร้างอุปกรณ์ลดสารปนเปื้อนประเภทก๊าซไฮระเหยจากสารเคลือบผิวใน
อุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมบริการพื้นสีขนาดเล็กจังหวัดนครปฐม



นายสกลภัทร เหมือนจันทร์ไชย

ผู้วิจัย



อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



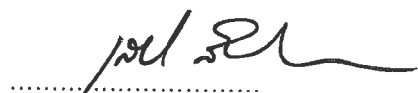
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม กุลประดิษฐ์, วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



อาจารย์วชิณี อารีรอบ, ศศ.ม.

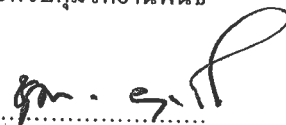
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์, Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย



อาจารย์ชุมพร ยูวรี, วท.ม.

ประธานกรรมการประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

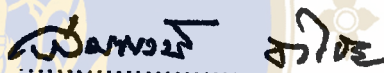
เรื่อง

การสร้างอุปกรณ์ลดสารปนเปื้อนประเภทก๊าซไอระเหยจากสารเคลือบผิวใน
อุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมบริการขนส่งขนาดเล็กจังหวัดนครปฐม
ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543

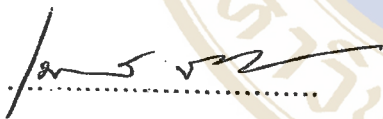


นายสกลภัทร เหมือนจันทร์เชย
ผู้วิจัย



อาจารย์สมพงษ์ ชงไชย , วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



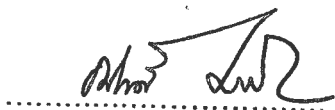
อาจารย์เบญจกรณ์ ประภักดิ์, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม กุลประดิษฐ์, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



อาจารย์วชิณี อารีรอบ , ศศ.ม.

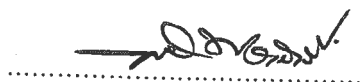
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์, Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล



รองศาสตราจารย์อนุชาติ พวงสำลี, Ph.D.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไป ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำอันมีค่าจาก อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์เกษม กุลประดิษฐ์ กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์แก้ว (วจิณี) อารีรอบ กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และเพื่อน ๆ ร่วมรุ่น AT 10 ทุกคน

ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณ คุณวิภา รุ่งรุจิรัตน์ รวมถึงคุณวันเพ็ญ กาบทอง และ คุณจันทิมา คุ่มทอง ที่ให้คำแนะนำเป็นกำลังใจ ขอขอบคุณอยู่ประจิดยนต์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ การใช้อุปกรณ์การฟั่นสารเคลือบผิว ขอขอบคุณท่านอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ที่เป็นส่วนหนึ่งที่จะผลักดันทางด้านการศึกษาและให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ด้วยดีมาตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อบุญส่ง , คุณแม่บุญศรี และครอบครัวเหมือนจันท์เชย ที่ให้ความรักความอบอุ่น ให้การสนับสนุนทางการศึกษา ทั้งทุนทรัพย์และกำลังใจ และอดทนรอคอยความสำเร็จในครั้งนี้ด้วย

สิ่งที่สำคัญยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณดวงวิญญาณของคุณปู่ผิน (พ่อ) และคุณย่ามาก (แม่) เหมือนจันท์เชย ที่ดูแลเลี้ยงดูผู้ทำวิจัยตั้งแต่เด็กจนโตและมีความสำเร็จในครั้งนี้ได้

สกลภัทร เหมือนจันท์เชย



3836260 ENAT / M : สาขาวิชาเอก : เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

: วท.ม. (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

คำสำคัญ : การสันดาป / อุปกรณ์ลดสารปนเปื้อนในอากาศ / สารปนเปื้อน

สกลภัทร เหมือนจันทร์เชย : การสร้างอุปกรณ์ลดสารปนเปื้อนประเภทก๊าซไอระเหย
จากสารเคลือบผิวในอุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมบริการพ่นสีขนาดเล็ก,
จังหวัดนครปฐม (INVENTORY EQUIPMENT FOR REDUCING SURFACE COATED FUME
USED IN SMALL SCALE SURFACE INDUSTRY, NAKHONPATHOM PROVINCE)

อาจารย์ที่ปรึกษา : สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม., เกษม กุลประดิษฐ์, วท.ม., วจิณี อารีรอบ, ศศ. ม.

151 หน้า ISBN 974-663-717-7

ก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่สูดดมเข้าไป โดยเฉพาะผู้ที่ทำงานอยู่ในแหล่งกำเนิดก๊าซไอระเหย การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของก๊าซ ไอระเหยของสารเคลือบผิวเพื่อนำมาออกแบบสร้างอุปกรณ์ลดก๊าซไอระเหย ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม เป็นแนวทาง การเลือกเทคโนโลยีเพื่อนำมาใช้กับสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสม การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างในการทดลองทั้งหมด 70 ตัวอย่าง ใช้ค่าฐานนิยม ร้อยละ และ โคสแควร์ทดสอบ เพื่อหารูปทรงที่เหมาะสมของอุปกรณ์ การกำจัดสารปนเปื้อนในอากาศของอุปกรณ์และ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มาจากผลของลักษณะการพ่นที่เป็นการสร้างสารปนเปื้อน

ผลการวิจัยพบว่าสารปนเปื้อนหลังจากการผ่านอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น มีค่าตรงตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) โดยเปิดอุปกรณ์ให้ทำงานอยู่ในช่วงอุณหภูมิ $166^{\circ}\text{C} - 255^{\circ}\text{C}$ ตลอดเวลาการพ่นการเคลือบผิว ก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวที่ลดลงโดยการพ่นด้วยเครื่องพ่นที่ความดัน 4.5, 5.5 และ 6.5 kg/cm^2 มีค่า 77, 73 และ 68 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อนำสเปรย์กระป๋องมาทดสอบโดยทำการพ่น 4 ลักษณะ ก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวลดลงอยู่ในช่วง 55 – 63 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 59 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบทางสถิติถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ผลการสันดาปไม่ขึ้นกับลักษณะการพ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



3836260 ENAT/M : MAJOR : APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR NATURAL RESOURCE DEVELOPMENT : M.Sc. (APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR NATURAL RESOURCE DEVELOPMENT)

KEY WORDS : COMBUSTION / EQUIPMENT FOR REDUCING SURFACE COATED FUME / CONTAMINATE

SAKONLAPUD MHEUANCHANCHERY : INVENTORY EQUIPMENT FOR REDUCING SURFACE COATED FUME USED IN SMALL SCALE SURFACE INDUSTRY, NAKHONPATHOM PROVINCE. THESIS ADVISER : SOMPONG THONGCHAI M.Sc., KASEM KULPRADIT M.Sc., VAJINEE AREEROB M.A., 151 P. ISBN 974-663-717-7

Surface coating fume is hazardous to inhalers' health, especially those working near the surfaces of the fumes. The study of chemical and physical qualifications of surface coating fumes aims to design and devise a fume reducing device which meets the standard criteria established by the Ministry of Industry and which can be an alternative guideline of technology properly applicable to deal with the environment. The procedure used in this study is experimental research in laboratory. The experimental sample consisted of 70 varieties of fumes. The data obtained were tested by Mode, Percentage and Chi square. The effectiveness of the two devices concerned the proper shapes of the device, the elimination of contaminated substances in the air by the device, and the effectiveness of the device in dealing with contaminate substances which were sprayed in the air.

The findings indicate that the contaminations having passed through the invented device resulted in the exact standardized amount delimited in the sixth article of the Proclamation of the Ministry of Industry (1997). The device was left open to function at a temperature between 166°C – 255°C during the process of surface coating spraying. The surface coating fume being reduced by the operation of the spraying machine under the pressure by 4.5, 5.5 and 6.5 kg/cm^2 accounts for 77%, 73% and 6.8% respectively. When the can spray is treated in four different patterns, the surface coating fumes will be reduced by between 55 – 63% or by an average of 59%. When the device is statistically tested for its effectiveness, the combustion output is not affected by the different spraying treatments at the significant reliability level of 0.05.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา	4
1.3 แนวคิดในการวิจัย	7
1.4 วัตถุประสงค์การวิจัย	9
1.5 สมมติฐานการวิจัย	9
1.6 ขอบเขตการวิจัย	9
1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	9
1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	11
1.9 สถานที่ทำการทดลอง	11
2 บททบทวนวรรณกรรม	12
2.1 อินทรีย์เคมีทางอุตสาหกรรม (Industrial organic chemistry)	12
2.2 แหล่งกำเนิดมลสารในอากาศ	13
2.3 ของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste)	14
2.4 การเข้าสู่ร่างกายของสารเคมีโดยทั่วไป	21
2.5 อิทธิพลของมลภาวะทางอากาศต่อร่างกายมนุษย์	23
2.6 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว	24
2.7 องค์ประกอบของสารเคลือบผิว	25
2.8 วิธีการเคลือบ (Application Techniques)	29
2.9 การแห้งของสารเคลือบผิว	31
2.10 ระบบกำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคมี	33

สารบัญ(ต่อ)	หน้า
2.11 พลวัตศาสตร์ของอนุภาคและการแพร่กระจายของสารเคมี	36
2.12 แรงต้านทานการรวมตัวและกลไกเชิงเฉื่อยของของไหล	38
2.13 การรวมตัว	40
2.14 กลไกเชิงเฉื่อย	41
2.15 คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงเคมีของอนุภาคในอากาศ	42
2.16 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างจากปล่อง	46
2.17 หลักการของแก๊สโครมาโตกราฟี	48
3 ระเบียบวิธีและการดำเนินการวิจัย	54
3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารเคลือบผิว	54
3.2 การสำรวจเบื้องต้นเพื่อออกแบบอุปกรณ์กำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว	54
3.3 กำหนดกรอบวิธีการสร้างสารปนเปื้อน	59
3.4 การสร้างสารปนเปื้อนสำหรับการทดลอง	61
3.5 วิธีการทดลองอุปกรณ์	62
3.6 การวิเคราะห์และประมวลผลการวิจัย	62
3.7 ขั้นตอนการสรุปผลและข้อมูลเสนอแนะในการวิจัย	63
4 ผลการทดลอง	64
4.1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว	64
4.2 ผลขั้นการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบในการสันดาป สารปนเปื้อนของสารเคลือบผิวในลักษณะการแสดงโครงสร้าง	64
4.3 ผลข้อมูลการทดลองตัวแปรต่าง ๆ ของ contaminate	68
4.4 แสดงผลการทดสอบ Sample ด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography ; GC	96
4.5 ผลการทดสอบ X^2 (Chi – Square test)	105
5 วิจัยผลการวิจัย	106
5.1 คุณสมบัติของสารปนเปื้อนที่ออกมาหลังจากการสันดาป	106
5.2 การหารูปแบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์ที่ทำการสร้าง	106
5.3 วิจัยผลการวิจัยการทดลองนำอุปกรณ์ไปใช้งาน	106
5.4 วิจัยผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่อง GC ตรวจสอบผล	107

สารบัญ(ต่อ)	หน้า
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	108
6.1 สรุปผลการวิจัย	108
6.2 ข้อเสนอแนะ	109
เอกสารอ้างอิง	111
ภาคผนวก	115
ประวัติผู้วิจัย	152



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 ปริมาณของเสียอันตรายแยกตามประเภทและปี	2
ตารางที่ 1-2 ปริมาณการนำเข้า การผลิต และการใช้สารเคมี และ/หรือเคมีภัณฑ์ ตั้งแต่ ปี 2531 – 2539	3
ตารางที่ 1-3 จำนวนรถที่ต้องการซ่อมเคลือบสีผิวในอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เสียหาย	4
ตารางที่ 1-4 สถิติผู้ได้รับพิษจากสารเคมีในการทำงานที่เข้ารับการรักษานในโรงพยาบาล ปี 2531 – 2539	5
ตารางที่ 2-1 รูปร่างของอนุภาคฝุ่นที่ปลิวลอยในอากาศ	16
ตารางที่ 2-2 แสดงชนิดของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่ออวัยวะของร่างกายโดยตรง	22
ตารางที่ 2-3 ตัวอย่าง อัตราการระเหยและจุดเดือดของตัวทำละลาย	32
ตารางที่ 2-4 รากกำลังสองของค่าเฉลี่ยของปริมาณกระจัดเชิงบราวเนียนยกกำลังสอง (root-mean-square Brownian displacement) (Δx^2) ^{1/2} ภายในเวลา 1 วินาที ความเร็วปั่นป่วน และเวลาผ่อนคลาย (relaxation time) ในกรณีของ ลูกทรงกลมความหนาแน่น 1g/cm ³ ในอากาศที่ 760 mm Hg และ 20° C	38
ตารางที่ 2-5 ปริมาณของสารที่บรรจุในคอลัมน์อย่างคร่าว ๆ (g/ft)	51
ตารางที่ 3-1 จำนวนพัลลมดุดอากาศในสถานประกอบการพ่นสารเคลือบผิวแบ่งตามขนาดของ เส้นผ่านศูนย์กลาง	55
ตารางที่ 3-2 จำนวนท่อระบายอากาศในสถานประกอบการพ่นสารเคลือบผิวแบ่งตามลักษณะ รูปทรง	57
ตารางที่ 3-3 แสดงกลุ่ม สารปนเปื้อนที่ใช้ในการวิจัยด้วยอุปกรณ์ดันแบบ	60
ตารางที่ 3-4 แสดงกลุ่มตัวอย่างของ สารปนเปื้อนจากเครื่องพ่นสารเคลือบผิวโดยใช้ ความดันควบคุม ณ ระดับต่าง ๆ	60
ตารางที่ 4-1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและเปอร์เซ็นต์การใช้งานของพัลลมดุดอากาศ ที่ใช้ในแหล่งงานปัจจุบัน	65
ตารางที่ 4-2 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้ ลมอัด ณ. ความดัน 4.5 kg/cm ²	68
ตารางที่ 4-3 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบ ใช้ลมอัด ณ. ความดัน 5.5 kg/cm ²	70

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-4 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้ ลมอัด ณ. ความดัน 6.5 kg/cm^2	72
ตารางที่ 4-5 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ	74
ตารางที่ 4-6 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง	76
ตารางที่ 4-7 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ	78
ตารางที่ 4-8 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง	80
ตารางที่ 4-9 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying ณ. ความดัน 4.5 kg/cm^2 หลังผ่านอุปกรณ์	83
ตารางที่ 4-10 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying ณ. ความดัน 5.5 kg/cm^2 หลังผ่านอุปกรณ์	85
ตารางที่ 4-11 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของ สารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying ณ. ความดัน 6.5 kg/cm^2 หลังผ่านอุปกรณ์	87
ตารางที่ 4-12 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray แบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำหลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166°C	89
ตารางที่ 4-13 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray แบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255°C	89
ตารางที่ 4-14 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166°C	90
ตารางที่ 4-15 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255°C	90
ตารางที่ 4-16 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนชนิด Spray แบบ ไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166°C	91
ตารางที่ 4-17 แสดงความเข้มข้นและปริมาณของสารปนเปื้อนชนิด Spray แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255°C	91

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-18 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray	
แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166 °C	92
ตารางที่ 4-19 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray	
แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255 °C	92
ตารางที่ 4-20 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample ที่ฉีดด้วย	
Air Sparying ที่ความดัน 4.5 kg/cm ² ก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์	96
ตารางที่ 4-21 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample ที่ฉีดด้วย	
Air Sparying ที่ความดัน 5.5 kg/cm ² ก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์	97
ตารางที่ 4-22 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample ที่ฉีดด้วย	
Air Sparying ที่ความดัน 6.5 kg/cm ² ก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์	98
ตารางที่ 4-23 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample	
ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำก่อนและหลัง	
ผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 66 , 255 °C ตามลำดับ	99
ตารางที่ 4-24 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample	
ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูงก่อนและหลัง	
ผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 166 , 255 °C ตามลำดับ	99
ตารางที่ 4-25 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample	
ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูงก่อนและหลัง	
ผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 166 , 255 °C ตามลำดับ	100
ตารางที่ 4-26 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample	
ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำก่อนและหลัง	
ผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 166 , 255 °C ตามลำดับ	100
ตารางที่ 4-27 ตารางแสดงผลต่างความสูงของ peak ที่ได้จากการฉีดด้วย Air Sparying	
ณ.ความดัน 4.5 , 5.5 และ 6.5 kg/Cm ² และ Spraying ชนิดกระป๋องก่อนและ	
หลังผ่านอุปกรณ์	101
ตารางที่ 4-28 ตารางแสดงผลความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Sparying ณ.	
ความดันควบคุมและจาก Spraying ชนิดกระป๋องกับ ผลต่างของความสูง	
ของ peak ที่ตรวจสอบได้จากเครื่อง GC	102

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 ปริมาณการนำเข้า การผลิต และการใช้สารเคมีและ/หรือเคมีภัณฑ์ ตั้งแต่ ปี พ.ศ2531 - 2539	3
รูปที่ 1-2 สถิติการแจ้งประสบอันตราย หรือเจ็บป่วยจากการสัมผัสสารเคมีในการทำงาน ตั้งแต่ปี 2535 – 2539	5
รูปที่ 1-3 กรอบแนวคิดงานวิจัย	8
รูปที่ 2-1 แสดงการเกิดมลสารในอากาศ	13
รูปที่ 2-2 แผนภูมิแสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย	15
รูปที่ 2-3 อนุภาคในบรรยากาศซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ภาพฉาย กับเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล เป็น 8:1	15
รูปที่ 2-4 กระดาษกราฟสำหรับความน่าจะเป็นเชิงลอการิทึม (logarithm probability)	18
รูปที่ 2-5 ตัวอย่างของฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติเชิงล็อก (log-normal distribution function) บนกระดาษกราฟธรรมดา สำหรับกรณี $M_g = 1.0$ และ $\sigma_g = 2.0$	19
รูปที่ 2-6 คุณสมบัติบางอย่างของแอโรโซลที่สัมพันธ์กับขนาดของอนุภาค	20
รูปที่ 2-7 โครงสร้างของระบบหายใจ และความสัมพันธ์กับโรกระบบหายใจ	24
รูปที่ 2-8 ปีนพ่นระบบใช้ลมอัด	30
รูปที่ 2-9 เครื่องพ่นแบบไม่ใช้ลม	30
รูปที่ 2-10 เครื่องพ่นด้วยกำลังไฟฟ้าสถิต	31
รูปที่ 2-11 Hood	34
รูปที่ 2-12 Hood ระบบไร้ท่อ	36
รูปที่ 2-13 รูปการแพร่ในสภาวะอากาศแปรปรวน	37
รูปที่ 2-14 รวบรวมชื่อเรียกของแอโรโซลธรรมชาติ และ ความสำคัญของขนาดอนุภาค ต่อปรากฏการณ์ในบรรยากาศและต่อการเกาะติดที่ส่วนบน และ ส่วนล่างของระบบ ทางเดินหายใจหลังสูดเข้าโดยมนุษย์	43
รูปที่ 2-15 กระบวนการเก็บตัวอย่างก๊าซ แบบอินทิเกรต	45
รูปที่ 2-16 ชิ้นส่วนของระบบเก็บตัวอย่าง	46
รูปที่ 2-17 ชุดส่วนประกอบของหัวเก็บตัวอย่าง หัวเหย้าสั้น และ เครื่องเก็บรวบรวม	47
รูปที่ 2-18 อุปกรณ์สำหรับการทำ Gas Chromatography	49

สารบัญภาพ(ต่อ)	หน้า
รูปที่ 2-19 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของตัวทำละลายในกลุ่มของแอลกอฮอล์	53
รูปที่ 2-20 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของตัวทำละลายในกลุ่มของทินเนอร์	53
รูปที่ 3-1 รูปหน้าตัดของท่อ	54
รูปที่ 3-2 กรอบวิธีการสร้างสารปนเปื้อนของสารเคลือบผิวเพื่อใช้ในการวิจัย	59
รูปที่ 3-3 การติดตั้งอุปกรณ์	62
รูปที่ 4-1 กราฟแสดงการใช้งานของเครื่องดูดอากาศจำแนกตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	65
รูปที่ 4-2 กราฟแสดงการใช้งานของท่อระบายอากาศ กำหนดตามรูปทรงออกมาในลักษณะของเปอร์เซ็นต์การใช้งาน	66
รูปที่ 4-3 รูปแสดงลักษณะเครื่องสั่นดาปก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวด้านแบบ	67
รูปที่ 4-4 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้ ลบอัด ณ. ความดัน 4.5 kg/cm ²	69
รูปที่ 4-5 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้ ลบอัด ณ. ความดัน 5.5 kg/cm ²	71
รูปที่ 4-6 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้ ลบอัด ณ. ความดัน 6.5 kg/cm ²	73
รูปที่ 4-7 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ	75
รูปที่ 4-8 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง	77
รูปที่ 4-9 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ	79
รูปที่ 4-10 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋อง แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง	81
รูปที่ 4-11 กราฟความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ณ. ความดันต่างกันเมื่อพ่นด้วย Air spraying	82
รูปที่ 4-12 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying ณ. ความดัน 4.5 kg/cm ² หลังผ่านอุปกรณ์	84
รูปที่ 4-13 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying ณ. ความดัน 5.5 kg/cm ² หลังผ่านอุปกรณ์	86

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-14 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของ สารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying

ณ. ความดัน 6.5 kg/cm² หลังผ่านอุปกรณ์

88

รูปที่ 4-15 กราฟความเข้มข้นของ สารปนเปื้อน ณ. ความดันควบคุม เมื่อผ่านอุปกรณ์

เรียบร้อยแล้ว

93

รูปที่ 4-16 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ณ. ความดันควบคุมก่อน

และหลังผ่านอุปกรณ์ของสารเคลือบผิว

94

รูปที่ 4-17 กราฟความเข้มข้นของ สารปนเปื้อน ณ. ความดันควบคุมก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์

ของสารเคลือบผิว (สารปนเปื้อน ที่ถูกกำจัดได้)

95



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

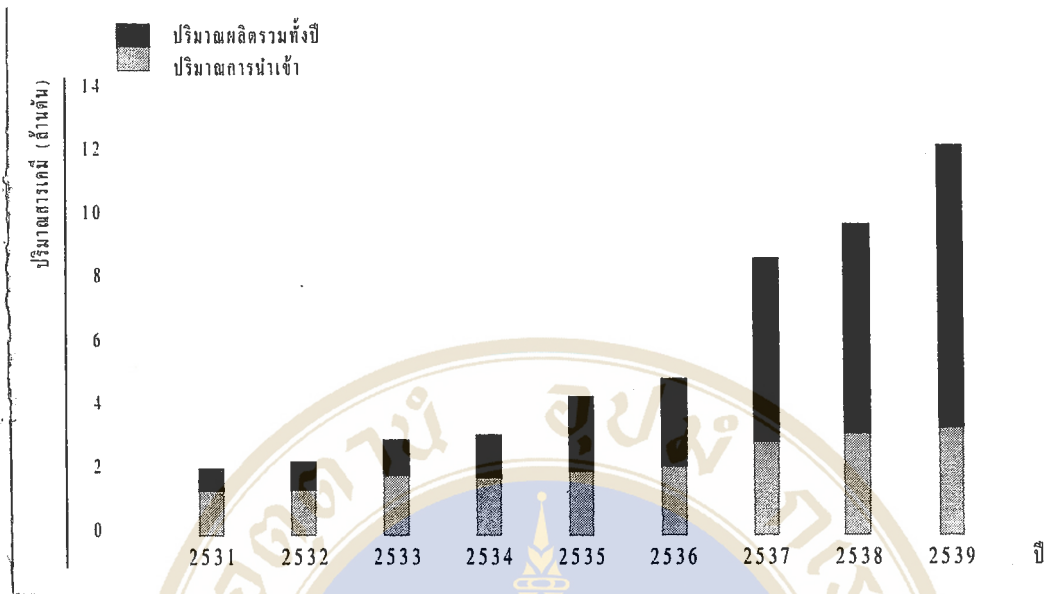
ปัญหาสิ่งแวดล้อม นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญที่รัฐบาลของประเทศต่างๆทั่วโลกให้ความสนใจ และพยายามรณรงค์หาทางป้องกันรักษา เพื่อให้ระบบนิเวศน์วิทยา (ecology) อยู่ในสถานะที่เป็นสมดุลธรรมชาติ(balance of nature) ปัญหาที่สำคัญแบ่งได้เป็น 2 ประการใหญ่ๆ ประการแรกคือ ปัญหาความร่อยหรอของทรัพยากรธรรมชาติ(resource depletion) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มจำนวนประชากรทำให้ทรัพยากรธรรมชาติอันได้แก่ ป่าไม้ น้ำ พลังงานอยู่ในภาวะขาดแคลน ประการที่สอง คือปัญหามลพิษ(pollution) เกิดจากของเสียต่างๆ(pollutant) ที่ระบายออกจากที่อยู่อาศัยของมนุษย์ และโรงงานอุตสาหกรรมในรูปของน้ำเสีย อากาศเสีย ขยะมูลฝอย สารพิษ เสียงดัง และความร้อน ปัญหามลพิษเป็นที่ยอมรับว่าเป็นปัญหาสำคัญของโลกเมื่อราว 30 ปีมาแล้ว (1)เริ่มจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมในประเทศที่พัฒนาแล้ว แต่ไม่มีกฎหมายควบคุมป้องกัน จึงเป็นเหตุให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากการระบายของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ต่อมาจึงได้เกิดกฎหมายควบคุมมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมขึ้น สำหรับประเทศไทยตั้งแต่มีการพัฒนาจากประเทศเกษตรกรรมมาเป็นประเทศเกษตรอุตสาหกรรม ปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและปัญหามลพิษนับว่าทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามรัฐบาลได้ให้ความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศ โดยมีการตราพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมเมื่อปี พ.ศ. 2518 ถือเป็นกฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมเป็นฉบับแรก(2)ต่อมาได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมและมีการประกาศใช้ฉบับล่าสุด เมื่อวันที่ 4 มิถุนายน พ.ศ. 2535 นอกจากนี้กรมโรงงานอุตสาหกรรมมีการตราพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม และ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่ว่าด้วยเรื่องการจัดของเสียอันตราย

ตารางที่ 1-1 ปริมาณของเสียอันตรายแยกตามประเภทและปี

ประเภทของเสียอันตราย	ปริมาณของเสียอันตราย (ตัน/ปี)		
	2534	2539	2544
น้ำมัน (Oil)	188,254	332,779	589,508
กากสารอินทรีย์เหลว	311	522	876
ตะกอนและของแข็งสารอินทรีย์	6,674	11,951	21,533
ตะกอนและของแข็งสารอนินทรีย์	19,163	31,850	53,696
ของเสียเป็นกรด (Acid)	36,163	66,532	124,306
ของเสียเป็นด่าง (Alkaline)	9,839	16,846	29,019
ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน	25	52	107
กากสารอินทรีย์น้ำ	242	499	1,037
น้ำเสียล้างอัตรูป	16,348	30,398	57,809
ขยะชุมชน	11,787	19,090	31,093
ขยะติดเชื้อ	76,078	123,219	200,699
รวม	932,638	1,634,104	2,813,980

ที่มา : ข้อมูลจากการปรับปรุงค่าของ Engineering Science/USTDP Study 1989

ปริมาณของเสียอันตรายจากโรงงานในประเทศไทย ยังไม่มีการรายงานที่แน่นอน แม้จะมีความพยายามที่จะศึกษาสำรวจ โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษาให้ทำการสำรวจในแต่ละพื้นที่ก็ตาม ผลการศึกษาสำรวจก็ยังไม่สามารถนำมารายงานเป็นข้อสรุปได้



รูปที่ 1-1 ปริมาณการนำเข้า การผลิต และการใช้สารเคมีและ/หรือเคมีภัณฑ์ ตั้งแต่ ปี พ.ศ2531 - 2539
ที่มา : กรมศุลกากร กรมโรงงานอุตสาหกรรมและการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 1-2 ปริมาณการนำเข้า การผลิต และการใช้สารเคมี และ/หรือเคมีภัณฑ์ ตั้งแต่ปี 2531 – 2539

ปี	ปริมาณนำเข้า (ล้านตัน)	ปริมาณผลิต (ล้านตัน)	ปริมาณการใช้ (ล้านตัน)
2531	1.31	0.70	2.01
2532	1.37	1.19	2.56
2533	1.75	1.23	2.98
2534	1.76	1.44	3.20
2535	2.26	2.40	4.66
2536	2.79	2.74	5.53
2537	3.01	5.88	8.89
2538	3.23	6.61	9.84
2539	3.40	8.84	12.24

ที่มา : กรมศุลกากร กรมโรงงานอุตสาหกรรม และการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาปริมาณของเสียที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ(3)กรมโรงงานอุตสาหกรรมและกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ร่วมกันปรับปรุงให้สมบูรณ์ขึ้นได้ประเมินไว้ว่า ปี พ.ศ. 2535 จะมีของเสียอันตรายเกิดขึ้นทั่วประเทศจากทุกกิจกรรมถึง 1,000,000 ตัน และพยากรณ์ว่า ปี พ.ศ. 2544 จะมีของเสียที่เป็นอันตรายเกิดขึ้นทั้งสิ้น 2,813,980 ตัน โดยร้อยละ 55 มาจากอุตสาหกรรมหรือการถลุงโลหะ ร้อย

ละ 17 เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงาน นอกนั้นมาจากด้านธุรกิจ การพาณิชย์ การเดินเรือ โรงพยาบาล ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ของชุมชนและกิจกรรมทางการเมือง

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ของเสียอันตรายส่วนหนึ่งมาจากอุตสาหกรรมซ่อมรถ ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมที่ทำโดยครอบครัว โดยรับจ้างทำตามความต้องการของลูกค้า จนบางแห่งมีการพัฒนา มาเป็น อุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ตามลำดับ

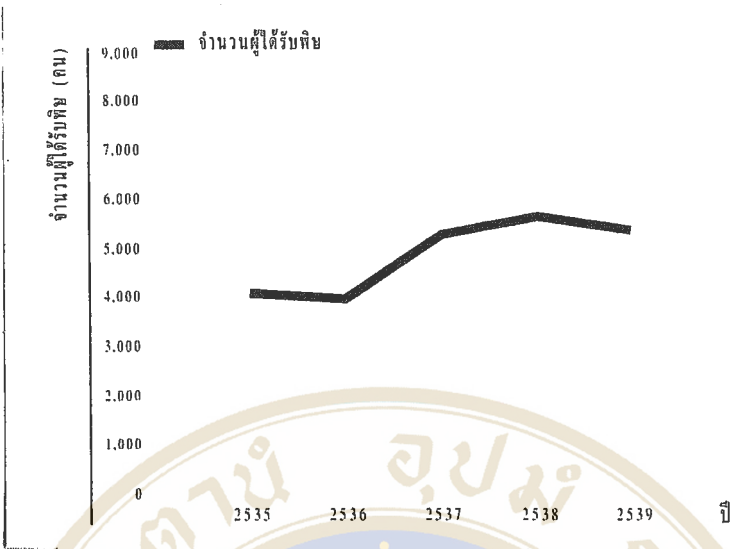
อุตสาหกรรมซ่อมรถเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้สารเคมีต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะการเคลือบผิวรถยนต์ จักรยานยนต์ ต้องมีการใช้สารเคลือบที่มีปริมาณมากในแต่ละปี ประมาณการซ่อมบำรุงรถยนต์จักรยานยนต์ในแต่ละปีมีถึง 250,000 คัน ในจำนวนทั้งหมดนี้ 70% ของทั้งหมด หรือ 175,000 คัน ต้องทำการซ่อมโดยการเคลือบผิวหรือเคลือบสีผิวใหม่ ทั้งหมดและบางส่วน และใน 175,000 คันนี้ประมาณ 25% หรือ 43,750 คัน ต้องทำการเคลือบผิวหรือเคลือบสีผิวใหม่ทั้งหมด ดังตาราง

ตารางที่ 1-3 จำนวนรถที่ต้องการซ่อมเคลือบสีผิวในอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เสียหาย

ความเสียหายของรถที่ต้องการทำการซ่อมเคลือบสีผิว(%)	จำนวนรถ (%)	จำนวนรถ (คัน)
0 – 30	40	70,000
31 – 60	27	47,250
61 – 80	8	14,000
81 – 100	25	43,750

ที่มา: ข้อมูลจากการปรับปรุงค่าของ Engineering Science/USTDP Study 1993.

เมื่อรวมพื้นที่ความเสียหายทั้งหมด คิดเป็นพื้นที่ความเสียหายเท่ากับจำนวนรถ 6,300 คัน จากค่าการเฉลี่ยการใช้สารเคลือบผิวรถยนต์จำพวกสีจะใช้ 3.7 ลิตร/คัน ฉะนั้นต้องใช้สีสำหรับพ่น 233,100 ลิตร/ปี และค่าเฉลี่ยการใช้สารเคลือบเงาต่อรถ 1 คัน เท่ากับ 1.2 ลิตร ฉะนั้นต้องใช้สารเคลือบเงาทั้งสิ้น 75,600 ลิตร/ปี การระเหยของตัวทำละลายในสีทางเทคนิคเราถือว่าเป็น 100% โดยปริมาตร ฉะนั้นส่วนผสมของตัวทำละลายที่ผสมในสี 68.3% โดยปริมาตรจะระเหยออกหมด คิดเป็นปริมาตร 149,207.3 ลิตร และการระเหยของสารเคลือบเงาเท่ากับ 58% โดยปริมาตรเท่ากับ 43,848 ลิตร ในทางปฏิบัตินอกจากตัวทำละลายและสารเคลือบเงาแล้ว



รูปที่ 1-2 สถิติการแจ้งประสบอันตราย หรือเจ็บป่วยจากการสัมผัสสารเคมีในการทำงาน ตั้งแต่ปี 2535 – 2539

ยังมีส่วนผสมอื่นปนออกมาจากท่ออุตสาหกรรมด้วยได้แก่ เม็ดสี และสารหน่วง ซึ่งจะมีโลหะหนักที่เป็นอันตรายเป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 1-4 สถิติผู้ได้รับพิษจากสารเคมีในการทำงานที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล ปี 2531 – 2539

สารอันตราย	จำนวนผู้ได้รับพิษ (คน) ในปี								
	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539
ตะกั่ว	32	18	4	28	12	18	29	29	30
แมงกานีส โปรท สารหนู	6	11	6	10	8	16	16	32	54
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม	16	23	7	25	28	51	41	67	74
ก๊าซไอระเหย	51	43	6	52	28	27	19	31	43
ฝุ่นซิลิกา	-	-	-	-	3	23	10	11	28
รวม	105	95	23	115	79	135	104	170	229

ที่มา: กองระบาควิทยา กระทรวงสาธารณสุข

จากสถิติของสำนักงานกองทุนเงินทดแทนในปี พ.ศ. 2539 ระบุว่ามิผู้ได้รับพิษอย่างเฉียบพลันเป็นอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของคนงานจำนวน 5,233 คน เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2535 พบว่ามีจำนวนผู้ได้รับพิษมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่สถิติก็ยังไม่สามารถทำครอบคลุมสถานประกอบการที่มีจำนวนคนงานต่ำกว่า 10 คน ซึ่งไม่มีรายงานอย่างเป็นทางการ จากรายงานผู้ได้รับพิษจากสารอันตรายในภาคอุตสาหกรรมประเภทโลหะหนักจำนวน ตะกั่ว แมงกานีส โปรท

สารหนู ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ก๊าซไอระเหย ของกองระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2539 พบผู้ได้รับพิษ 229 คน ซึ่งมีจำนวนสูงขึ้น โดยกลุ่มที่รับพิษจากสารอันตรายมากที่สุดคือ ผู้ได้รับพิษจาก ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม รองลงมาคือโลหะหนักและก๊าซไอระเหย ตามลำดับ แนวทางและมาตรการเกี่ยวกับการจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้มีแนวทางและกฎหมายควบคุม ดังนี้

1. กำหนดมาตรการและออกกฎหมายควบคุมกำหนดวิธีการจัดการให้โรงงานปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องโดยตรง ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) (4) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ในเรื่องสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามลำดับ

2. การควบคุมและตรวจสอบโรงงานอุตสาหกรรมได้ปรับปรุงแก้ไขและปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎหมายทั้งในขั้นตอนการขออนุญาตและติดตามผลหลังจากได้รับอนุญาต รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการแก้ไขปรับปรุงวางมาตรการจัดการให้เหมาะสมพร้อมแนะนำแก่ผู้ประกอบการกิจการโรงงาน

3. การจัดตั้งศูนย์บริการกำจัดของเสียอุตสาหกรรม เพื่อดำเนินการนำร่องกับภาคเอกชนที่ให้ความสนใจลงทุนด้านการกำจัดของเสียที่เป็นพิษเป็นตัวอย่างให้ผู้ประกอบการได้ศึกษาวิธีการจัดการของเสียที่เหมาะสม ปลอดภัยและเป็นไปตามหลักวิชาการเพื่อนำไปปรับปรุงกับโรงงานตนเองและเพื่อให้บริการจัดการของเสียที่เป็นพิษกับโรงงานที่มีปัญหา ขาดความรู้ ความสามารถ ประสิทธิภาพ ที่ดิน และทุนทรัพย์ การจัดการของเสียที่เป็นพิษเป็นเรื่องสำคัญ เทคโนโลยีในการจัดการเพื่อกำจัดของเสียส่วนมากเป็นของต่างประเทศเกือบทั้งหมดจึงต้องมีเจ้าหน้าที่เฉพาะด้าน พร้อมใช้เงินลงทุนจำนวนมาก กรมโรงงานอุตสาหกรรมสังกัดกระทรวง อุตสาหกรรมทำหน้าที่รับผิดชอบ จึงมีโครงการจัดตั้งศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมขึ้น โดยรัฐบาลเป็นผู้ลงทุนก่อสร้างแล้วให้ออกชนประมูลเข้าดำเนินการให้บริการภายใต้การกำกับดูแลของรัฐ

4. การให้บริการทางวิชาการ สำนักพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมโรงงาน ทำหน้าที่ให้คำแนะนำกับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปัญหาการจัดการของเสียการจัดการทำรายงานสารพิษ (5)

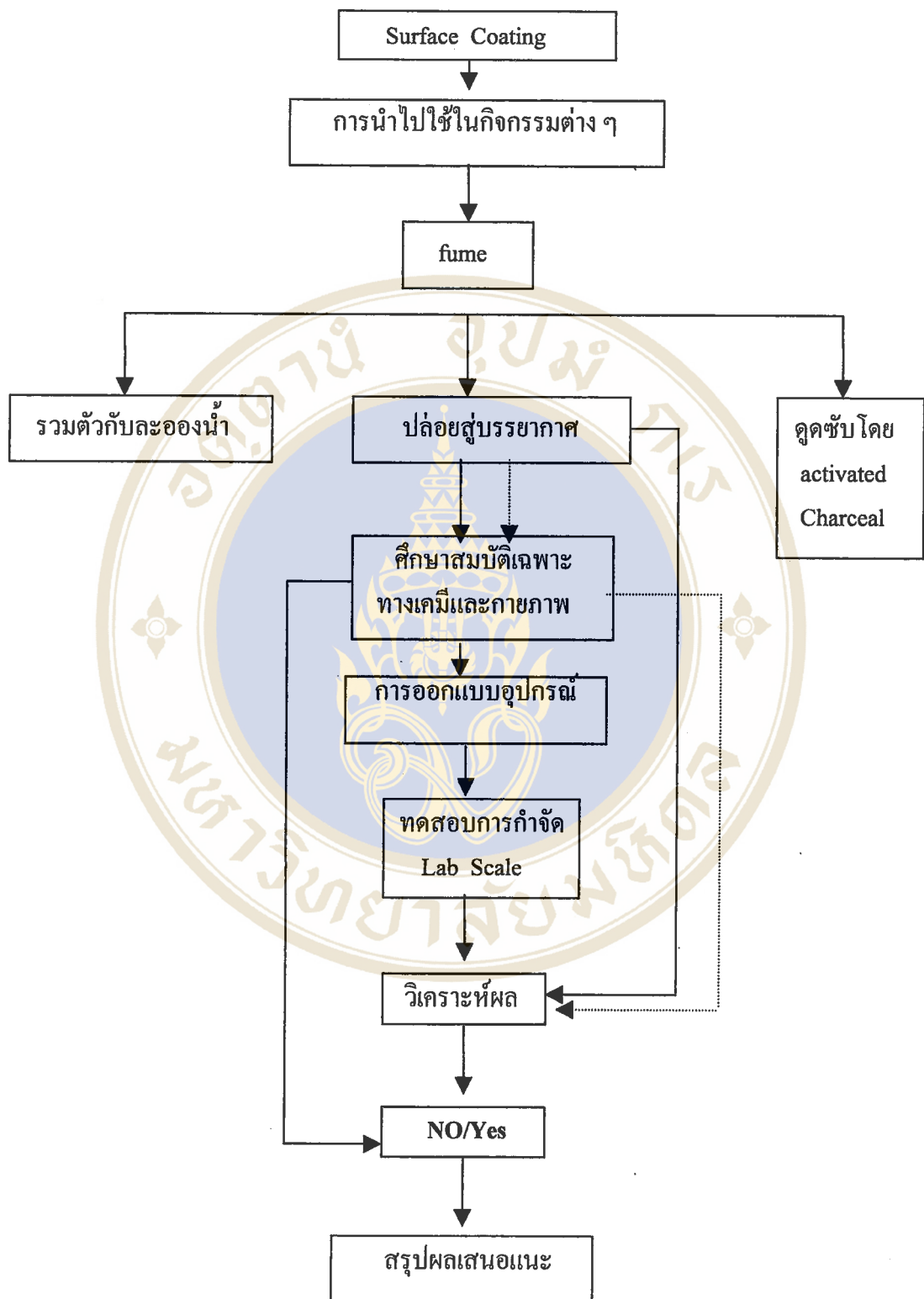
ของเสียที่เป็นอันตรายเป็นพิษต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม แนวทางจัดการที่เหมาะสม การป้องกันหรือการหาแนวทางลดของเสียให้น้อยลง (6,7) วิธีการใช้วัตถุดิบหรือเทคโนโลยีการผลิตที่ปล่อยของเสียออกมาน้อย แต่อย่างไรก็ยังคงเกิดของเสียขึ้นจึงต้องหาทางกำจัดให้เหมาะสมและใช้กรรมวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์ (8) กำจัดให้หมดไป ของเสียที่มีความซับซ้อนมาก (Complex) เช่น อะไครลิก สารในกลุ่มโพลีเมอร์ และสารอินทรีย์ ก็ไม่สามารถกำจัดได้ ต้องกำจัดด้วยกระบวนการสันดาป ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันใช้กระบวนการ ส่วนเผาไอก๊าซ (After

Burner) โดยใช้อุณหภูมิ 1,000 - 1,200 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 2 วินาที เตาเผาที่มีอุณหภูมิสูง และมีระบบฟอกอากาศครบถ้วนจะมีราคาแพง และค่าบริการเผาจึงแพงมาก

ปัญหาและความสำคัญของก๊าซไอระเหยจากสารเคลือบผิวรถ ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ถือได้ว่าเป็นของเสียอันตราย (9) ผู้ประกอบกิจการและภาครัฐยังไม่ได้ให้ความสำคัญในการกำจัด อาจเนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านความรู้ ความเข้าใจ ถึงความเป็นพิษและอันตรายที่จะเกิด ผู้ทำวิจัยจึงให้ความสำคัญในการกำจัดก๊าซไอระเหยจากสารเคลือบผิว โดยกระบวนการสันดาปที่ใช้ทุนต่ำ และให้ประสิทธิผลสูงในการกำจัด

1.3 แนวคิดในการวิจัย

กรรมวิธีการพ่นสารเคลือบผิวในอุโมงค์ขนาดเล็ก ในปัจจุบันยังขาดกระบวนการป้องกันอันตรายที่จะเกิดจากก๊าซไอระเหยของการเคลือบผิวที่พ่นออกไป ซึ่งในสารเคลือบผิวนั้นมีส่วนผสมที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะกับมนุษย์ จากคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารเคลือบผิว จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะจัดสร้างอุปกรณ์กำจัดก๊าซ ไอระเหยของสารเคลือบผิวรถยนต์ให้ลดลง โดยใช้กระบวนการสันดาป



รูปที่ 1 - 3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

1.4 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว
2. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อการสันทัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว
3. เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้อุปกรณ์การกำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวที่สร้างขึ้น

1.5 สมมติฐานการวิจัย

ก๊าซไอระเหยจากสารเคลือบผิวที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจัดเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีการสันทัด เพื่อลดปริมาณให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่6(พ.ศ.2540)ได้

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1. ปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัยคือ ปฏิกิริยาสันทัด
2. สารที่ใช้ในการทำให้เกิดก๊าซไอระเหย คือสารเคลือบผิวรถยนต์
3. ความร้อนที่ใช้ในการสันทัดได้มาจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้า
4. การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์จะดูจากการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างสารปนเปื้อนของก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวรถยนต์ก่อนและหลังการสันทัด
5. งานวิจัยนี้ถือเป็นงานวิจัยในขั้นทดลองอุปกรณ์เพื่อเป็นต้นแบบในการกำจัดและการวางมาตรการควบคุมก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว
6. การกำจัดของเสียอันตรายเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

- สารปนเปื้อน (contaminate) สารที่ไม่ต้องการให้เข้าไปปะปนในอากาศ น้ำ อาหาร ซึ่งอาจทำให้อากาศ น้ำ และอาหารนั้นเป็นพิษได้ ในการทดลองและวิจัยจะจงเฉพาะในอากาศ

- ตัวถูกละลาย (solute) เรียกสารที่ละลายในตัวทำละลาย หรือสารที่มีปริมาณน้อยกว่าในสารที่ผสมกันจนเป็นสารละลายได้แก่ เม็ดสีและสารอะโรมาติก
- ตัวทำละลาย (solvent) เรียกสารที่ละลายสารอื่นเพื่อเกิดเป็นสารละลาย หรือสารที่มีปริมาณมากกว่าในการที่ผสมกันจนเป็นสารละลายได้แก่ แอลกอฮอล์
- การเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์/กายภาพ (physical change) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับธาตุหรือสาร โดยที่องค์ประกอบของธาตุหรือสารนั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical change) การจัดเรียงตัวของอะตอม อีออน หรือกลุ่มอะตอมของสารหนึ่งชนิด หรือมากกว่าหนึ่งชนิด ยังผลให้เกิดเป็นสารใหม่ที่มีสมบัติแตกต่างออกไป
- การสันดาป (combustion) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารสารปนเปื้อนกับออกซิเจนโดยคายความร้อนออกมา
- การระเหย (evaporation) ปรากฏการณ์ซึ่งโมเลกุลของเหลวหรือของแข็ง หนีออกจากของเหลวหรือของแข็งนั้นกลายเป็นไอ ณ อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดหรือจุดระเหิดของสารนั้น
- การวิเคราะห์ (analysis) กระบวนการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดและองค์ประกอบโดยใช้เครื่อง GC
- อุณหภูมิไฟ หรือ จุดวาบไฟ (ignition temperature)
- ของผสม (Mixture) สาร 2 สาร หรือมากกว่า 2 สารละลายมาผสมกันเป็นสารไม่บริสุทธิ์
- ความสามารถในการติดไฟ ติดไฟง่ายหรือติดไฟได้ (flammability) สมบัติประการหนึ่งของสารที่ไวไฟ เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟหรือในภาวะอุณหภูมิสูงจะติดไฟและลุกไหม้อย่างรวดเร็ว
- มลพิษ (pollution) อากาศที่มีสิ่งปนเปื้อน หรือสิ่งเจือปนในปริมาณสูงพอที่จะเกิดเป็นพิษ หรือก่อความเสียหายต่อทั้งสิ่งมีชีวิตและวัตถุ
- สารเคลือบผิว (surface coating) สารเคลือบผิวรถยนต์

จาก International Union of Pure and Applied Chemistry

- แอดจัสเตอร์เทนชัน โวลูม (Adjusted retention volume)
ใช้สัญลักษณ์ V'_R เป็นค่าที่ได้จากค่าแตกต่างของ retention volume กับ retention volume ของ peak ที่ไม่มีการดูดซับในคอลัมน์เลย

$$V'_R = V_R - V_M$$

- สารดูดซับ (Adsorbent)
เป็นของแข็งที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ ที่ใช้บรรจุในคอลัมน์สำหรับเทคนิคทางแก๊ส โครมาโตกราฟี (Gas-Solid Chromatography) ซึ่งจะดูดซับสารต่าง ๆ ด้วยแรงของการดูดซับ
- พิกของอากาศ (Air peak)
เป็น peak ที่เกิดจากสารในสารตัวอย่างที่ไม่มีการดูดซับโดยการดูดซับในคอลัมน์ peak นี้ สามารถจะใช้วัดเวลาที่แก๊สพาเดินทางจากจุดเริ่มต้นสารจนถึงตัวตรวจสอบ
- โครมาโตแกรม (Chromatogram)
เป็นผลจากการบันทึกระหว่างปริมาณของสารที่แยกได้ ไปยังตัวตรวจสอบกับเวลา หรือปริมาตรในการแยกตัวสารนั้น ๆ
- โครมาโตกราฟี (Chromatography)
เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารผสม โดยอาศัยหลักการที่สารนั้น ถูกดูดซับหรือแพร่กระจายไปในระหว่างสเตชันเนอร์เฟสและโมบายเฟส ซึ่งสเตชันเนอร์เฟสนี้有可能是ของแข็งหรือของเหลวที่เคลือบอยู่บนของแข็งที่เคลื่อนที่
- ประสิทธิภาพของคอลัมน์ (Efficiency of column)
โดยปกติทั่วไปจะวัดจากจำนวนเพลท (plate) (ชั้น) ทางทฤษฎี ซึ่งจะสัมพันธ์กับพิก (peak) และความยาวของคอลัมน์
- Height equivalent to a theoretical plate , h หรือ HETP
เป็นตัวเลขวที่เกิดจากการหารความยาวของคอลัมน์ด้วยจำนวนเพลท (plate)

$$h = L / n$$

1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. สามารถหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสันดาปก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวที่ปนออกมาจากอากาศให้ลดลงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ได้
2. เพื่อสร้างกระบวนการสันดาปในการกำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวที่ปนออกมาจากอากาศได้

1.9 สถานที่ทำการทดลอง

- ห้องปฏิบัติการเคมี สถาบันราชภัฏนครปฐม
- ห้องปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล
- อุประณิตยงค์ นครปฐม

บทที่ 2

บททบทวนวรรณกรรม

2.1 อินทรีย์เคมีทางอุตสาหกรรม (Industrial organic chemistry)

อินทรีย์เคมีทางอุตสาหกรรมต่างจากอินทรีย์เคมีในห้องปฏิบัติการเป็นอย่างมาก ในการทดลองในห้องปฏิบัติการจะใช้สารเคมีในปริมาณน้อย เนื่องจากนักเคมีคิดว่าเวลาที่ใช้ในการทดลองมีค่ามากกว่าสารเคมี ในการออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการทางอินทรีย์เคมีจึงคำนึงถึงเวลามากกว่าคำนึงถึงราคาของสารเคมี แต่ในทางอุตสาหกรรมเราจะให้ความสำคัญของราคาของสารเคมีมาเป็นอันดับแรก และปัจจัยอื่น ๆ รองลงไป (10) ทำให้อุตสาหกรรมทางเคมีนั้นเน้นการใช้สารประกอบหลายชนิดแทนสารบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว และ ผลิตภัณฑ์ (product) ที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นของผสมของสารอินทรีย์ที่มีคุณลักษณะบางประการคล้ายคลึงกัน สามารถแบ่งประเภทของสารเคมีตามสมบัติทางเคมีของสาร (11) ได้ดังนี้

2.1.1 สารไวไฟ (Flammable) สารเคมีประเภทนี้มีจุดวาบไฟต่ำ สามารถลุกติดไฟได้ง่าย เช่น อะซิโตน (acetone), เบนซีน (benzene), อีเทอร์ (ether) และแอลกอฮอล์ (alcohol) เป็นต้น

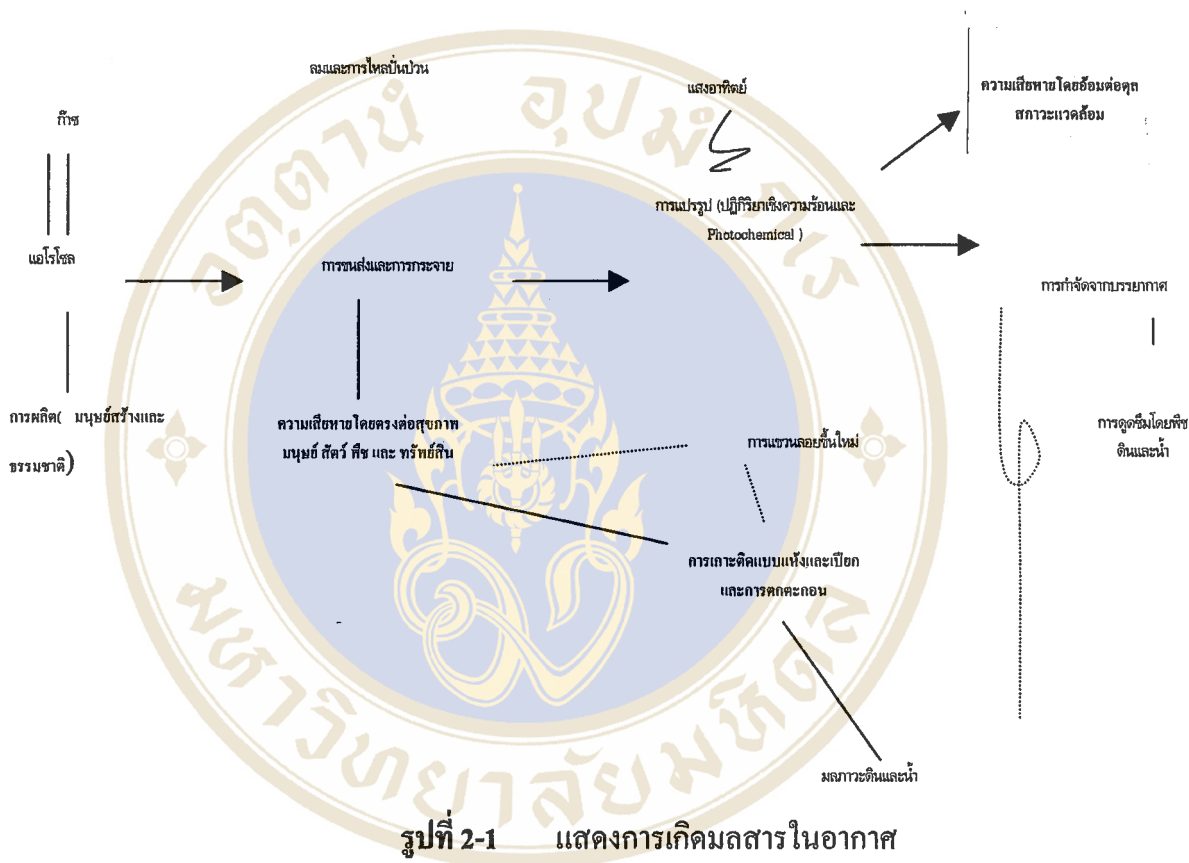
2.1.2 สารเป็นพิษ (Toxic) สารเคมีประเภทนี้จะอันตรายเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมี โดยทำให้เกิดมะเร็งในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย หรือเรียกว่าสารก่อมะเร็ง (carcinogen) เช่น ไอร์อะของโลหะหนัก และไซยาไนด์ (cyanide) เป็นต้น

2.1.3 สารกัดกร่อน (Corrosive) สารเคมีประเภทนี้สามารถทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีฤทธิ์กัดผิวหนังและเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ สารที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือด่าง เช่น กรดไนตริก (nitric acid) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) เป็นต้น

2.1.4 สารระเบิด (Explosive) สารเคมีประเภทนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ในทางปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น จึงมีความไวต่อความร้อน และการเสียดสี ซึ่งจะทำให้เกิดการระเบิดที่รุนแรง และลุกติดไฟได้ง่าย ได้แก่ สารในกลุ่มเปอร์คลอเรต (perchlorate group), สารในกลุ่มเปอร์ออกไซด์ (peroxide group) และสารในกลุ่มแฮโลเจน (halogen group) เป็นต้น

2.2 แหล่งกำเนิดมลสารในอากาศ(12,13)

มลสารอากาศมีอยู่ได้สองรูปแบบ คือ ก๊าซ(gas)และแอโรโซล (aerosol) ในบางกรณี สารในรูปก๊าซอาจเปลี่ยนเป็นแอโรโซลโดยกระบวนการเคมีและ/หรือกายภาพ แหล่งมลภาวะทั้งสามนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้



2.2.1 แหล่งมนุษย์สร้าง

- แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการสันดาป : หม้อไอน้ำ เตาต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เครื่องยนต์สันดาปภายใน การเผาไหม้และพืช เป็นต้น อุปกรณ์ให้ความร้อน หุงต้ม ไฟไหม้และการระเบิด
- แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการผสม การทำผง และการเสียดสี : strip-mining ของถ่านหิน และ หินปูน งานวิศวกรรมโยธา และ จราจรบนถนน
- แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการแปรรูป : heat treatment ของโลหะ การกลั่น การถลุง และ กระบวนการผลิตต่าง ๆ
- แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการระเหยและการรั่ว : การรั่ว หรือการระเหยจากถังเก็บน้ำมัน สถานที่ทำสีโรงงานเคมี เป็นต้น

2.2.2 แหล่งธรรมชาติ

กิจกรรมของภูเขาไฟ ก๊าซมีพิษในธรรมชาติ ไฟไหม้ป่า การเนาเปื้อน และการหมัก การปลิวกระจายของดิน การระเหยของยางพืชร การปลิวกระจายของเมล็ดและ สปอร์ (spore) พืช

2.2.3 แหล่งทุติยะภูมิ (แหล่งเชิงซ้อน)

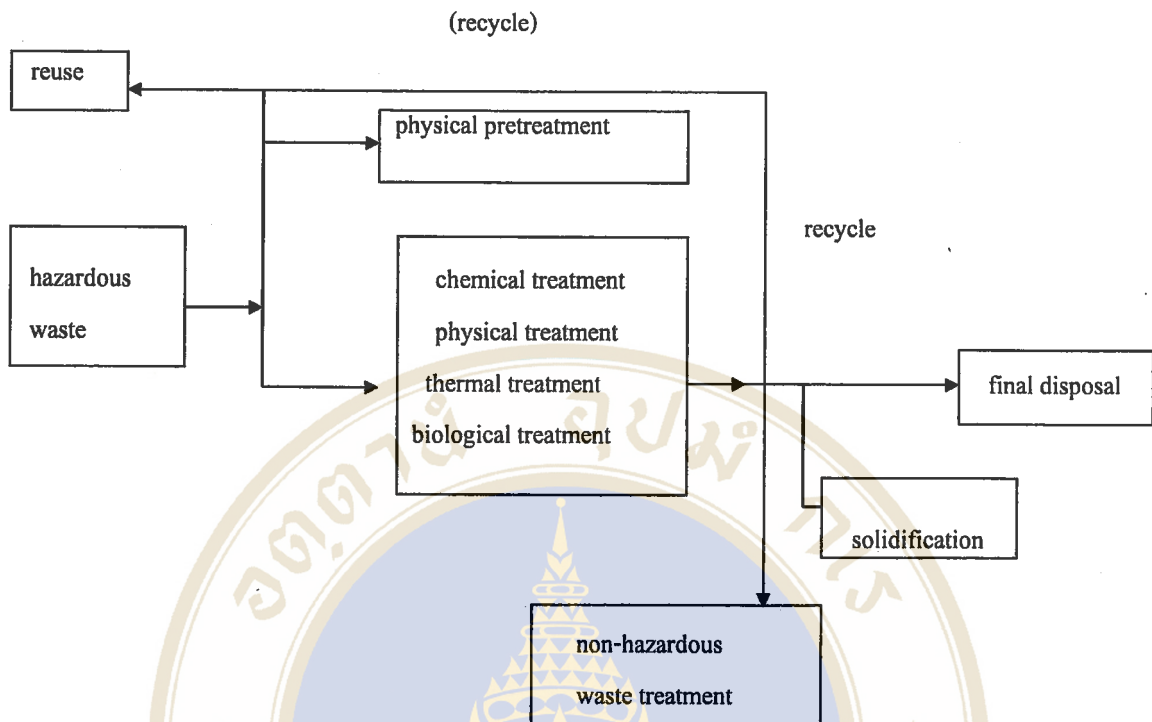
Photochemical smog อนุภาคซัลเฟต และ ไนเตรท acid rain (ฝนกรด) และการแขวนลอยใหม่ของสารพิษจากผิวดินมลสารในรูปก๊าซและแอโรโซลที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งเหล่านี้สู่อากาศจะถูกพาและแพร่กระจายโดยลมในระหว่างการเคลื่อนที่(14)มลสารอาจเปลี่ยนคุณสมบัติของมัน โดยกระบวนการเคมี และ photochemical เมื่อเวลาผ่านไป มันอาจถูกกำจัดจากอากาศโดยกระบวนการต่อไปนี้: ถูกชะล้างออกโดยน้ำฝน เกาะเปียกติดกับฝน (wet deposition to rain) ดูดกลืน (absorption) ดูดซับ (adsorption) และ จับเกาะบนพื้นดิน น้ำหรือพืชและการตกตัว (settling)(15) ถึงแม้ว่ามลสารจะหายไปจากอากาศ แต่มันก็อาจทำให้ดินและน้ำมีมลทิน และทำความเสียหายต่อพืช

2.3 ของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste)

2.3.1 ของเสียที่เป็นอันตราย (16) หมายถึง ของเสีย หรือสิ่งที่เจือปนด้วยของเสียที่เป็นของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซที่มีความเข้มข้น หรือคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี หรืออื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตาย หรือการเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้ และรักษาไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกัก ขนส่ง และกำจัด

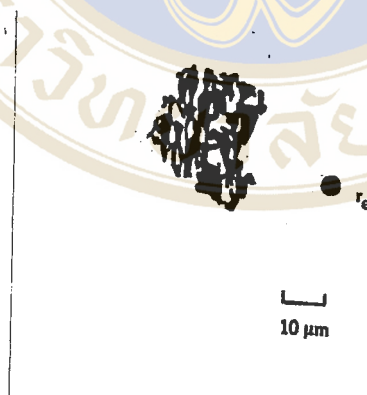
2.3.2 วัตถุอันตราย (4) หมายถึง วัตถุระเบิดได้ วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ และวัตถุเปอร์ออกไซด์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์ หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์ หรือสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนและกระบวนการ กำจัดของเสียที่เป็นอันตราย(17)ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เคมี (Chemical Treatment) ความร้อน (Thermal Treatment) และชีวภาพ (Biological Treatment) รวมถึงการทำให้เป็นก้อน (Solidification) และการกำจัดขั้นสุดท้าย (Final Disposal) ดังแสดงรายละเอียดในรูป



รูปที่ 2-2 แผนภูมิแสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย

2.3.3 นิยามของขนาดอนุภาค



รูปที่ 2-3 อนุภาคในบรรยากาศซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ภาพฉายกับเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล เป็น 8:1

จากรูป 2-3 อนุภาคแอโรโซลในบรรยากาศโดยปกติจะไม่กลม และรูปร่างของอนุภาคโดยส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งปล่อยออกของอนุภาค อนุภาคทรงกระบอก(18)ได้แก่ เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และ เส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ สีนแร่โดยปกติจะมีรูปทรงไม่เป็นระเบียบ (irregular) เป็นระเบียบ หรือ เป็นปุยหรือสะเก็ด (flakelike) ก้อนรวม (agglomerates) สามารถเกิดจากอนุภาคที่รวมตัวกัน ในขณะที่ลอยอยู่ในอากาศ หรือ อาจเกิดจากการเย็นตัวของก๊าซร้อน ในกรณี

หลัง รูปร่างที่เห็นจะเหมือนลูกโซ่ (chain like) และ เป็นฟล็อก (flocs) และมักเกิดขึ้นในระหว่างการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก

ตาราง ที่ 2-1 รูปร่างของอนุภาคฝุ่นที่ปลิวลอยในอากาศ

รูปร่าง	เปอร์เซ็นต์ของมวลในตัวอย่าง		อนุภาค*
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	
ทรงกลม	0-20	10	ควัน เกสร ไข่ปลาลิว
ไม่มีระเบียบ(irregular)	10-90	40	แร่
ลูกบาศก์ (ปุย)	0-10	5	ถ่านไฟ
เส้นใย	3-35	10	แร่ หินกำพร้าว้า (epidemis)
ฟล็อก (flocs) จากการควบแน่น	0-40	15	คาร์บอน ควัน ฟูม (fume)

*ขนาดใหญ่กว่า 0.1 ไมครอน

และมีความจำเป็นที่จะนิยามปริมาณบางอย่างเพื่อบ่งขนาดของอนุภาค ปริมาณที่ว่านี้ควรเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเชิงแอโร ไดนามิกส์ (aerodynamic) ของอนุภาคนั้น(19)ความเร็วของการตกของอนุภาคในอากาศจะขึ้นกับน้ำหนักของอนุภาคและแรงเสียดลาก (drag) เชิงแอโร ไดนามิกส์ รัศมีสโตกส์ (Stokes' radius) r_s ของอนุภาค คือ รัศมีของทรงกลมที่มีความเร็วของการตก u_t เท่ากับอนุภาคนั้น และมีความหนาแน่นเท่ากับ ความหนาแน่นแท้จริงของวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นอนุภาคนั้น

$$u_t = 4\rho r_s^2 g/(18\mu)$$

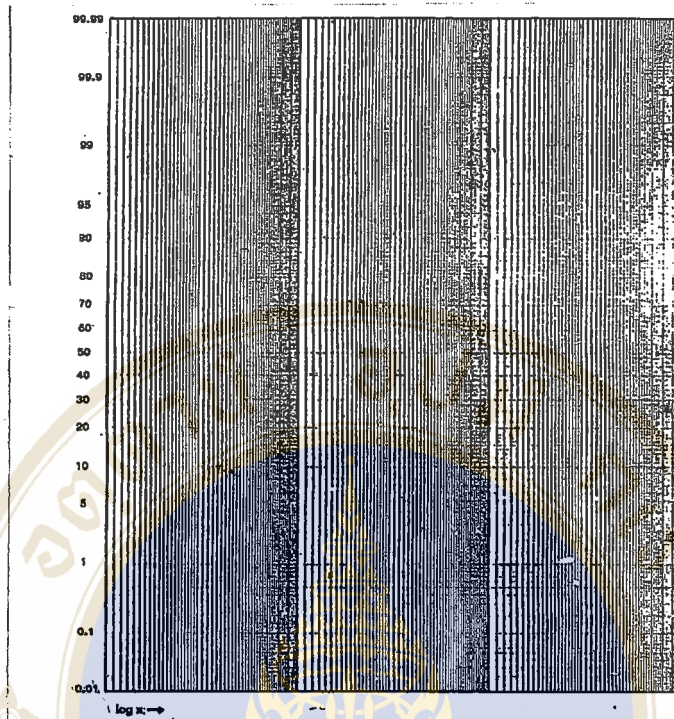
ในที่นี้ ρ คือความหนาแน่นของวัสดุอนุภาค g คืออัตราความเร่งบนผิวโลก และ μ คือความหนืดของอากาศเนื่องจากอนุภาคในบรรยากาศไม่ใช่สารบริสุทธิ์ แต่เกิดจากวัสดุต่าง ๆ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน ดังนั้นการหาค่า r_s โดยใช้สมการ จึงกระทำได้ลำบาก ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นประโยชน์มากกว่าที่จะนิยามรัศมีสมมูลเชิงแอโร ไดนามิกส์ (equivalent aerodynamic radius) r_e ให้เป็นรัศมีของทรงกลมที่มีความเร็วของการตกเท่ากับอนุภาคนั้น แต่มีความหนาแน่นของทรงกลมเท่ากับ 1g/cm^3 นั่นคือ

$$u_t = 4\rho r_e^2 g/(18\mu)$$

(20)แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงการแจกแจงตามขนาดอนุภาค (particle size distribution) ของแอโรโซลในบรรยากาศคือ การแจกแจงแบบปกติ เชิงล็อกการิทึม (log arithmic normal distribution) และการแจกแจงตามล็อกของรัศมี (log radius distribuion) ในกรณีหลัง จะพล็อต (plot) ฟังก์ชันการแจกแจง (distribution function) หรือความถี่ของการเกิดกับค่าล็อกของรัศมีอนุภาค ส่วนในกรณีแรก จะใช้ตัวแปรปกติเชิงล็อก (log-normal variable) แทนค่าล็อกของรัศมีอนุภาค ถ้าให้ r เป็นรัศมีของอนุภาค ตัวแปรปกติเชิงล็อก z จะหาได้จาก

$$z = (\ln r - \ln M_g) / \ln \sigma_g$$

โดยที่ M_g คือ ค่ารัศมีเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (geometric mean radius) และ σ_g คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (geometric standard deviation) ของการแจกแจงตามขนาดอนุภาคนั้น ทั้งสองแบบจำลองคณิตศาสตร์ ใช้ฟังก์ชันการแจกแจงเป็นจำนวนนับของอนุภาคพื้นที่ของอนุภาค หรือน้ำหนักของอนุภาค ในภาคปฏิบัติการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดอนุภาคเพื่อหาค่า M_g และ σ_g สามารถกระทำได้โดยง่าย ถ้าใช้กระดาษความน่าจะเป็นเชิงลอการิทึม (logarithmic probability paper)



รูปที่ 2-4 กระดาษกราฟสำหรับความน่าจะเป็นเชิงลอการิทึม (logarithm probability)

บนกระดาษจะพล็อตระหว่างเปอร์เซ็นต์ของจำนวนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า (หรือโต กว่า) ขนาดที่สนใจ กับค่าลอการิทึมของขนาดที่สนใจนั้น เมื่อทำเช่นนี้แล้ว จะสามารถลากเส้นตรงได้ ถ้าการ แจกแจงของขนาดอนุภาคนั้นเป็นแบบปกติเชิงลอการิทึม ในกรณีนั้น ค่าของ M_g (หรือ $\ln M_g$) คือค่า ของ r (หรือ $\ln r$) ที่อ่านได้ที่ความน่าจะเป็นเท่ากับ 50 % ส่วนค่า σ_g คำนวณได้จาก

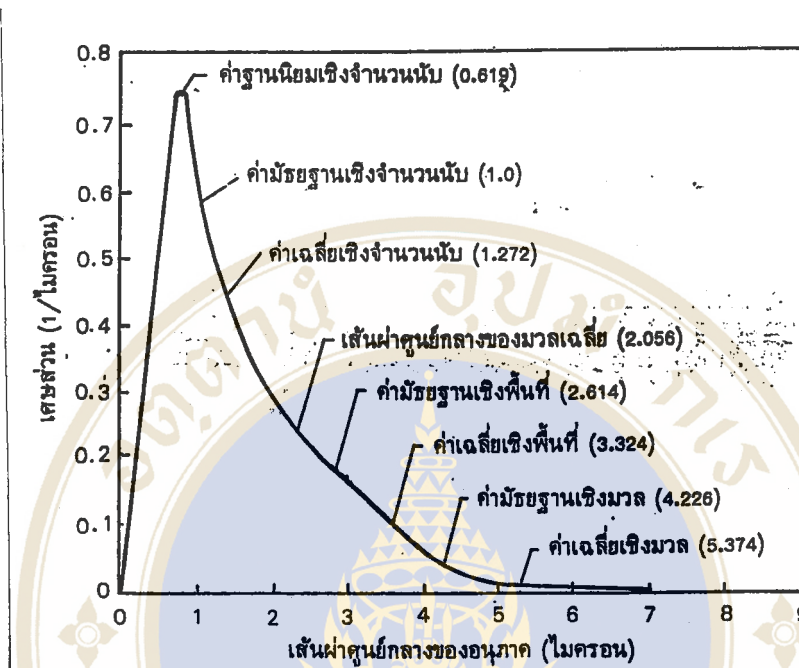
$$\sigma_g = \text{ค่าของ } r \text{ ที่ความน่าจะเป็น } 84.13\% / \text{ค่าของ } r \text{ ที่ความน่าจะเป็น } 50\%$$

อนึ่ง เรายังสามารถคำนวณค่ารัศมีมีฐานเชิงเรขาคณิตในกรณีของพื้นที่ของ อนุภาค M_g ได้จากค่าของ M_g และ σ_g ในกรณีของจำนวนนับของอนุภาค ดังนี้

$$\log M_a = \log M_g + 2.303 \log^2 \sigma_g$$

ในทำนองเดียวกัน ค่ารัศมีมีฐานเชิงเรขาคณิตในกรณีของน้ำหนักของอนุภาค M_g หาได้จาก

$$\log M_g = \log M_g + 3.454 \log^2 \sigma_g$$



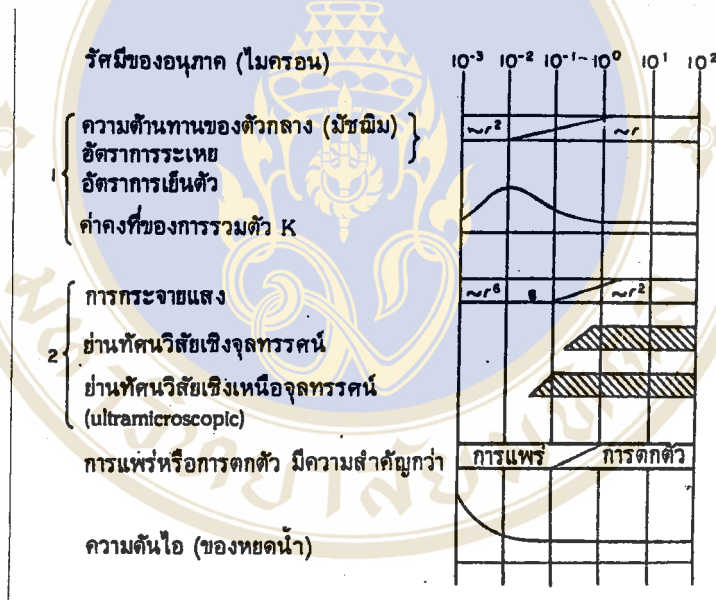
รูปที่ 2-5 ตัวอย่างของฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติเชิงล็อก (log-normal distribution function) บนกระดาษกราฟธรรมดา สำหรับกรณี $M_g = 1.0$ และ $\sigma_g = 2.0$ (ในรูป แสดงค่าฐานนิยม (mode) ค่ามัธยฐาน (median) และค่าเฉลี่ย (mean) ของเส้นผ่าศูนย์กลาง)

2.3.2.1 ความหมายของแอโรโซลปลิวกระจาย (dispersion aerosol) เกิดจากการไม่ หรือ การอะตอมไมเซชัน (atomization = ทำให้เป็นผลหรือหยดจิ๋ว) ของของแข็งและของเหลว และจากการเปลี่ยนผลละอองให้อยู่ในสถานะแขวนลอยโดยการกระทำของกระแสลมหรือการสั่นสะเทือน แอโรโซลควบแน่น (condensation aerosol) เกิดขึ้นเมื่อไอน้ำหรือไอของของแข็งที่ระเหยง่าย (volatile) หรือ ไม่ระเหย (nonvolatile) แอโรโซลควบแน่นและแอโรโซลปลิวกระจาย ที่มีอนุภาคของเหลวจะเรียกว่า หมอกน้ำค้าง (mist) ไม่ว่าขนาดของอนุภาคจะเป็นเท่าไร แอโรโซลควบแน่นที่ของแข็งอยู่ในสถานะกระจัดกระจาย (disperse phase) หรือ ที่ของแข็งและของเหลวอยู่ในสถานะกระจัดกระจายมีชื่อเรียกว่า คว้น (smoke) โดยทั่วไป ผุ่นจะมีองค์ประกอบที่มีเนื้อต่างกัน (heterogeneous in composition) และมีขนาดของอนุภาคในช่วงกว้าง (wide spectrum) โดยคำว่า “คว้น” จะใช้เรียกการแพร่กระจายที่เกิดจากการสันดาป (เผาไหม้) อย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง หรือวัสดุสันดาป

ได้อื่น ๆ คำว่า “หมอก (fog)” จะหมายถึง หยดน้ำเล็ก ๆ ที่มีจำนวนมากในอากาศ คำว่า “ฟุ้ง (fume)” จะใช้ป้องกันการเกิดของแอโรโซลควบแน่น ซึ่งมีก๊าซหรือไออยู่ด้วย (ยกตัวอย่างเช่น ฟุ้งจากการเชื่อมโลหะ) ชื่อเรียกพิเศษ ได้ถูกตั้งขึ้นเพื่อเรียกสถานการณ์มลภาวะอากาศต่าง ๆ เช่น “เซซ (haze)” ซึ่งใช้ในกรณีที่เกิดสนิมในบรรยากาศเลวลง และอาจชี้บ่งบอกการมีฝุ่น หมอกน้ำค้าง และก๊าซมลสาร “สมีอก (smog = smoke + fog)” และ “สเมซ (smaze = smoke + haze)”

2.3.2.1.1 ขนาด พื้นที่ น้ำหนัก และความหนาแน่นของอนุภาคเดี่ยว

แอโรโซลมีคุณสมบัติ polydisperse ในแง่ของขนาดอนุภาค (ประกอบด้วยอนุภาคขนาดต่าง ๆ กัน) ตั้งแต่ขนาดประมาณ 6×10^{-4} ถึง 10^3 ไมครอน คุณสมบัติของอนุภาคจะขึ้นกับขนาดของอนุภาค และ ในช่วงขนาดอนุภาคนี้อัตราสมบัติบางอย่างจะเปลี่ยนมากขึ้นหรือน้อยลงตามขนาดอนุภาค ในรูป 2-6 คุณสมบัติกลุ่ม 1



รูปที่ 2-6 คุณสมบัติบางอย่างของแอโรโซลที่สัมพันธ์กับขนาดของอนุภาค

จะสัมพันธ์กับระยะทางอิสระเฉลี่ย (mean free path) λ ของโมเลกุลอากาศ (อากาศมี λ เท่ากับ 0.0653 ไมครอน ที่ 20° และ 760 mm Hg) ส่วนคุณสมบัติกลุ่ม 2 จะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นเฉลี่ยของแสงที่เห็นได้ (visible light) (โดยเฉลี่ย 0.55 ไมครอน) การเปลี่ยนแปลงระหว่างคุณสมบัติ 2 กลุ่มนี้ เกิดขึ้นในช่วงขนาดอนุภาคประมาณ 0.5 ถึง 1.0 ไมครอน สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เหลือ ความสัมพันธ์นั้นเกิดขึ้นโดยบังเอิญ

2.3.3 องค์ประกอบสำคัญของแกสโครมาโตกราฟี⁽²¹⁾

จาก IUPAC name

- แอดจัสเตดรีเทนชันโวลูม (Adjusted retention volume)

ใช้สัญลักษณ์ V'_R เป็นค่าที่ได้จากค่าแตกต่างของ retention volume กับ retention volume ของ peak ที่ไม่มีการดูดซับในคอลัมน์เลย

$$V'_R = V_R - V_M$$

- สารดูดซับ (Adsorbent)

เป็นของแข็งที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ ที่ใช้บรรจุในคอลัมน์สำหรับเทคนิคทางแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas – solid chromatography) ซึ่งดูดซับสารต่าง ๆ ด้วยแรงของการดูดซับ

- พีกของอากาศ (Air peak)

เป็น peak ที่เกิดจากสารในสารตัวอย่างที่ไม่มีการดูดซับ โดยการดูดซับในคอลัมน์ peak นี้สามารถใช้วัดเวลาที่แก๊สพาเดินทางจากจุดเริ่มจนถึงตัวตรวจสอบ (Detector)

- โครมาโตแกรม (Chromatogram)

เป็นผลจากการบันทึกระหว่างปริมาณของสารที่แยกได้ ไปยังตัวตรวจสอบกับเวลาหรือปริมาตรในการแยกตัวของสารนั้น

- ประสิทธิภาพของคอลัมน์ (Efficiency of column)

โดยปกติทั่วไปจะวัดจากจำนวนเพลท (plate) ทางทฤษฎีซึ่งจะสัมพันธ์กับพีกและความยาวของคอลัมน์

2.4 การเข้าสู่ร่างกายของสารเคมีโดยทั่วไป(22,23,24)

สารเคมีสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ทางคือ

1. ทางปาก โดยการกลืนกิน ทั้งที่ตั้งใจและโดยอุบัติเหตุ
2. ทางจมูก โดยการสูดดมไอระเหยของสารเคมีเข้าไปจากกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ
3. ทางผิวหนัง โดยการสัมผัสสารเคมีเหล่านั้นโดยตรง

2.4.1 อันตรายของสารเคมีที่มีต่อร่างกาย

สารเคมีเมื่อเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะก่อให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะและระบบการทำงานภายในร่างกายแตกต่างกันออกไป ซึ่งอันตรายของสารเคมีโดยเฉพาะที่ป้องกันยาก คือ ชนิดที่แพร่กระจายในอากาศ แล้วเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดม(25)ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

1. อันตรายของสารเคมีที่ออกฤทธิ์อย่างเฉียบพลัน (acute)
2. อันตรายของสารเคมีประเภทที่ก่อให้เกิดอาการเรื้อรังจากการสะสมที่สะสมทีละน้อย

เป็นเวลานาน เช่น ไอของโลหะหนัก ไอของสารในกลุ่มอะครีลิก (acrylic compound) สารก่อมะเร็ง (carcigen) และตัวทำละลายเคมี (chemical solvent) เป็นต้น

อันตรายของสารเคมีที่ออกฤทธิ์อย่างเฉียบพลันแม้จะร้ายแรงกว่า โดยปกติไม่เป็นปัญหาใหญ่ เพราะคนโดยทั่วไปจะตระหนักถึงภัยที่ได้รับ มีความระมัดระวังและป้องกันตนจากอันตรายที่จะได้รับ แต่อันตรายที่น่ากลัวคือ อันตรายของสารเคมีประเภทที่ก่อให้เกิดอาการเรื้อรังจากการสะสม แล้วไปก่อให้เกิดปัญหาในนั้นปลายของชีวิต ซึ่งเป็นภาระกับตนเองและครอบครัว เป็นอย่างมาก

ตารางที่ 2-2 แสดงชนิดของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่ออวัยวะของร่างกายโดยตรง

อวัยวะ	สารเคมี
ตา	Cresol, Quinone, Hydroquinons, Acetic anhydride, Acrolein, Benzyl chloride, Butyl alcohol
เยื่อระบบหายใจส่วนบน	Ozone, Dimethylsulfate, Chromium, Acetic anhydride, Acrolein, Hydrogen sulfide, Butyl alcohol, Acetaldehyde
ตับ	Cresol, Dimthylsulfate, Chloroform, Carbon tetrachloride, Trichloroethylene, Perchloroethylene, Toluene
หัวใจ	Aniline
ปอด	Nickel, Silica, Asbestos, Bertyllium, Chromium, Mica, Hydrogen sulfide, talc, allyl chloride, Nitrogen dioxide, Dichloroethyl ether
ผิวหนัง	Butyl alcohol, Nickel, Phenol, trichloroethylene
สมอง หรือระบบประสาทส่วนกลาง	Benzene, Carbon tatrachloride, Carbon disulfids, Butylamine, Hydrogen sulfide, Tetracethyl lead, Manganese, Mercury, Lead, Dimethylaniline, Acetaldehyde Nitrobenzene, Thallium
ไต	Chloroform, Mercury, Dimethylsulfate
เลือด	Nitrobenzene, Aniline, Arsenic, Benzene, Carbon monoxide, Toluene

ที่มา: พิชัย โตวิวิทย์, สุภวรรณ ดันตยานนท์ และประไพพิศ แจ่มสุกใส : 2536.

2.4.2 สารเคมีที่มีผลต่อระบบสืบพันธุ์(26)

2.4.2.1 ผลที่มีต่อคนงานชาย (Effects peported in male workers)

- ลดความต้องการทางเพศและสมรรถภาพทางเพศ (Decreased libido and impotence) เช่น สารอินทรีย์ที่มีตะกั่วผสม (organic lead), สารอนินทรีย์ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ (inorganic mercury), และไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride)

- อวัยวะเพศเสื่อมและเป็นหมัน (Testicular damage or in fertility) เช่น สารอินทรีย์ที่มีตะกั่วผสม (organic lead)

2.4.2.2 ผลที่มีต่อคนงานหญิง (Effects reported in female workers)

- ประจำเดือนและระบบสืบพันธุ์ผิดปกติ (Menstrual and other gynaecological disorders) เช่น เบนซีน (benzene), สารอนินทรีย์ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ (inorganic mercury), โพลีคลอริเนตไบฟีนิล (polychlorinated biphenyls ; PCB) สไตรีน (Styrene), โทลูอีน (toluene)

- แท้งหรือเป็นหมัน (Abortions or infertility) เช่น เบนซีน (benzene), เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide), ฟอรัมาดีไฮด์ (formaldehyde)

- ลดการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ น้ำหนักทารกต่ำหรือรอดยาก (Decreased foetal growth, low birth weight or poor survival) เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) formaldehyde, PCB, toluene, vinyl chloride

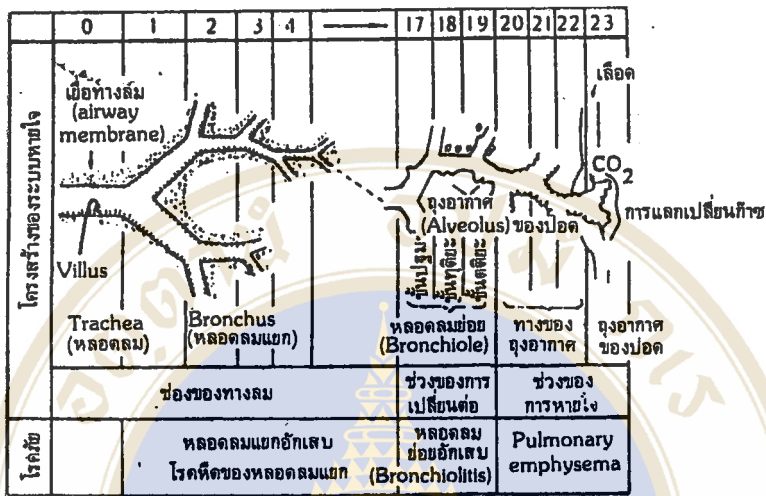
- virus หรือมีอวัยวะผิดปกติตั้งแต่เกิด (Teratogenic effects) เช่น organic mercury

- มารดาตั้งครรภ์แล้วตาย (Maternal death related to pregnancy)

2.5 อิทธิพลของมลภาวะทางอากาศต่อร่างกายมนุษย์

มลสารในอากาศรอบ ๆ สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง และมีผลกระทบเป็นพิษต่อระบบหายใจ (respiratory system) เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะคนเราหายใจเอาอากาศเข้าและออกจากปอด วันละสองหมื่นถึงหลายหมื่นครั้ง หรือ คิดเป็นอากาศประมาณวันละ 10 ลูกบาศก์เมตร(27)

เมื่อเลือดไหลวนในเส้นเลือดฝอย (capillary vessels) ของถุงอากาศ (alveoli) ของปอด คาร์บอนไดออกไซด์จะออกจากเลือดเข้าไปในถุงอากาศ ในขณะเดียวกัน ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศจะละลายเข้าไปในเลือด เลือดที่ได้รับออกซิเจนนี้จะไหลกลับไปหัวใจ และหัวใจจะสูบเลือดนี้ผ่านเส้นเลือดแดงใหญ่ (aorta) ไปหล่อเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ทั้งร่างกาย ด้วยเหตุนี้ ถ้าอากาศมีมลสารอยู่ สารเหล่านี้จะมีผลร้ายต่อหลอดลมข้อแยก (bronchi) และ ถุงอากาศ (alveoli) ซึ่งอาจนำไปสู่โรคหลอดลมอักเสบอักเสบ (bronchitis) หรือ pulmonary emphysema



รูปที่ 2-7 โครงสร้างของระบบหายใจ และความสัมพันธ์กับโรกระบบหายใจ

องค์การ WHO (World Health Organization) ได้แบ่งคุณภาพของอากาศเป็น 4 ระดับ(28) ดังนี้

ระดับ 1 : มลสารที่มีอยู่ในอากาศ มีน้อยมาก (ต่ำกว่าค่า ๆ ที่ระบุ) จนไม่มีผลกระทบโดยตรงหรือโดยอ้อม

ระดับ 2 : มลสารที่มีในอากาศ กระตุ้นอวัยวะการรับรู้ (sensory organs) มีอิทธิพลในแง่พิษภัยต่อพืช ลดทัศนวิสัย (visibility) และมีผลร้ายอื่น ๆ ต่อสิ่งแวดล้อม

ระดับ 3 : มลสารที่มีในอากาศ ก่อให้เกิดโรคเรื้อรัง หรือ ทำให้ช่วงชีวิต (life span) สั้นลง

ระดับ 4 : มลสารที่มีในอากาศก่อให้เกิดโรคเฉียบพลัน และ นำบางคนของกลุ่มคนที่มีความรู้สึกไวมากต่อสารนั้น

2.6 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว

2.6.1 เพื่อป้องกันผิววัสดุจากมลภาวะต่าง ๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกละเมิดมีความทนทานต่ออากาศ น้ำ สารเคมีต่าง ๆ สารเคลือบผิวยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนต่อการขัดสีได้มากขึ้นและอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

2.6.2 เพื่อตกแต่งให้ดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิว มาจากสี (Color) ความเงา (Gloss) จากลวดลายตกแต่ง (Texture) หรือจากความสว่าง (lighting) หรือจากทั้งหมดรวมกัน

2.7 องค์ประกอบของสารเคลือบผิว

2.7.1 อะครีลิก (acrylic)

สารอะครีลิกเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี(29,30)จากอะไครโลไนไตรล (acrylonitrile) อะครีลิกชนิดไฟเบอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการอัดตัวของของเหลวอะไครโลไนไตรล โดยจะรวมตัวกันเป็นเส้นเกลียวบิดยาวออกไปในลักษณะของเส้นใย ของเหลวอะครีลิกและพลาสติกอะครีลิกที่อาจจะผลิตจากอะไครโลไนไตรล หรืออาจจะเปลี่ยนไปใช้การสังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมีจากอะไครเลท (acrylate) ของเหลวอะครีลิกที่เกิดจากอะไครเลท โดยอะไครเลทจะรวมตัวกับน้ำและสารเคมี ได้เป็นสารเคลือบผิวอะครีลิก พลาสติกอะครีลิกผลิตจากกระบวนการอะไครเลท (acrylates) โดยสังเคราะห์จากหน่วยเล็ก ๆ ที่ชื่อว่า เรซิน ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกอะครีลิก ใช้ในการทำสารเคลือบผิว แม่พิมพ์หรือเครื่องมืออุตสาหกรรม

2.7.1.1 อะครีลิกชนิดเส้นใย (acrylic fibers) ใช้ในการถักหรือทอเนื้อผ้า เส้นใยมีความยาว เนื้อเส้นใยมีความแข็งแรง ด้านทานบิดเบี้ยว การทำให้ย่น และเชีอรา ใช้ในการทำผ้าห่ม, พรม, อุปกรณ์กีฬา, เสื้อกันหนาว และผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ

2.7.1.2 อะครีลิกชนิดของเหลว (acrylic liquids) ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในการเตรียมสีเคลือบกันเป็นผนังและใช้กันน้ำ ชนิดคุณภาพสูงใช้กันแพร่หลายในงานรองพื้นและชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่และสารเคลือบมันกันชื้นส่วนของเครื่องจักร

2.7.1.3 อะครีลิกชนิดพลาสติก (acrylic plastic) เป็นของแข็ง เหนียวทำอุปกรณ์ที่ต้านทานต่อสภาพอากาศ ของมีคม และการกัดกร่อนของสารทำความสะอาด โดยส่วนใหญ่พลาสติกอะครีลิกจะมีความโปร่งแสง แต่บางชนิดทึบแสงหรือไม่ควรเอาไว้ในที่มีแสง

2.7.2 สี (Paint) หมายถึง สารที่มีส่วนผสมของผงสี (pigment) สารยึด (binder) หรือตัวนำสี (Vehicle) ตัวทำละลาย (Solvent) และการเติมแต่ง (additives)

2.7.2.1 องค์ประกอบของสี แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท (31)

2.7.2.1.1 ผงสี (Pigments)

เป็นสารที่ให้สี และมีความสามารถในการปิดบังพื้นผิว หรือกำลังซ่อนแสง (Hiding Power) ผงสีต่าง ๆ เช่น ขาว ดำ แดง เหลือง เขียว ส้ม เป็นต้น อาจเป็นสารอินทรีย์ (Organic) หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic) ก็ได้

ผงสีพวกนี้ส่วนใหญ่ต้องมีการสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ แต่ก็มีผงสีบางอย่างที่สามารถผลิตเองในประเทศบ้าง เช่น Carbon Black, Red Lead (เป็นผลพลอยได้ของโรงงานผลิตแบตเตอรี่) แต่ปริมาณและคุณภาพยังไม่ค่อยดี

2.7.2.1.2 ตัวประกอบหรือตัวขยายผงสี (Extender Pigments)

เป็นวัสดุที่เป็นผงที่นำมาใช้ลดต้นทุนของสี ทำให้มีคุณสมบัติทาง Brushability ดีขึ้น ทำให้สีมีเนื้อสีมากขึ้นหรือข้นขึ้น โดยไม่ทำให้ความเข้มข้นของ Shade สีเพิ่มขึ้น Extender Pigments หรือ Fillers ได้แก่ Calcium Carbonate, China Clay, Talcum, Diatomaceous, Silica, Barium Sulphate, Zinc Oxide เป็นต้น Extender Pigments หรือ Fillers นี้ส่วนใหญ่จะเป็นวัตถุที่ผลิตขึ้นเองได้ในประเทศ แต่ก็มี Extender Pigments บางส่วนที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีที่ยังต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องจาก Extender Pigments บางตัวยังไม่สามารถผลิตขึ้นเองในประเทศได้หรือยังไม่สามารถผลิตให้มีคุณภาพดีทัดเทียมกับของต่างประเทศได้

2.7.2.1.3 สารยึดหรือสิ่งนำสี (Binders)

คือสารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสี ได้แก่ Pigments และ Extender Pigments ให้เกิดเป็นฟิล์มของสีติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ ตัวอย่างของสารยึด ได้แก่ น้ำมันแห้งเร็ว (Drying Oil) เรซินธรรมชาติ เรซินสังเคราะห์ เป็นต้น สารยึดที่ใช้ในการทำสีมีทั้งที่ผลิตเองได้ภายในประเทศและที่ต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ได้แก่ Ethyl Alcohol, Denatured Alcohol, Methyl Alcohol, White Spirit เป็นต้น ตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์

2.7.2.1.4 ตัวทำละลาย (Solvents) คือ ของเหลวที่ละลายได้ซึ่งใช้ในการเคลือบผิว เพื่อละลายสารยึดซึ่งเป็นของแข็งหรือมีความหนืดสูงให้ได้เป็นเนื้อเดียวกัน

ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย (Solute) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างการละลายและอุณหภูมิ สามารถเขียนได้เป็น

$$\Delta G = \Delta H_M - T\Delta S$$

โดย ΔG = การเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรี (free energy) ของระบบเมื่อผสมตัวถูกละลายเข้ากับตัวทำละลาย ถ้า ΔG เป็นลบแสดงว่าเกิดการละลาย

ΔH_M = ความร้อนของการผสม (Heat or enthalpy of mixing)

T = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์

ΔS = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (Change in entropy) ซึ่งเป็นตัวบอก

ถึงความไม่เป็นระเบียบในระบบของตัวถูกละลาย

จากสมการของ Hildebrand สามารถหาค่า ΔH_M ได้

$$\Delta H_M = V_M [(\Delta E_1/V_1)^{1/2} - (\Delta E_2/V_2)^{1/2}]^2 \phi_1 \phi_2$$

โดย V_M = ปริมาตรทั้งหมดของของผสม หน่วยเป็นมิลลิลิตร

$\Delta E_1, \Delta E_2$ = พลังงานการกลายเป็นไอ (energy of vaporization) ของแต่ละส่วนหน่วยเป็นแคลอรี

V_1, V_2 = ปริมาตรโมลาร์ (molar Volume) ของแต่ละส่วนหน่วยเป็นมิลลิลิตร

$\phi_1 \phi_2$ = ส่วนปริมาตร (Volume fraction) ของแต่ละส่วน

$$\text{แทนค่า } \delta = (\Delta E/V)^{1/2}$$

โดย δ = ค่าพารามิเตอร์การละลาย (Solubility parameter)

ตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่มีค่า δ ใกล้เคียงกับค่า δ ของตัวถูกละลายนั้น

ตัวถูกละลายในสารเคลือบผิว (32) มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนเบอร์เรล (Burrell) ได้แบ่งตัวทำละลายออกเป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนได้แก่

1. ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนต่ำ (poorly hydrogen bonded ; δ_p)
ได้แก่ อะลิฟาติก, อะโรมาติก, คอลลิเนตไฮโดรคาร์บอนและไนโตรพาราฟิน
2. ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนปานกลาง (moderately hydrogen bonded ; δ_m) ได้แก่ เอสเทอร์ อีเทอร์ และคีโตน
3. ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนสูง (Strongly hydrogen bonded ; δ_s)
ได้แก่ แอลกอฮอล์ เอมีน และกรด

2.7.2.1.5 สารเติมแต่ง (Additives)

คือ สารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษบางอย่างได้แก่ ทำให้แห้งเร็ว, ทำให้สีไม่ขึ้นรา ทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ ของสีติดถูกเคล้าเข้ากันได้ดี เป็นต้น สารเติมแต่งที่ใช้ในการทำสีส่วนใหญ่ต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศ

2.7.2.2 ชนิดของสี (33) สีแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทคือ

2.7.2.2.1 สีน้ำพลาสติก (Emulsion Paints)

คือ สีที่ใช้ Emulsions เป็น Binders Emulsion นี้เป็น

โพลิเมอร์พวก Monomer, Copolymer หรือ Terpolymer ของ Vinyl Acetate, Acrylic และ Styrene และใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

2.7.2.2.2 สีน้ำมัน (Oil Paints)

คือ สีที่ใช้ Alkyl Resins, Petro Resins, Epoxy Resins, Chlorinated Rubber, Vinyl Resins ฯลฯ เป็น Binder มีสารละลายพวก Aliphatic และ Aromatic เป็นตัวทำละลาย สีน้ำมันอาจแยกเป็นสีประเภทต่าง ๆ ได้อีกมากมาย ตามประเภทของ Resins ที่ใช้ และลักษณะของการใช้งาน เช่น

-Epoxy Paints คือ สีที่สามารถทนกรด ทนด่าง ทนสารเคมีบางอย่างได้ ทนการขีดขีด ใช้ Epoxy Resins เป็น Binders

-Traffic Paints คือ สีที่ใช้ทาผิวจราจร

-Decorative Paints คือ สีที่ใช้ทาประดับตกแต่งอาคารบ้านเรือน

-Marine Paints คือ สีที่ใช้ทาเรือ

-Baking Paints คือ สีที่ไม่แห้งในอุณหภูมิปกติ แต่แห้งได้โดยการอบให้ร้อนในเตาอบตามอุณหภูมิที่กำหนด

-Industrial Paints คือ สีที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของสีตามหน้าที่ในการทาสีนั้น ๆ เช่น

- สีเคลือบ (Enamel) คือ สีที่ใช้ทาทับบน Under Coat หรือ Primer (สีรองพื้น) อีกทีหนึ่ง

- สีกันสนิม (Rust Preventing Paints) คือ สีที่ใช้ทาบนผิวโลหะเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสนิมบนโลหะนั้น

- สีแห้งช้า (Slow Drying Paints) คือ สีที่ใช้ตกแต่งทางสถาปัตยกรรม และสี อุตสาหกรรมบางอย่าง ที่เวลาการแห้งค่อนข้างช้า โดยจะแห้งในเวลา 2-3 ชั่วโมง ขึ้นไป

- สีแห้งเร็ว (Fast Drying Paints or Quick Drying) คือสีอุตสาหกรรมบางอย่างเวลาแห้งรวดเร็ว เพื่อสะดวกกับงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะใช้เวลาไม่เกิน 15 นาที

- สีกันเปรียง (Antifouling Paints) คือ Marine Paints ชนิดหนึ่งที่ใช้ทาทับหน้าสีตรงส่วนพื้นผิวของเรือ หุ่น หรือสิ่งก่อสร้างส่วนที่จมอยู่ในน้ำคุณสมบัติของสีนี้สามารถละลายน้ำได้โดยอัตราการละลายคงที่ ส่วนผสมของสีที่ละลายหลุดออกมาจะเป็นสารพิษสำหรับตัวเปรียง ทำให้เปรียงไม่กล้าเข้ามาใกล้และเกาะสิ่งก่อสร้าง เมื่อใดที่สารพิษที่อยู่ในสีถูกละลายหมดไปสีนั้นก็จะไม่สามารถกันเปรียงได้อีกต่อไป จึงต้องทาสีกันเปรียงใหม่เพื่อให้สามารถกันเปรียงได้อีก

2.7.3 วาณิช (Varnish) คือสารเคลือบผิวที่ประกอบด้วยสารยึดเพียงอย่างเดียว

2.7.4 แล็กเกอร์ (Lacguar) ได้แก่ สารละลายซึ่งได้จากการนำเรซินหรือการบีบมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

2.8 วิธีการเคลือบ (Application Techniquis)

การเคลือบพื้นผิววัสดุสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การทา (spreading process) และการพ่น (spraying process)

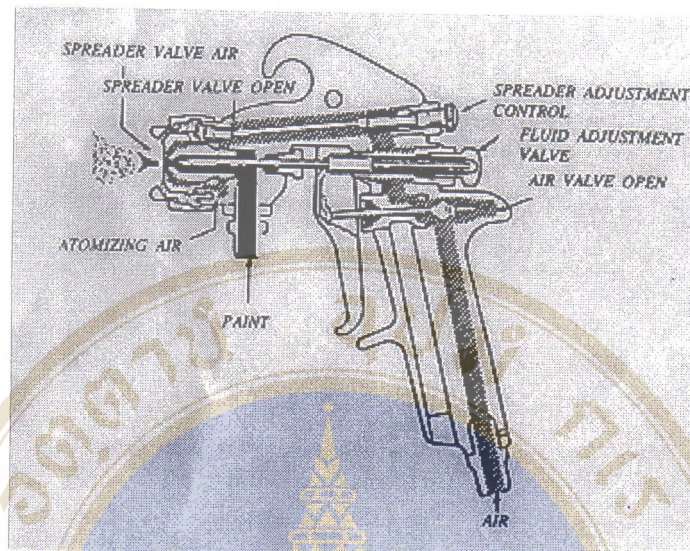
2.8.1 หลักการเตรียมสีก่อนเคลือบ

ก่อนทาหรือพ่นสีจะต้องกวนสีให้เข้ากันดีเสียก่อน และปรับความข้นเหลวของสีให้พอเหมาะกับการทาหรือพ่น หากสีนั้นข้นเกินไปจะต้องเติมทินเนอร์ (Thinner) ของสีนั้น ๆ ลงไปพอเหมาะ และกวนให้เข้ากันดีจึงสามารถนำไปใช้ทาหรือพ่นได้ ก่อนจะนำสีใส่ในเครื่องพ่นจะต้องกวนสีในกระป๋องให้เข้ากันก่อน จากนั้นเติมทินเนอร์ ของสีนั้น ๆ ลงไปเพื่อปรับความข้นเหลวให้พอเหมาะกับการพ่น คนให้เข้ากันดี แล้วเทใส่เครื่องพ่น ปรับหัวพ่นให้ทำมุมพอเหมาะแล้วทำการพ่น การพ่นไม่ควรพ่นให้หนาเกินไปเพราะจะทำให้เกิด Sagging ถ้าต้องการพ่นหนา ๆ ควรใช้วิธีพ่นหลาย ๆ ชั้น คือ เมื่อชั้นแรกแห้งดีแล้วจึงจะพ่นทับชั้นถัดไปอีกเรื่อย ๆ

2.8.2 ประเภทของการพ่นสีเคลือบ(34)

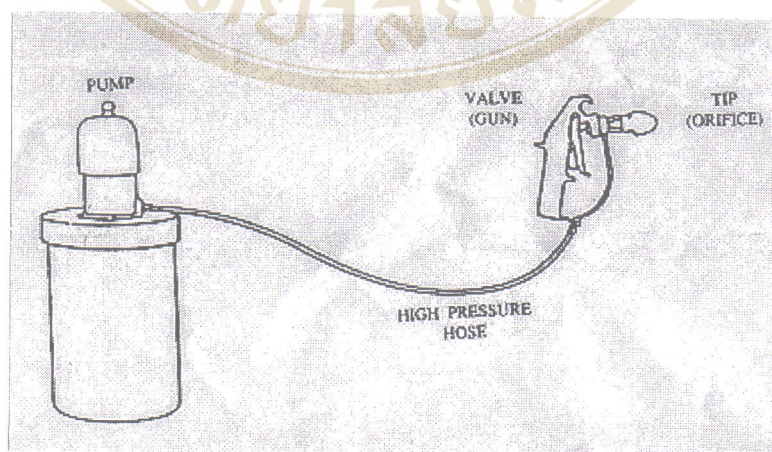
2.8.2.1 การพ่นโดยใช้ลม (Air spraying)

เครื่องพ่นหรือปืนพ่น (spray gun) เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการเคลือบพื้นผิวที่มี พื้นที่มาก ซอก มุม โค้งหรือเว้า ยากต่อการใช้แปรง ปืนพ่นระบบใช้ลมอัด (air asisked spray gun) ใช้แรงดันจากลม ดันให้สีออกจากหัวพ่นเป็นละอองฝอย แรงดันลมอยู่ในช่วง 40-60 ปอนด์/ตารางนิ้ว และห่างจากชิ้นงาน 9-12 นิ้ว



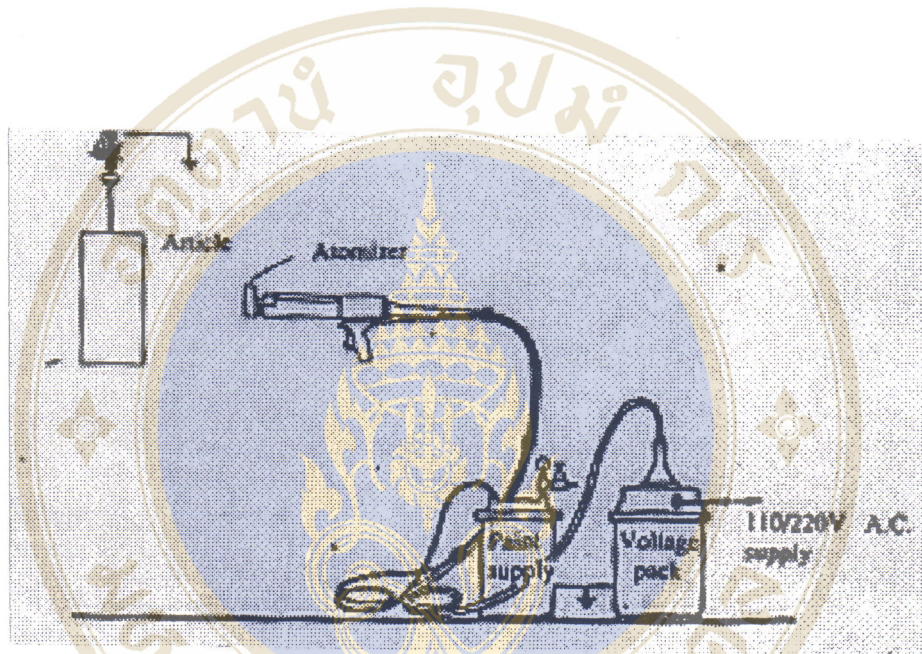
รูปที่ 2-8 ปืนพ่นระบบใช้ลมอัด

2.8.2.2 การพ่นโดยไม่ใช้ลม (Airless spraying) เป็นการใช้ปั๊มลูกสูบดูดสีโดยตรงจากภาชนะแล้วอัดสีให้ผ่านหัวฉีดออกมาเป็นละอองขนาดเสมอด้วยความดันสูง โดยไม่อาศัยอากาศเป็นตัวนำพา



รูปที่ 2-9 เครื่องพ่นแบบไม่ใช้ลม

2.8.2.3 การพ่นด้วยกำลังไฟฟ้าสถิต (Electrostatic spraying) เครื่องพ่นจะถูกต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง และวัสดุที่ต้องการเคลือบจะถูกต่อสายดินไว้ เมื่อปล่อยไฟฟ้าออกมาจะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างหัวปืนพ่นและวัสดุที่ต้องการเคลือบ เมื่อพ่นสีอนุภาคสีที่มีประจุจะถูกดูดโดยพื้นผิวที่ต้องการพ่นเมื่อเกาะติดแล้วจะเป็นกลาง ได้ฟิล์มที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2-10 เครื่องพ่นด้วยกำลังไฟฟ้าสถิต

2.9 การแห้งของสารเคลือบผิว(35)

2.9.1 การแห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical drying) เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย กลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (Secondary force) อย่างอ่อน

2.9.1.1 การระเหย (Volatility and Evaporation Rate)

อัตราการระเหยของตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในสารเคลือบผิวเป็นสมบัติที่สำคัญ ถ้าตัวทำละลายระเหยเร็ว จะทำให้ชิ้นงานเกิดลักษณะผิวส้ม (Orange peeling) หรือความดัน (blushing) หากระเหยก็จะใช้เวลาในการแห้งนาน อัตราการระเหยของตัวทำละลายจะแสดงเป็นค่าเชิงตัวเลข (numerical value) โดยเปรียบเทียบกับอัตราการระเหยของตัวทำละลายมาตรฐานภายใต้ภาวะทดสอบเดียวกัน โดยใช้โครอฟีอเทอร์ และนอร์มอลฟีนเอซีเตต เป็นตัวทำละลายมาตรฐาน

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่าง อัตราการระเหยและจุดเดือดของตัวทำละลาย

Solute	Bolling point	Evaporation rate	
	°C at 760 torr	Found	Calculated
Acetone	56	7.20	8.75
Ethyl acetate	77	5.25	5.70
Benzene	80	5.00	4.96
Methanol	65	3.70	2.84
Ethanol	79	2.03	1.93
Toluene	111	1.95	1.78
sec-Butyl acetate	112	1.80	1.81
Methyl isobutyl ketone	117	1.45	1.34
n-Butyl acetate	127	1.00	1.00
Xylene	140	0.68	0.63
n-Butanol	118	0.45	0.44
Cellosolve	135	0.40	0.34
Butyl Cellosolve	171	0.10	0.13
Cyclohexanol	160	0.09	0.11

2.9.2 **แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical drying)** फिल्मจะยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (Primary force) การเกิดปฏิกิริยาเคมีฟิล์มที่ได้จะแข็งแรงและทนต่อตัวทำละลาย การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ

2.9.2.1 **แห้งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน** สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูดออกซิเจน (O₂) ในอากาศมารวมตัว ทำให้ขนาดของอนุของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้น จนแต่ละอนุรวมตัวกันเป็นฟิล์มแห้งแข็ง

2.9.2.2 **แห้งโดยปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ** สารเคลือบผิวประเภทนี้ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกัน ก่อนใช้จึงนำมาผสมในอัตราส่วนที่กำหนด และใช้ในเวลาที่กำหนดเอาไว้ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิด ณ อุณหภูมิห้องเรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (cold curing coating) เช่น ยูเรียเรซิน (Urea resin) โปริยูรีเทนเรซิน (polyurethane resin) เป็นต้น จากปฏิกิริยาเคมีเกิด ณ อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (Storing or baking coating)



2.9.3 การเกิดฟิล์ม (Film Formation) (36,37)

การเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุ ไปเป็นฟิล์มที่ติดยึดกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น คือกระบวนการเกิดฟิล์มแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

2.9.3.1 แอพพลิเคชั่น (application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้า หรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ การทำอาจใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่ม

2.9.3.2 ฟิกเซชัน (fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ

2.9.3.3 การบ่ม (Curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนการทำฟิกเซชันแล้วมีความทนทานดีขึ้น ทำโดยใช้แสง ความร้อน หรืออากาศ

2.10 ระบบกำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคมี

ระบบกำจัดไอของสารเคมีแพร่กระจายในอากาศมีหลายประเภท สามารถแยกตาม ลักษณะการก่อกำเนิด และลักษณะงานได้ดังนี้

2.10.1 Hood สำหรับไอสารเคมีที่จำแนกบริเวณที่เกิดขึ้นได้ ลักษณะงานสามารถนำไปทำใน Hood ได้ เช่น การเตรียมน้ำยา การทดลองในห้องปฏิบัติการ ในปัจจุบัน Hood หรือ Fume Hood สามารถแยกได้ 2 ประเภทคือ

2.10.1.1 Hood ระบบต่อท่อ หรือระบบดูดอากาศทิ้งสู่ภายนอก (Ducted or Exhausted fume Hood)

2. 10.1.1.1 รายละเอียด Hood ระบบต่อท่อหรือระบบดูดอากาศทิ้งสู่ภายนอก (Ducted or Exhausted fume hood)

โครงสร้างพื้นฐาน :

ตัวตู้ (Hood)

พัดลมดูดอากาศ (Blower)

ท่อและข้อต่อต่าง ๆ (Duck, Elbow and Fitting)

อุปกรณ์หรือระบบพิเศษ :

ระบบเติมอากาศสู่ภายในตู้

ระบบพัดลมหมุนวนปลายท่อ

ระบบทำลายฤทธิ์สารเคมี (Scrubber)

ระบบตรวจสอบการทำงานของตัวตู้และเตือนภัย (Monitoring and Alarm safety system)

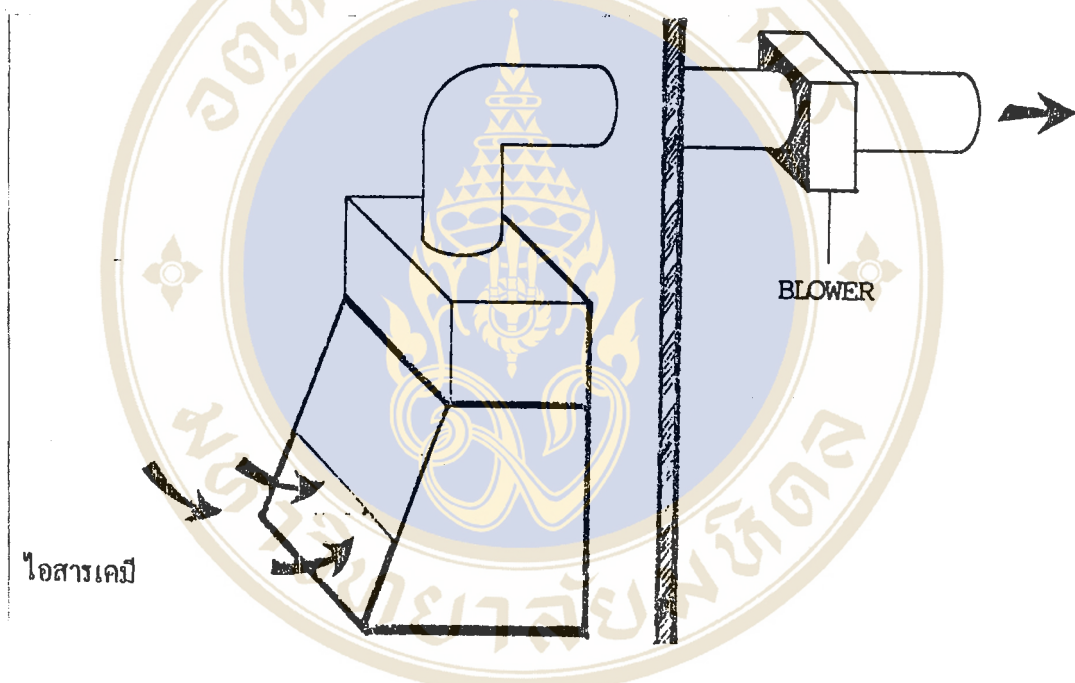
การออกแบบ :

การออกแบบตู้ดูดไอสารเคมี (Hood design) มีปัจจัยสำคัญ

(factor) ที่ต้องพิจารณาหลายอย่างได้แก่ ชนิดของไอสารเคมีที่

ปนกับอากาศ (Contaminate) ที่จะดูดทิ้ง, ความเร็ว (Flow rate) ของไอสารเคมีที่ถูกดูดออก ขนาดของท่อดูดอากาศ (Duct size) อัตราท่อดูดอากาศเสีย (Duct velocity) การสูญเสียความดัน (Pressure loss) ภายใน ตู้ชนิดของท่อดูด อากาศ ชนิดและขนาดของพัดลมดูดอากาศ

ลักษณะการทำงาน : พัดลมดูดอากาศจะดูด Contaminate และอากาศภายในห้อง ให้ออกสู่ภายนอก ดังรูปที่ 2-12



รูปที่ 2-11 Hood

2. 10.1.1.2 ปัญหาของตู้ดูดอากาศเสียระบบต่อท่อ (Fume Hood)

1. ประสิทธิภาพหรือความสามารถในการกำจัดไอสารเคมี

- ในภาวะที่อากาศภายนอกปกติ เพื่อ Hood ทำงานในระยะหนึ่ง อากาศภายในห้องจะถูกดูดออกไปสู่ภายนอก ดังนั้น ถ้าต้องไม่เปิดหรือเป็นห้องปิดแต่มีระบบเดิม อากาศที่คำนวณอย่างไม่ถูกต้อง อากาศในห้องและตัว Hood จะอยู่ในสภาพเจือจางกว่าภายนอก มีผลทำให้การกำจัดไอสารเคมีลดลงหรือไอของสารเคมีทะลักหรือเล็ดลอดออกมาทางด้านหน้าตู้

- ในภาวะอากาศภายนอกแปรปรวน ความเร็วลมหรือความดันอากาศภายนอกสูงกว่าความเร็วลมปลายท่อ ผลคือ Hood ไม่สามารถดูดสารเคมีทิ้งสู่ภายนอก ซึ่งจะพบปัญหานี้ในช่วง

ฤดูฝน ประสิทธิภาพของ Hood ต่ำต่อ แม้กรณีที่เครื่องอยู่ในสภาพสมบูรณ์ แต่เมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง ส่วนของ Blower และ Duct จะถูกกัดกร่อนโดยสารเคมี ทำให้ประสิทธิภาพลดลง

2. ไม่ได้ทำการติดตั้งที่ถูกต้อง และการติดตั้งที่ถูกต้องทำได้ยาก

ปัญหาของตัวอาคารทำให้ท่อ (Duct) ไม่อยู่ในแนวตรง โดยตรงตลอดได้ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง ก่อให้เกิดปัญหาไอสารเคมีไหลย้อนกลับเข้าสู่ภายใน เนื่องจากสภาพอากาศภายในเชิงลบ (Negative) จึงมีการดูดอากาศจากรอบ ๆ แต่การติดตั้งที่ติดตั้งเหมาะสมและปลอดภัย จะทำให้การลงทุนสูงขึ้น

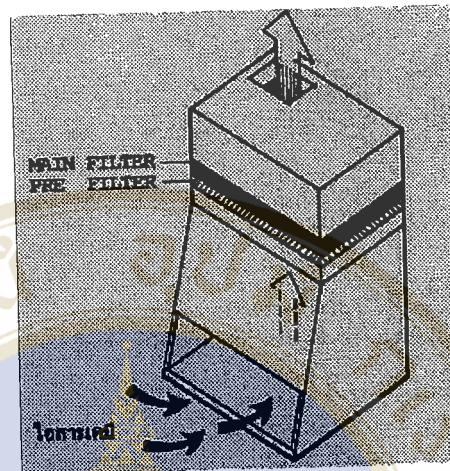
3. การบำรุงรักษา

Hood ต่ำต่อถึงแม้จะออกแบบถูกต้องและใช้งานถูกต้อง แต่ Blower และ Duct ก็ต้องมีการซ่อมบำรุง หรือเปลี่ยนใหม่โดยเฉพาะถ้าใช้งานผิดประเภทไม่ตรงกับการออกแบบ

4. การสูญเสียพลังงาน (Energy loss)

ในห้องที่มีการติดตั้งเครื่องดูดไอสารเคมี จะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ถ้ามีการคำนวณความเย็นบางส่วนออกไปทิ้ง เครื่องปรับอากาศนั้นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นหลายเท่าจากขนาดที่ใช้จริงในห้องปิด คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศต้องทำงานตลอดเวลาโดยไม่มีโอกาสหยุดพัก ทำให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้า ซึ่งตามหลักการทางวิศวกรรมแล้ว การนำพลังงานที่มีคุณค่าที่ทำให้เกิดความเย็น และจากมอเตอร์ไปทิ้งเป็นสิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง

2.10.1.2 Hood ระบบไร้ท่อ หรือระบบอากาศหมุนเวียน (Ductless Hood)



รูปที่ 2-12 Hood ระบบไร้ท่อ

2.10.2 Source capture สำหรับไอสารเคมีที่จำแนกบริเวณที่เกิดขึ้นได้ แต่ลักษณะงานไม่สามารถนำไปทำใน Hood ได้ เช่น การบัดกรีตะกั่ว ระบบกำจัดไอสารเคมีที่จำแนกตำแหน่งที่เกิดไอสารเคมี ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานครบ 3 ส่วนตามลักษณะของ Hood แต่มีโครงสร้างเพียง 2 ส่วน คือ Duct และ Blower ลักษณะของ Duct จะมีลักษณะเป็นกระบัง (Hose) มี 2 แบบ แบบแรกเป็นแบบยึดติดอยู่กับที่ (Non-flexible) และแบบที่สองเป็นแบบท่อที่ปลายเปลี่ยนตำแหน่งได้ (flexible) ส่วนลักษณะการทำงานจะเหมือนกับ Hood ดังรูปที่ 2-12

2.10.3 Scientific and Industrial air cleaner สำหรับไอสารเคมีที่จำแนกบริเวณที่เกิดขึ้นไม่ได้ หรือมีหลายจุด เช่น แพร่จากเครื่องมือวิเคราะห์ขนาดใหญ่แพร่มาจากภายนอกเข้าสู่ภายในตัวอาคาร

2.11 พลวัตศาสตร์ของอนุภาคและการแพร่กระจายของสารเคมี(38)

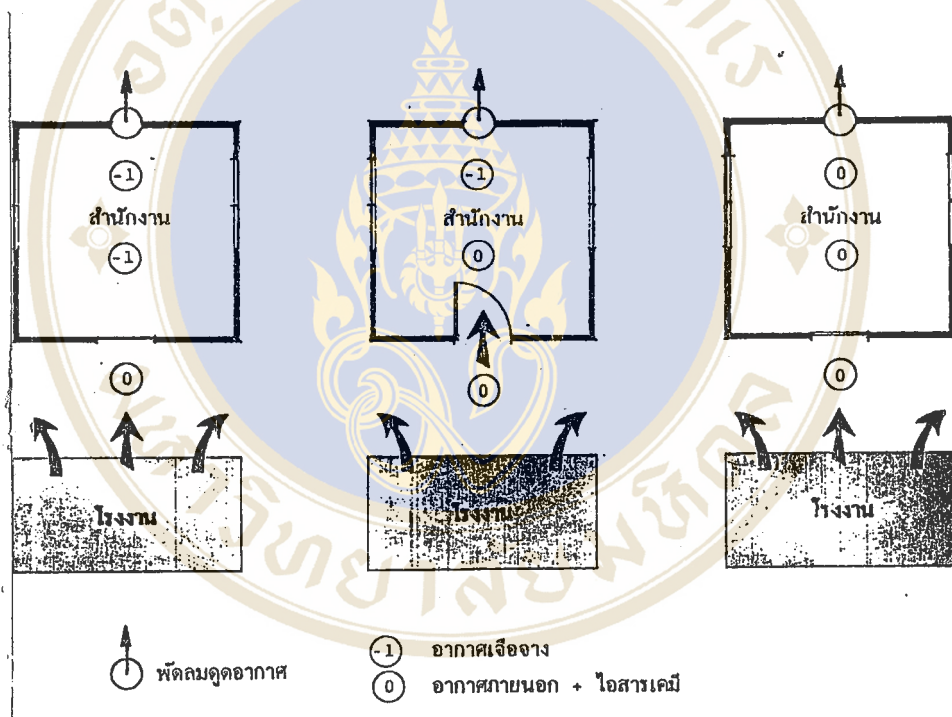
2.11.1. ห้องปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรมและขบวนการผลิต เป็นส่วนหนึ่งที่เป็นแหล่งกำเนิดและแพร่กระจายของสารเคมีโดยตรง เนื่องจากกระบวนการทดลองและการสังเคราะห์ จำเป็นต้องใช้สารเคมีโดยทั่วไปสารเคมีมักจะฟุ้งหรือแพร่กระจายจาก 2 สาเหตุคือ

2.11.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ เป็นแหล่งแพร่กระจายของสารเคมี เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถทำในระบบปิด (close system) และ ไม่สามารถนำไปทำงานในตู้ดูดอากาศ (Hood) ได้

2.11.1.2 ระบบกำจัดไอสารเคมีด้วยคุณภาพ หรือเสื่อมประสิทธิภาพและคุณภาพที่พบบ่อยมักจะมีปัญหาจากระบบ Hood ต่อท่อที่ดูดไอสารเคมีปล่อยออกสู่ภายนอกอาคาร

2.11.2 ห้องหรือส่วนอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ /อุตสาหกรรมและขบวนการผลิต

แม้ไม่ได้เป็นส่วนที่ก่อให้เกิดสารเคมีโดยตรงแต่สารเคมีอาจแพร่กระจายเข้ามาเนื่องจากสภาพอากาศเป็นแบบลบ (Negative) หรือ มีอากาศเจือจางมากกว่าบริเวณโดยรอบเพื่ออากาศโดยรอบจะถูกดูดเข้ามาแทนที่ตลอดเวลา ดังนั้น ถ้าอากาศที่เข้ามาแทนที่มีไอของสารเคมีอยู่ ไอของสารเคมีก็จะแพร่เข้ามาแทนที่ด้วย



รูปที่ 2-13 รูปการแพร่ในสภาวะอากาศแปรปรวน

อนุภาคในอากาศมีขนาดตั้งแต่โตมาก ๆ กว่าจนถึงเล็กกว่า ระยะทางอิสระเฉลี่ย (mean free path) ของโมเลกุลของก๊าซ อนุภาคที่มีขนาดโตมากกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยจะเข้าสู่ความเร็วการตกตัวที่คงที่ (constant settling velocity) อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่าความเร็วนี้จะกำหนดโดยสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงของโลก และแรงต้านทานซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานเชิงแอโรไดนามิก (aerodynamic drag) ในทางตรงข้าม (8) อนุภาคที่มีขนาดพอ ๆ กับหรือเล็กกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยจะมีน้ำหนักน้อยมาก และมีความเร็วการตกตัวนั้นปลาย (terminal settling velocity) ที่ช้า ในขณะที่เดียวกัน โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบอนุภาคจะกระหน่ำชนอนุภาคนี้อย่างไม่มีกฎเกณฑ์

(randomly) และ ทำให้ความเร็วการตกตัวบั่นปลายของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ อนุภาคจะเกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่มีกฎเกณฑ์ (random motion) หรือ การเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian motion) ซ้อนทับกับการเคลื่อนตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก กลไกหลักของการกำจัดอนุภาคโดยจากบรรยากาศคือการตกตัวหรือตกตะกอน (sedimentatio) ส่วนอนุภาคเล็ก จะถูกกำจัดโดยการแพร่ไปยังพื้นผิว และ โดยการรวมตัว (coagulation) กับอนุภาคเล็กและโตอื่น ๆ ทำให้ได้อนุภาคที่โตขึ้นและมีค่าความเร็วการตกตัวบั่นปลายที่สูงพอ

2.12 แรงต้านทานการรวมตัวและกลไกเชิงเฉื่อยของของไหล

แรงต้านทานของของไหล (fluid resistance) ซึ่งเกิดขึ้นกับอนุภาคทรงกลมขนาดโตกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยที่กำลังตกตัวในของไหลด้วยความเร็วบั่นปลาย u_t สามารถคำนวณได้จากกฎของสโตกส์ (Stokes' law) ดังนี้

$$F_r = 6\pi\mu u_t r$$

F_r คือ แรงต้านทานของของไหล μ คือ ความหนืดของของไหล และ r คือ รัศมีของอนุภาคกลม เนื่องจากอนุภาคกำลังตกตัวด้วยความเร็วบั่นปลายคงที่ (ไม่มีการเร่ง) แรงทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาคจะอยู่ในสมดุลเชิงพลวัต (dynamic equilibrium) นั่นคือผลต่างของแรงโน้มถ่วง และแรงลอยตัว (buoyant force) ที่กระทำต่ออนุภาคจะมีขนาดเท่ากับแรงต้านทานของของไหล ดังนั้น

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_p - \rho_f)g = 6\pi\mu u_t r$$

$$\text{หรือ} \quad u_t = \frac{2(\rho_p - \rho_f)g r^2}{9\mu}$$

ในที่นี้ ρ_p คือความหนาแน่นของอนุภาค ρ_f คือ ความหนาแน่นของของไหล และ g คือ อัตราความเร่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกสมการ สามารถเขียนรูปใหม่เป็น

$$u_t = \tau g$$

โดยที่ $\tau = \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho_p - \rho_f)}{\mu}$ τ มีหน่วยเป็นเวลาและมีชื่อเรียกว่า เวลาผ่อนคลาย (relaxation time) ของอนุภาคนั้น

ตารางที่ 2-4 รากกำลังสองของค่าเฉลี่ยของปริมาณกระจัดเชิงบราวเนียนยกกำลังสอง (root-mean-square Brownian displacement) $(\Delta x^2)^{1/2}$ ภายในเวลา 1 วินาที ความเร็วปั่นป่วน และเวลาผ่อนคลาย (relaxation time) ในกรณีของ ลูกทรงกลมความหนาแน่น 1 g/cm^3 ในอากาศที่ 760 mm Hg และ 20°C

รัศมีของอนุภาค (ไมครอน)	ปริมาณกระจัดเชิงบราว เนียน $(\Delta x^2)^{1/2}$ (cm)	ความเร็วปั่นป่วน	เวลาผ่อนคลาย
0.05	3.70×10^{-3}	8.71×10^{-5}	8.88×10^{-4}
0.1	2.01×10^{-3}	2.27×10^{-4}	2.31×10^{-5}
0.2	1.30×10^{-3}	6.85×10^{-4}	6.99×10^{-5}
0.5	7.43×10^{-4}	3.49×10^{-3}	3.59×10^{-5}
7.0	5.06×10^{-4}	1.29×10^{-2}	1.29×10^{-5}
5.0	2.26×10^{-4}	3.23×10^{-1}	3.30×10^{-4}
10.0	1.60×10^{-4}	1.29×10^{-1}	1.32×10^{-3}

หมายเหตุ กฎของสโตกส์ จะใช้ได้แม่นยำกับอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่โตกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยของโมเลกุลก๊าซแต่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของอนุภาค (particle Reynolds number) น้อยกว่าประมาณ 1.0 (นั่นคือ $Re_p = 2r\eta\rho/\mu \leq 1.0$) ในอากาศกฎของสโตกส์ จะมีความผิดพลาด 1 % สำหรับอนุภาคทรงกลมที่มีความหนาแน่น 1 g/cm^3 และรัศมี 17 ไมครอน และมีความผิดพลาด 5% สำหรับอนุภาคทรงกลมที่มีความหนาแน่น 1 g/cm^3 และรัศมี 29 ไมครอน

เมื่ออนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกับระยะทางอิสระเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศ(20)แรงต้านทานของอากาศจะกระทำต่ออนุภาคอย่างไม่ต่อเนื่อง (discontinuous) และ อนุภาคจะ “ลื่นไถล (slips)” ระหว่างโมเลกุลของอากาศ เหตุนี้ จึงมีความจำเป็นต้องใช้ตัวชดเชย (correction factor) กับสมการข้างต้น เพื่ออธิบายความเร็วที่อนุภาคตกเร็วขึ้น ตัวชดเชยนี้มีชื่อเรียกว่า ตัวชดเชยของคันทิงแฮม (Cunningham’s correction factor) คำนวณได้จากสมการ

$$C = 1 + A_1(\lambda/r) + B(\lambda/r) \exp(-br/\lambda)$$

C คือ ตัวชดเชยของคันทิงแฮม λ คือระยะทางอิสระเฉลี่ย (mean free path) r คือรัศมีของทรงกลม ส่วน A_1, B และ b คือ ตัวคงที่ของระบบ ในกรณีของอากาศที่ 20°C และ 1 บรรยากาศ ค่า

ของ λ จะเท่ากับ 0.0653 ไมครอน และค่าของ A_1, B และ b จะเท่ากับ 1.25 , 0.42 และ 0.87 ตามลำดับ

ตัวชดเชยนี้มีค่าเท่ากับ 1.19 และ 11.5 สำหรับทรงกลมที่มีรัศมี 0.5 และ 0.01 ไมครอน ตามลำดับ ความเร็วของอนุภาคจะแปรผันโดยตรงกับแรงที่กระทำต่ออนุภาค ตัวคงที่ที่ทำให้ความสัมพันธ์นี้เท่ากันมีชื่อเรียกว่าความเคลื่อนไหวย่าง (mobility) Z ของอนุภาค ดังนั้นในเขตใช้งานของกฎสโตกส์ และของการลื่นไถล (slip) จะได้

$$Z = C/6\pi\mu r$$

กรณีของอนุภาคทรงกลมขนาดโตที่มี $Re_p > 1.0$ ความเร็วการตกตัวนั้นปลายก็ยังสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$u_t = \{ 32/255 (\rho_p - \rho_f)^2 g^2 / \mu \rho_f \}^{1/3} r$$

เมื่อ $1 < Re_p < 500$ และ

$$u_t = \{ 6g(\rho_p - \rho_f)r / \rho_f \}^{1/2}$$

เมื่อ $500 < Re_p < 10^5$

อนุภาคทรงไม่กลม (nonspherical) จะตกตัวด้วยความเร็วช้ากว่าอนุภาคทรงกลมเพราะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักหนึ่งหน่วยมากกว่า ยกตัวอย่างเช่น อนุภาคทรงกลมจะตกตัวในอากาศนิ่งประมาณ 28 % เร็วกว่าอนุภาคทรงรี (ellipsoid) ที่มีความหนาแน่นเท่ากัน

2.13 การรวมตัว(39)

อนุภาคแอโรโซลจะเกาะติดกันเมื่อสัมผัสกัน กระบวนการรวมตัว (coagulation process) นี้ จะเกิดขึ้นตลอดเวลา (อย่างต่อเนื่อง) ในอากาศ และ นำไปสู่การเปลี่ยนการแจกแจงตามขนาดและปริมาตร (size and volume distribuion) ของแอโรโซล เมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของอนุภาคขนาดเท่ากันหมด จำนวน n อนุภาค ภายในปริมาตรคงที่ของโซล (sol) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการของ Smoluchowski

$$-dn/dt = Kn^2$$

K เป็นตัวคงที่ของระบบ สมการนี้บอกให้ทราบว่า อัตราที่ความเข้มข้นเชิงจำนวนอนุภาคลดน้อยลงเนื่องจากการรวมตัว จะขึ้นกับจำนวนอนุภาคที่มีอยู่ยกกำลังสอง และ ค่าคงที่ K เท่านั้น ถ้าความเข้มข้นเชิงจำนวนอนุภาคแรกเริ่มเป็น n_0 และเป็น n_t ที่เวลา t สมการสามารถ อินทิเกรตเป็น

$$1/n_t - 1/n_0 = Kt$$

ค่าทดลองของตัวคงที่ K โดยทั่วไปจะสูงกว่าค่าในทฤษฎี ค่าของ K จะขึ้นกับขนาดและสัมประสิทธิ์การแพร่ของแต่ละอนุภาค อุณหภูมิ ความดันและความหนืดของอากาศ ระดับของการไหลปั่นป่วน (degree of turbulence) และ ความแตกต่างมากน้อยของขนาดอนุภาคของแอโรโซล (aerosol polydispersity)

ในบรรยากาศ กลไกสำคัญสำหรับการรวมตัวของอนุภาคคือการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียนของอนุภาค(40)ปรากฏการณ์ของการรวมตัวเป็นสาเหตุใหญ่ที่อนุภาครัศมีเล็กกว่า

0.1 ไมครอน ในบรรยากาศลดจำนวนลงรวดเร็วและมีขนาดโตขึ้น อนุภาครัศมีเล็กกว่า

0.1 ไมครอน มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูง และอัตราการรวมตัวสูง อนุภาครัศมีโตกว่าประมาณ

0.3 ไมครอน มีค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ที่น้อยกว่ามาก และ ทำหน้าที่หลักเหมือนตัวจับ (acceptors) อนุภาคนาโนเล็กกว่าที่แพร่อย่างรวดเร็ว สรุปลแล้วอนุภาคนาโนเล็กส่วนใหญ่จะถูกกำจัดโดยกระบวนการรวมตัวซึ่งขึ้นอยู่กับการแพร่ (diffusion) แล้วกลายเป็นอนุภาคนาโนโตขึ้น ส่วนอนุภาคนาโนใหญ่จะถูกกำจัดโดยกระบวนการซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติเชิงเฉื่อย นั่นคือส่วนใหญ่โดยการตกตะกอน (sedimentation)

2.14 กลไกเชิงเฉื่อย (41)

การไหลโค้งของกระแสแอโรโซล สามารถปล่อยให้อนุภาคแขวนลอยไหลไปตามเส้นทางที่ผิดแผกจากเส้นทางไหลของก๊าซรอบ ๆ ได้ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะอนุภาคแขวนลอยมีความเฉื่อย (inertia) มากกว่า จึงไม่อาจเลี้ยวโค้งได้ทันที ดังนั้นวัตถุที่วางขวางกั้นเส้นทางไหลของกระแสแอโรโซลจะเก็บอนุภาคเหล่านี้ได้

ในการวิเคราะห์ การเกาะจับของอนุภาคจากกระแสการไหลลงบนสิ่งกีดขวาง ถ้าทำการวิเคราะห์โดยถือว่าอนุภาคเป็นเสมือนจุด (มีขนาดเล็ก มาก ๆ) ในกระแสก๊าซ แต่มีมวลมากกว่ามวลของก๊าซ กลไกการกำจัดอนุภาคนี้นี้จะเรียกว่า อิมแพคชัน (impaction) ในกรณีที่กำลังถึงขนาดอนุภาคแต่มีการคำนวณเส้นทางบิน (trajectory) ของอนุภาครอบ ๆ สิ่งกีดขวางนั้น เพื่อดูว่าเกิดการสัมผัสระหว่างอนุภาคกับผิวของสิ่งกีดขวางหรือไม่ กลไกการกำจัดอนุภาคนี้นี้จะเรียกว่า การ

สกัดกัน (interception) ในบางครั้ง อาจมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงกลไกอิมแพกชัน และ กลไกการสกัดกันพร้อม ๆ กัน ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของอุปกรณ์

ประสิทธิภาพที่อนุภาคถูกกำจัดออกจากกระแสแอโรโซลโดยอิมแพกชัน จะเป็นฟังก์ชันของตัวเลขสโตกส์ (Stokes'number) St สูตรคำนวณ St คือ

$$St = \frac{2u\rho_p r^2}{9\mu h} = S/h$$

h คือความยาวลักษณะเฉพาะ (characteristic length) ของสิ่งกีดขวาง และ S คือระยะหยุดของอนุภาค (stop distance of particle = ระยะที่จำเป็นในการลดความเร็วของอนุภาคจาก u ให้เหลือความเร็วช้ามาก) อนุภาคที่หนักและโต จะมีความเฉื่อยมาก และ ค่า S มาก ในกรณีของเจ็ต (jet) ของแอโรโซลที่พุ่งชนตั้งฉากกับแผ่นราบ h คือ ความกว้างครึ่งหนึ่งของเจ็ต ส่วนในกรณีการเก็บอนุภาคโดยอิมแพกชันที่วัดได้จากการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับค่าคำนวณจากทฤษฎี อนุภาครัศมีโตกว่า 15 ไมครอน ในอากาศจะถูกกำจัดโดยอิมแพกชันเชิงเฉื่อย (inertial impaction) และ/หรือโดยการสกัดกัน (interception) ของอาคาร ต้นไม้ รถยนต์ เป็นต้น แต่วาระดับมากน้อยที่แน่นอนของการกำจัดนี้ยังไม่เป็นที่ทราบกัน

2.15 คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงเคมีของอนุภาคในอากาศ

2.15.1 การแจกแจงตามขนาด(38)

ช่วงกว้างของขนาดอนุภาคในอากาศมีตั้งแต่ประมาณ 6×10^{-4} ไมครอน ถึง 2×10^1 ไมครอน ถ้าไม่คิดถึงเมฆ หมอก และ หยดน้ำฝน อนุภาคโตมาก ๆ จะอยู่ในอากาศได้ไม่นานเพราะมีมวลมาก และ อัตราการตกตัวสูง อนุภาคเล็กมาก ๆ มีประจุไฟฟ้าสถิตและมีความเคลื่อนไหวง่าย (mobility) สูง ซึ่งช่วยให้เกาะติดกับอนุภาคอื่น ๆ ได้ง่าย อนุภาคที่มีช่วงของขนาดต่าง ๆ กัน ภายในช่วงกว้างข้างต้น จะมีบทบาทสำคัญในปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในบรรยากาศ รูปที่ 2-15 เป็นรูปรวบรวมชื่อเรียก (nomenclature) ซึ่งนักอุตุนิยมวิทยาและนักฟิสิกส์ของเมฆใช้เรียกอนุภาคในบรรยากาศ ในรูปนี้ยังแสดงช่วงของขนาดของอนุภาคที่เกาะติดในระบบทางเดินหายใจของคนและช่วงของขนาดของอนุภาคที่วัดได้โดยวิธีเก็บตัวอย่าง 2 วิธี ที่เป็นที่ยอมรับในวงการมลภาวะทางอากาศสำหรับประเมินสารอนุภาคในบรรยากาศในตัวเมือง นั่นคือวิธีโถรับฝุ่นตก (dustfall jar) และวิธีวัดสารอนุภาคแขวนลอยโดยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูง (high volume air sampler)

ชื่อเรียก			อนุภาคแบบ Aitken	อนุภาค ขนาดใหญ่	อนุภาค ขนาดยักษ์			
ช่วงของขนาด-สำคัญสำหรับ :	ไฟฟ้า ของอากาศ	ไอออน ขนาดเล็ก	ไอออนขนาดใหญ่					
	ทัศนศาสตร์ (optics) ของบรรยากาศ			อนุภาค ในแฮส (haze)	หมอกน้ำค้าง (mist) และ หมอก (fog)			
	ฟิล์มของเมฆ			นิวเคลียสที่ว่องไว ต่อการควบแน่น				
	เคมีของอากาศ			อนุภาคที่เป็นมวลส่วนใหญ่ ของแอโรโซล				
	การหายใจเข้า โดยมนุษย์			การเกาะติดที่ส่วนล่าง ของทางหายใจ	การเกาะติด ที่ส่วนบนของ ทางหายใจ			
การวัดมลภาวะอากาศ อย่างกิจวัตร				สารอนุภาคแขวนลอย				
					ฝุ่นตก (dust fall)			
			10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2
			รัศมี (ไมครอน)					

รูปที่ 2-14 รวบรวมชื่อเรียกของแอโรโซลธรรมชาติ และ ความสำคัญของขนาดอนุภาคต่อปรากฏการณ์ในบรรยากาศและต่อการเกาะติดที่ส่วนบนและ ส่วนล่างของระบบ ทางเดินหายใจหลังสูดเข้าโดยมนุษย์

2.15.2 สภาวะของก๊าซ(42)

2.15.2.1 อุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิของก๊าซทั้งในปล่อง ใช้แท่งปรอทวัดอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์แบบโลหะคู่ (bimetallic thermometers) เทอร์โมคัปเปิล (thermocouples) เทอร์มิสเตอร์ (thermistors) และ ออปติคัลไพโรมิเตอร์ (optical pyrometer)

แท่งปรอทวัดอุณหภูมิ ใช้หลักการของการขยายตัวตามอุณหภูมิของปรอทในท่อปิดผนึกและ สามารถใช้งานในช่วงตั้งแต่ -30°C ถึง 260°C เทอร์โมมิเตอร์แบบโลหะคู่ใช้การยึดตัวตามอุณหภูมิที่ต่างกันของแผ่นโลหะต่างชนิดแต่สามารถวัดอุณหภูมิถึง 260°C เทอร์โมคัปเปิล คือการต่อคู่เส้นโลหะชนิดต่างกันเข้าด้วยกัน จะก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเชิงความร้อน ซึ่งแปรค่าตาม

ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายต่อสองข้างของคู่เส้นโลหะนั้น เทอร์มิสเตอร์ใช้คุณสมบัติที่ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ (เช่น เส้นทองคำขาว) เปลี่ยนค่าตามอุณหภูมิ และสามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -130°C ถึง 550°C ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 1600°C วัดอุณหภูมิโดยใช้หลอดไฟฟลูออโรเมเตอร์ (เครื่องวัดอุณหภูมิเชิงแสง) ซึ่งวัดปริมาณรังสีความร้อนที่เปล่งออกจากผิวของวัตถุร้อน

2.15.2.2 ความชื้น

ปริมาณของไอน้ำ หรือ ความชื้นในก๊าซซึ่งมีผลกระทบต่อความแม่นยำของการวัดมลสารในก๊าซในปล่อง วิธีวัดความชื้นของก๊าซซึ่งในปล่องจะขึ้นกับอุณหภูมิของก๊าซ มีอยู่ 2 วิธีคือ

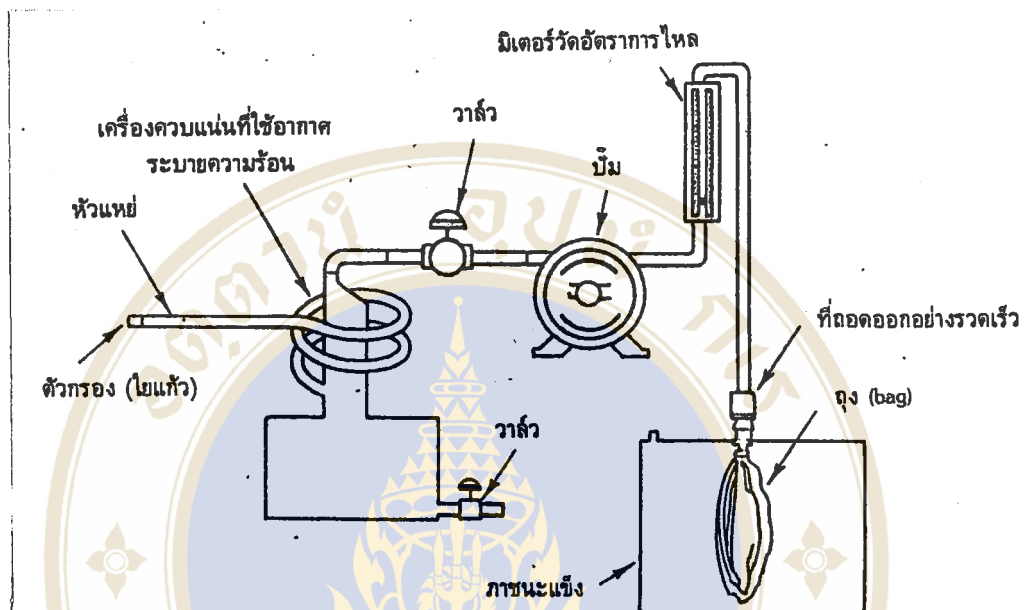
1. วิธีวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulb) ของก๊าซซึ่งที่ลดอุณหภูมิให้เหมาะสมแล้ว

2. วิธีดูดซับความชื้นด้วยโพแทสเซียมไบคลอไรด์ (potassium bichloride adsorption) ในกรณีของวิธีวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเปียก ก๊าซซึ่งจะถูกปล่อยให้เย็นตัวเหลืออุณหภูมิประมาณ 100°C ในระหว่างที่ไหลผ่านท่อคั้งตัวอย่าง แล้วจึงวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียก

วิธีดูดซับด้วยโพแทสเซียมไบคลอไรด์ ตัวอย่างของก๊าซซึ่งจะถูกคั้งให้ไหลผ่านท่อดูดความชื้นซึ่งใส่โพแทสเซียมไบคลอไรด์ไว้ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในก๊าซซึ่งจะหาได้จากผลต่างของน้ำหนักของโพแทสเซียมไบคลอไรด์ ก่อนและหลังการดูดความชื้นและจากปริมาณของก๊าซตัวอย่างที่คั้งผ่าน

2.15.2.3 ส่วนประกอบและความหนาแน่นของก๊าซซึ่ง

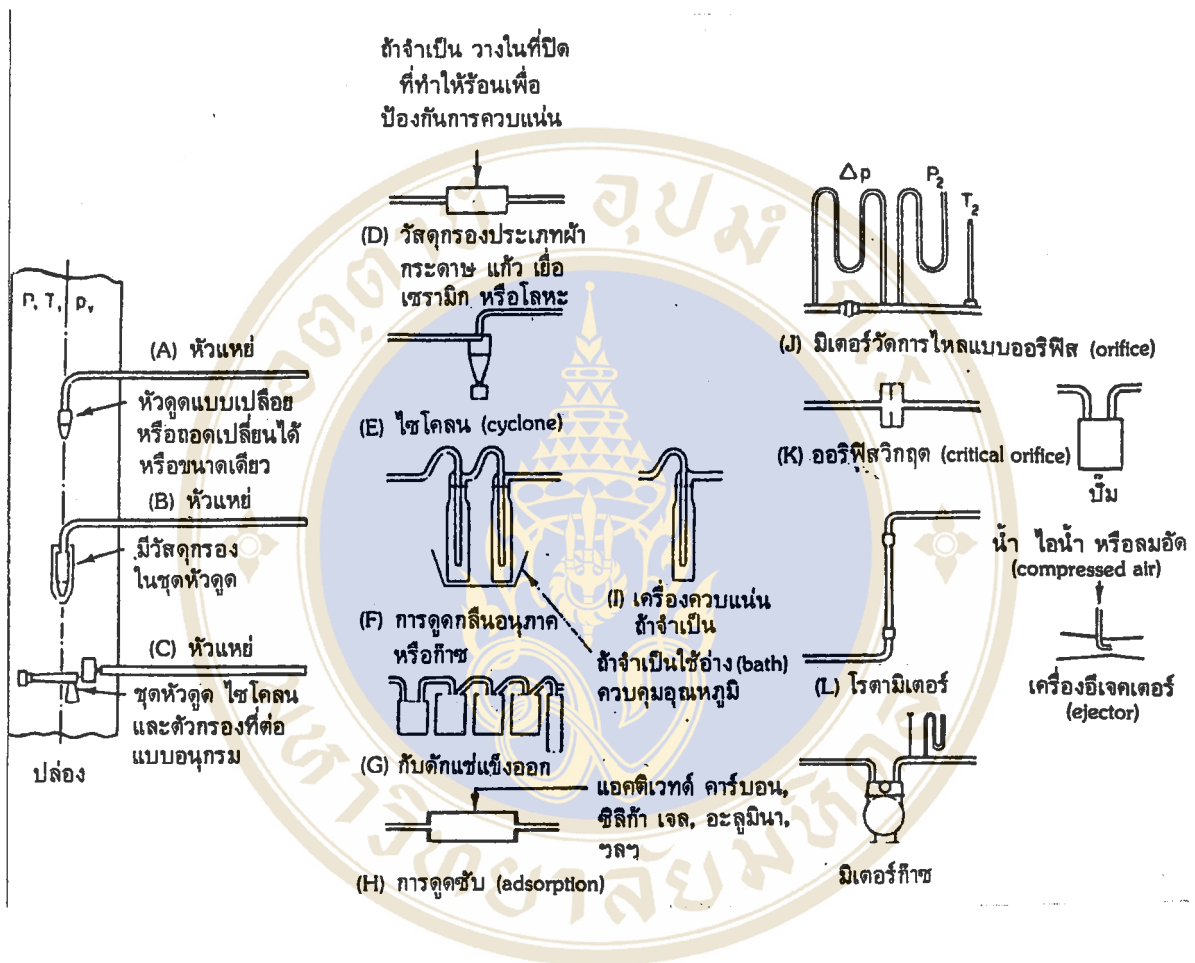
การคำนวณความเร็วและปริมาณการไหลของก๊าซซึ่งในปล่องและอัตราการปล่อยออกของมลสารในหน่วยของน้ำหนักของมลสารต่อน้ำหนักหนึ่งหน่วยของก๊าซซึ่ง จำเป็นต้องทราบส่วนประกอบและความหนาแน่นของก๊าซซึ่ง วิธีเก็บตัวอย่างก๊าซซึ่งสำหรับการวิเคราะห์ทำได้โดยวิธีหยิบฉวย (grab sampling) หรือ โดยกระบวนการเก็บตัวอย่างก๊าซแบบรวมหรืออินทิเกรต (integrated gas-sampling train)



รูปที่ 2-15 กระบวนการเก็บตัวอย่างก๊าซ แบบอินทิเกรต

ในกรณีของก๊าซที่เกิดจากการสันดาป (เตา หม้อไอน้ำ เป็นต้น) และจากกระบวนการผลิตทั่วไป การวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซทั้งหมด (ไม่รวมความชื้น) สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบออร์แซต เครื่องวิเคราะห์นี้จะวัดเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีอยู่ในก๊าซตัวอย่างแห้ง และ ถือว่าเปอร์เซ็นต์ที่เหลือในก๊าซทั้งหมดคือของก๊าซไนโตรเจน ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบของก๊าซทั้งหมดนี้ และ ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณความชื้นในก๊าซทั้งหมดสามารถใช้คำนวณน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและความหนาแน่นของก๊าซทั้งหมดและก๊าซที่ชื้นตามลำดับ

2.16 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างจากปล่อง(5)



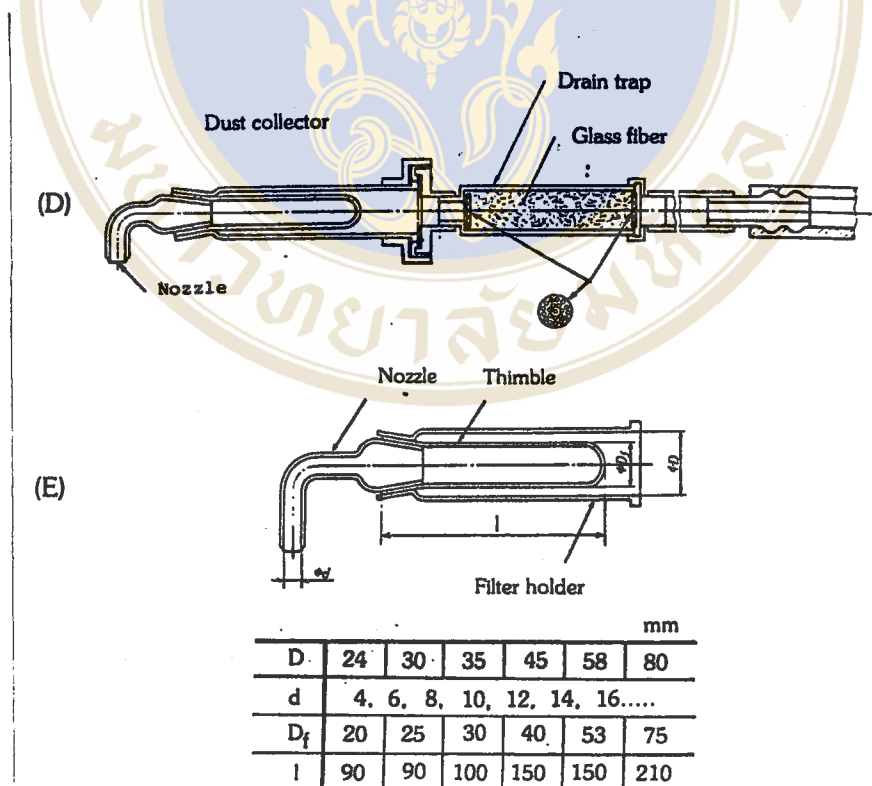
รูปที่ 2-16 ชิ้นส่วนของระบบเก็บตัวอย่าง

ชิ้นส่วนต่าง ๆ สำหรับเก็บตัวอย่างจากปล่องที่แสดงไว้ในรูป ระบบเก็บตัวอย่างที่เลือกใช้ จะขึ้นกับแหล่งเกิดที่ต้องการเก็บตัวอย่างมลสารที่เกี่ยวข้อง และ ข้อมูลที่ต้องการ ระบบเก็บตัวอย่างจะประกอบด้วยหัวแห่ต่าง ๆ ที่จะใส่เข้าไปในปล่องและอุปกรณ์สำหรับเก็บแยกมลสารที่ต้องการวัดออกจากก๊าซซึ่งถูกดึงผ่านหัวแห่

ข้อเสียใหญ่ของการใช้หัวแห่แบบ (A) ในรูป คือ ความยาวของท่อระหว่างหัวดูดและอุปกรณ์เก็บแยก ดังนั้น อาจเกิดการตกเกาะของมลสารในท่อส่วนนี้ได้ หัวแห่เช่นนี้มักจะมีฉนวนหุ้มและถูกทำให้ร้อนเพื่อป้องกันการควบแน่นของมลสารก๊าซและไอน้ำ ความผิดพลาดที่เกิดจากการตกเกาะของมลสารในหัวแห่แบบ (A) สามารถกำจัดได้โดยการใช้ชุดหัวแห่แบบ (B) และ (C)

ในรูป ซึ่งวางไว้ในกระแสดำอากาศโดยตรง และมีอุณหภูมิเท่ากับของกระแสดำอากาศ ดังนั้นปัญหาการควบแน่นจึงหมดไป รูป แสดงชุดหัวดูดตัวอย่างที่ดัดแปลงจากหัวดูดแบบ (B) ชุดหัวดูดแบบ (C) ในรูปจะมีไซโคลนขนาดเล็ก (miniature cyclone) และถ้าจำเป็นแถวอนุกรมของผ้ากรอง (fabric filter) ซึ่งทั้งหมดนี้จะวางไว้ในปล่องหรือท่อดำอากาศโดยตรง รูปแสดงรายละเอียดของชุดดังกล่าว

ตัวกลาง (วัสดุ) ที่ใช้กรอง (43) มีมากมายหลายประเภทในงานเก็บตัวอย่างดำอากาศ โดยปกติการเลือกประเภทจะคำนึงถึงแหล่งเกิดที่จะเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีใช้ ความจำเป็นในการวิเคราะห์ รายละเอียดของการทดสอบที่ระบุไว้สำหรับอุปกรณ์ทำอากาศให้สะอาด และ ความชอบส่วนบุคคล วัสดุกรองที่ใช้กันกว้างขวางที่สุดคือ แผ่นใยแก้ว (glass paper) ในกรณีที่ชุดอุปกรณ์อาศัยปลอก (thimble) สำหรับแยกสารอนุภาค การเลือกใช้กระดาษกรองหรือเซรามิกหรือ เส้นใยแก้ว จะถูกกำหนดโดยลักษณะสมบัติเฉพาะตัวของมัน กระดาษกรองมีขีดจำกัดในแง่อุณหภูมิ เซรามิกมีราคาแพงและน้ำหนักมาก และมีค่าความดันสูญเสียแรกเริ่มที่มาก เส้นใยแก้วอ่อนเปราะ (แตกหักได้ง่าย) และ หลุดลွ่ยได้



รูปที่ 2-17 ชุดส่วนประกอบของหัวเก็บตัวอย่าง หัวเหย้าสั้น และเครื่องเก็บรวบรวม

ผ้ากรองประเภทต่าง ๆ สามารถเย็บให้เป็นรูปท่อ (ถุง) หรือ ใช้เป็นชั้นบุแบบ เยื่อกรอง (membrane filter) ผ้าทอเส้นใยโลหะ และ ชั้นโลหะพรม มีใช้กันด้วย ระยะเวลาเก็บตัวอย่างของ อุปกรณ์แบบกรองทั้งหมดจะถูกกำหนดโดยความต้านทานต่อการไหลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมเพิ่มของวัสดุที่เก็บได้ ในกรณีที่ใช้ไซโคลนแห้ง (44,45) อยู่ภายนอก หรือ ใช้เครื่องสกรับเบอร์เปียก เช่น เครื่องอิมพินเจอร์ (46) เป็นอุปกรณ์เก็บแยกโดยไม่ใช้ตัวกลางกรองในระบบเก็บตัวอย่าง การเพิ่มสะสมของความต้านทานโดยทั่วไปจะไม่มี เพราะอุปกรณ์ดังกล่าวมีค่าความดันสูญเสียที่คงที่ (ถ้าอัตราการไหลคงที่) ถ้าทำการสอบเทียบไว้ก่อน อาจใช้ไซโคลนเป็นเครื่องวัดอัตราการไหลได้ด้วย

2.16.1 วิธีปฏิบัติ

วิธีปฏิบัติในการเก็บตัวอย่าง คือ ให้สอดหัวแห่เข้า เปิดเครื่องดูดเข้า และเก็บรักษาหัวแห่ไว้ที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างอย่างถูกต้อง เพียงระยะเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ถ้าความดันในปล่องต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เมื่อเวลาปิดเครื่องดูดของระบบเก็บตัวอย่างควรหาของอุดปลายที่เปิดออกสู่อากาศ เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับผ่านระบบเก็บตัวอย่าง

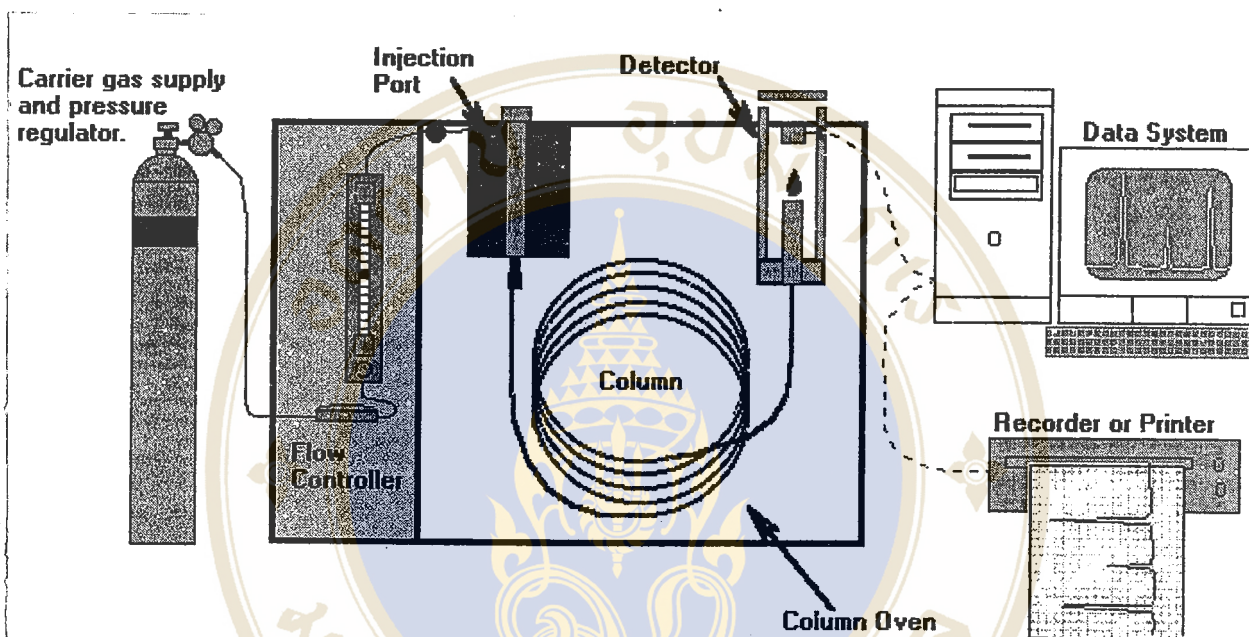
2.16.2 ระยะเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง(47,48)

ไม่ว่าการเก็บตัวอย่างจากปล่องในกรณีใด การเลือกใช้อุปกรณ์และเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง ต้องคำนึงถึงความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ต้องการ ในกรณีที่ใช้ผลดังกล่าวในการตัดสินใจรับหรือปฏิเสธอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ เรามีความจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนเก็บตัวอย่างที่เที่ยงตรง และต้องเรียกชื่อผลลัพธ์ที่แม่นยำ จะต้องทำการเก็บตัวอย่างที่จุดจำนวนมากเป็นช่วงเวลาที่นานพอ บนพื้นที่หน้าตัดหลายผืนของปล่อง ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจะยาวนาน ยกตัวอย่าง ในกรณีของปล่องสี่เหลี่ยมขนาด 5ft x 5ft (152.4 cm. x 152.4 cm.) การเก็บตัวอย่างที่เที่ยงตรงจะต้องการให้วัดความเร็วที่จุดใจกลางของสี่เหลี่ยมเล็ก จำนวน 25 จุด โดยใช้เวลาเก็บตัวอย่างที่นานเท่ากันที่ทุก ๆ จุด ในกรณีที่สนใจสารอนุภาคด้วย การเก็บตัวอย่างต้องเป็นแบบไอโซไคเนติก และการวัดอัตราการไหลของก๊าซต้องทำได้แม่นยำ ถ้าสมมุติว่าการเก็บตัวอย่างที่แต่ละจุดกินเวลา 10 นาที เวลาค้นหาที่น้อยที่สุดที่ใช้ จะเป็น 250 นาที ถ้ารวมเวลาสำหรับการเคลื่อนย้ายหัวแห่และอื่น ๆ เวลาค้นหาที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้คือ ประมาณ 5 ชั่วโมงต่อพื้นที่หน้าตัด 1 ผืน เวลาที่ใช้เก็บตัวอย่างอาจลดให้สั้นลงได้ โดยการใช้อัตราการเก็บตัวอย่าง 2 จุด หรือ มากกว่า พร้อม ๆ กัน

2.17 หลักการของแกสโครมาโตกราฟี(49)

ในการใช้ทฤษฎีของโครมาโตกราฟี จะต้องมีการตั้งสมมติฐานตามสมมติฐาน ได้แก ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในทั้งสองเฟส จะอยู่ในสมดุลตลอดเวลาการแพร่กระจายของ

ตัวถูกละลายในโมบายเฟสตามแนวของคอลัมน์ ถือว่าน้อยมากจนไม่นำมาคิด (ตัดทิ้งได้) สารที่บรรจุในคอลัมน์มีขนาดและการบรรจุสม่ำเสมอ



รูปที่ 2-18 อุปกรณ์สำหรับการทำ Gas Chromatography

2.17.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเพลท (plate Theory)

(Martin and Synge : 1941) มีการนำเอาทฤษฎีเกี่ยวกับเพลท มาใช้กับพาร์ทิชันโครมาโตกราฟี (Partition chromatography) ทฤษฎีนี้สมมุติว่าคอลัมน์แบ่งเป็นชั้น ๆ และมีความสูงระหว่างชั้น (height equivalent to a theoretical plate ; HETP) โดยสมมุติว่า จะเกิดการสมดุลระหว่างแก๊สเฟส กับ ลิควิดเฟส (Liquid phase) ในแต่ละชั้น (50) สำหรับสารแต่ละชนิดในคอลัมน์เดียวกัน ทางเทคนิคทางโครมาโตกราฟีแล้ว ไม่จำเป็นต้องมีจำนวนเพลทตามทฤษฎี และ HETP เท่ากัน เพราะจำนวนเพลทนั้นวัดจากความกว้างของพีคของสารเดียว

2.17.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอัตราความเร็ว (Rate theory)

ทฤษฎีเกี่ยวกับ อัตราความเร็วนี้ขึ้นกับอัตราการถ่ายเทของมวลระหว่างสเตรชั่นเนรีเฟสและโมบายเฟส อัตราการแพร่กระจายของตัวถูกละลายในคอลัมน์ อัตราความเร็วของแก๊สพา

และไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamics) ของโมบายเฟส สาเหตุที่มีอิทธิพลต่อขบวนการทางแก๊สโครมาโตกราฟีไว้ดังนี้

การแพร่กระจายในโมบายเฟสจากธรรมชาติไปในทิศทางของการไหล

การแพร่กระจายในลักษณะตามแนวยาวในโมบายเฟส

การแพร่กระจายในอนุภาค

ขนาดของอนุภาค

จากโครมาโตแกรมที่ได้ สามารถบอกถึงความสามารถในการแยกสาร โดยมองจากเหตุผล 2 อย่างได้แก่

1. จุดศูนย์กลางของสารแต่ละโซน (Zone) แยกจากกันหรือเปล่า

2. โซน (Zone) นั้น ๆ อยู่ใกล้ชิดกันมากน้อยเพียงใด

การที่โซนจะแยกออกจากกันดีมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการแพร่กระจายแบบ

ธรรมดา

(Ordinary diffusion) การแพร่กระจายแบบเอ็ดดี้ (Eddy Diffusion) และความไม่สมดุลเฉพาะแห่ง

2.17.3 โซลิดซัพพอร์ต (Solid Support)

การเลือกโซลิดซัพพอร์ต ต้องนึกถึงสิ่งสำคัญอยู่ 2 ประการคือ

1. โครงสร้าง

2. ลักษณะของพื้นผิว (Surface characteristics)

กลไกของการกำจัดตำแหน่งที่จะเกิดการดูดซับ สำหรับการใช้กรดล้าง ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่การใช้ซิลานอลกรุปทำปฏิกิริยา (51) จะใช้ DMCS (Dimethyl dichlo rosilane) เป็นตัวทำปฏิกิริยา

2.17.4 โมบายเฟส (Mobile phase)

การใช้แก๊สพา (Carrier gas) เป็นโมบายเฟส ทำให้เกิดสมดุลระหว่างเฟสในคอลัมน์ โมบายเฟสที่เป็นแก๊ส สามารถที่จะเคลื่อนที่ได้เร็วจึงสามารถใช้คอลัมน์ยาวได้

ตารางที่ 2-5 ปริมาณของสารที่บรรจุในคอลัมน์อย่างคร่าว ๆ (g/ft)

Mesh Size of Support	Type of Metal Tubing	O.D. (Inched) of Tubing	G A S C H R O M S,A,P,Z,O	GAS CHROM R,RA,RP, Rz , Chromosorb P	Chromosorb	Chromosorb	Porous Polymer Beads
45/60	SS	1/8	0.45 ²	0.55	0.5	-	-
		3/16	-	2.1	-	-	-
		1/4	-	4.0 ³	2.8 ²	4.6	-
60/80	SS	1/8	0.4	0.6	0.4	0.75	0.5
		1/4	2.4	3.5	2.8	4.6	2.5
80/100	SS	1/8	0.45	0.6	0.45	0.8	0.5
		1/4	2.7	3.7	2.9	4.7	2.6
100/120	SS	1/8	0.5	0.6	0.5	0.8	0.5
		1/4	2.7	3.7	2.9	4.7	2.8 ²
45/60	Al	1/8	-	0.4 ³	0.3 ³	-	-
60/80	Al	1/8	0.25 ²	0.4	0.25 ²	-	-
		1/4	1.4	2.8 ²	-	3.2	-
		3/8	5.1	6.8 ³	-	10.3	-
80/100	Al	1/8	0.3	0.4	0.3 ²	-	-
		1/4	1.7	-	-	-	-
		3/8	5.3 ²	-	-	-	-
100/120	Al	1/8	0.3	0.45 ²	-	-	-
		1/4	1.7 ²	-	-	-	1.6 ³
		3/8	5.3 ²	-	-	-	5.0
45/60	Cu	1/4	-	3.4	-	-	-
60/80	Cu	1/8	0.3	0.35 ²	-	-	-
		1/4	1.6	3.2 ³	-	-	-
80/100	Cu	1/8	0.3	0.45 ²	0.3	-	-

1 Porous Polymer Beads must be packed tightly ; figures are thought ² Estimated.

2 Limited data to be minimum acceptable value.

(Reproduced from Applied Science Laboratories , Inc. GAS-CHROM Newsletter, Jan/Feb. 1970, Technical Bulletin No.7, p.4)

โมบายเฟส เป็นส่วนหนึ่งในหลายส่วนของแกสโครมาโตกราฟี ที่มีความสำคัญ ฉะนั้น การไหลของก๊าซต้องให้อัตราความเร็วที่คงที่และสม่ำเสมอตลอดเวลา เพื่อให้ได้วัตถุประสงค์นี้จึง จำเป็นที่จะต้องมียูปรณ์ส่วนอื่น ๆ ช่วย (52) คือ

ถังแกส หรือ แหล่งผลิตแกส (Gas Cylinder หรือ Generator) โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้จาก ที่มีผลิตออกขายตามท้องตลาด ซึ่งจะไปต่อกับทางเข้าของแกสพาที่ตัวเครื่องแกสโครมาโตกราฟี โดยมีวาล์ว

ตัวทำให้แกสบริสุทธิ์ (Purifier) แกสที่ซื้อโดยทั่วไปมักจะมีสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการอยู่ ดังเช่น ไขมัน ออกซิเจน และ น้ำ ซึ่งถ้ามีสิ่งเจือปนเหล่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์นั้นลดลงไป และยังไปทำให้ตัวตรวจสอบ (detector) เสื่อมอายุ และ ประสิทธิภาพลดลง 105°C การกำจัดออกซิเจนทำได้โดยผ่านแกสพानीไปบนแคตตาไลสต์ (ทองแดงหรือนิกเกิล) ที่อุณหภูมิ $100-105^{\circ}\text{C}$ การกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ทำได้โดยวิธีเดียวกัน แต่เปลี่ยนอุณหภูมิขึ้นไปเป็น 600°C โลหะแพลเลเดียม (Palladium) มีประสิทธิภาพดีมากในการกำจัดออกซิเจนออกจากไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์อาจจะกำจัดได้โดยการผ่านแกสไปบนโซดาไลม์ (soda-lime) หรือ โซดาแอสเบสโทส (soda-asbestos) ส่วนไขมันนั้นสามารถจะกำจัดโดยใช้ผงถ่าน และ ใช้โมเลกุลารีฟ (Molecular sieve) ในการกำจัดน้ำ

เครื่องควบคุมความดันและอัตราการเร็วของแกส (Pressure and / or Flow Controls)

เครื่องวัดความดัน (Pressure-Measuring Device)

เครื่องวัดอัตราการเร็วของแกส (Flowmeter) ที่ใช้โดยทั่วไป และมีราคาถูกก็คือชนิดใช้ฟองสบู แกสทุกชนิดสามารถจะนำมาใช้เป็นแกสพาได้ ถ้าไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างและสเตรนเนอร์เฟส คุณสมบัติอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณา เช่น ชนิดของตัวตรวจสอบ ถ้าเป็นตัวตรวจสอบชนิดเทอร์มอลคอนดักทิวิตี (thermal conductivity detector) ต้องใช้แกสที่มีค่าการนำความร้อนสูง เพราะค่าการนำความร้อนของแกสนั้นเป็นสัดส่วนกลับกับรากที่สองของน้ำหนักโมเลกุล ดังนั้นแกสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะเหมาะสม

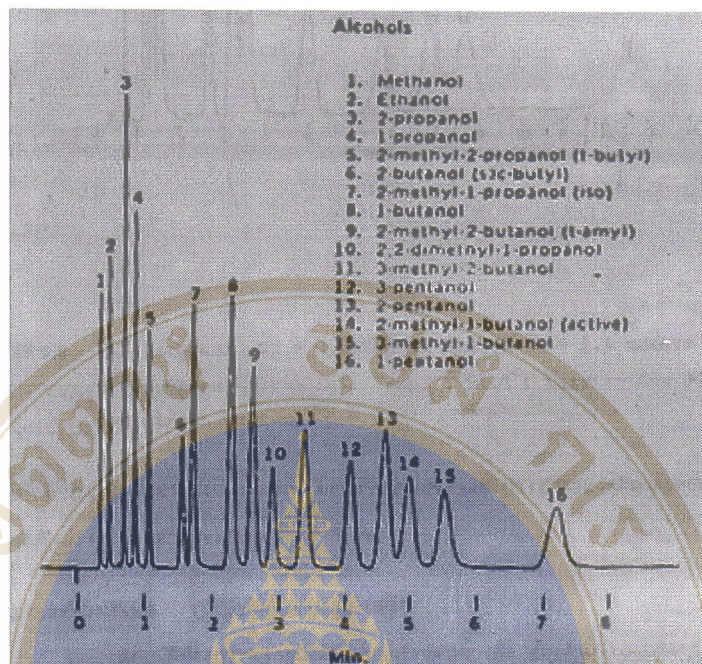
2.17.5 สเตชันนารีเฟส (Stationary phase)

ในเทคนิคของแกสโครมาโตกราฟี เพื่อความเหมาะสมกับการแยกสารชนิดต่าง ๆ ต้องมีเกณฑ์การพิจารณาแบบคร่าว ๆ ดังนี้

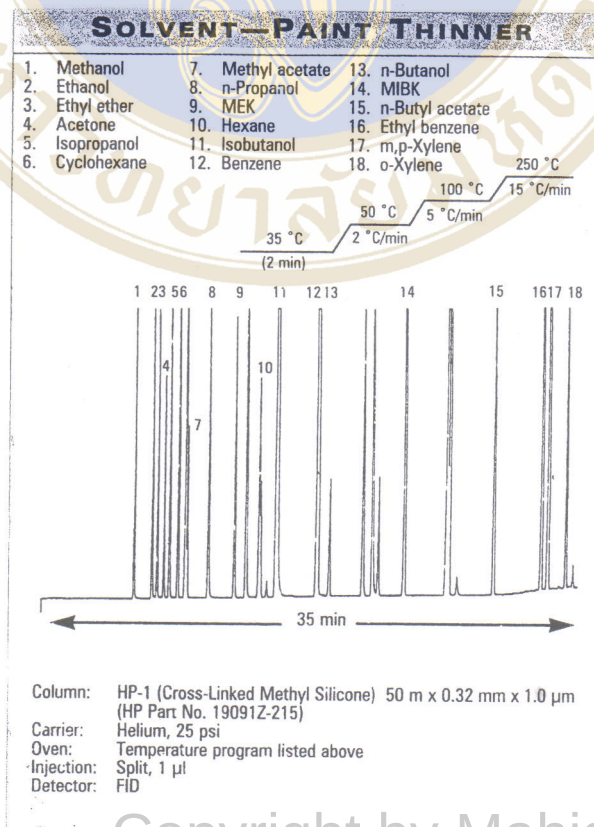
สเตรนเนอร์เฟส ต้องเหมาะสมสำหรับชนิดของสารที่จะแยก

ปฏิกิริยาที่เกิดระหว่าง สเตชันนารีเฟสกับสารที่ต้องการแยกต้องเป็นปฏิกิริยาไม่ผันกลับ

ความดันไอ อุณหภูมิ ที่ทำการทดลองต้องเสถียร



รูปที่ 2-19 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของตัวทำละลายในกลุ่มของแอลกอฮอล์



รูปที่ 2-20 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของตัวทำละลายในกลุ่มของทินเนอร์

บทที่ 3

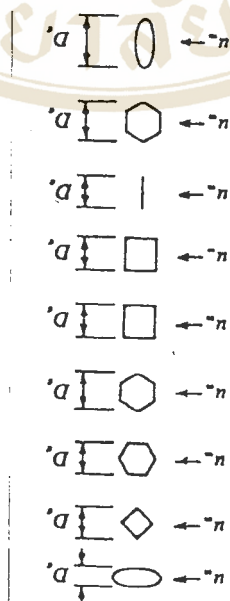
ระเบียบวิธีและการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงการทดลอง เพื่อทำการทดลองสร้างอุปกรณ์สำหรับกำจัดไอระเหยของสารเคลือบผิวข้อมูลประกอบศึกษาวิจัยได้จากการจัดเก็บจากเอกสารแล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อให้ได้รูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ทำการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้ในการงานตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ จากบทบทวนวรรณกรรมและภาคผนวก ผู้ทำการวิจัยได้กำหนดตัวแปรที่สำคัญเพื่อทำการศึกษาเอาไว้ 3 ตัวแปร ได้แก่ ความเข้มข้นของ สารปนเปื้อนในสภาวะก๊าซของสารเคลือบผิวก่อนการกำจัด ปริมาณ สารปนเปื้อนที่ถูกกำจัดหมดไปหรือเป็นที่ยอมรับได้ตามกฎหมายและอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัด

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารเคลือบผิว

- ศึกษาองค์ประกอบของสารเคลือบผิวจากเอกสารคู่มือการใช้
- ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ เมื่อทราบปริมาณสารปนเปื้อนในอากาศก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ จากเอกสารอ้างอิง

3.2 การสำรวจเบื้องต้นเพื่อออกแบบอุปกรณ์กำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว



รูปที่ 3-1 รูปหน้าตัดของท่อ

ทำการสำรวจ 3 องค์ประกอบ ได้แก่

- เส้นผ่านศูนย์กลาง
- รูปทรง
- ความยาว

3.2.1 การสำรวจเพื่อใช้กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ ที่จะทำการสร้างโดยดูจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพัดลมระบายอากาศที่ใช้อยู่ในสถานประกอบการ

ตารางที่ 3 – 1 จำนวนพัดลมดูดอากาศในสถานประกอบการพันสารเคลือบผิวแบ่งตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เส้นติเมตร)		≤ 15	30	≥ 40
ลำดับที่				
1		-	4	-
2		-	-	-
3		-	-	-
4		-	2	1
5		-	-	-
6		-	10	-
7		-	-	-
8		-	5	-
9		-	-	-
10		-	-	-
11		-	-	-
12		-	-	-
13		-	-	-
14		-	-	-
15		-	-	-
16		-	-	-
17		-	-	-

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เส้นติเมตร) ลำดับที่	≤ 15	30	≥ 40
18	-	-	-
19	1	-	-
20	-	-	-
21	-	-	-
22	-	-	-
23	-	-	-
24	-	-	-
25	-	4	-
26	-	-	-
27	-	-	-
28	-	-	-
29	-	-	-
30	-	-	-
31	-	-	-
32	-	-	-
33	-	-	-
34	-	-	-
35	-	6	-
36	-	-	-
37	-	-	-
38	-	-	-
39	-	-	-
40	-	-	-
41	-	-	-
42	-	-	-
43	-	-	-

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซ็นติเมตร) ลำดับที่	≤ 15	30	≥ 40
44	-	16	-
45	-	-	-
46	-	-	-
47	-	-	-
48	-	-	-
49	-	-	-
50	-	-	-
รวม	1	49	4

3.2.2 การสำรวจเพื่อใช้กำหนดรูปทรงของอุปกรณ์ที่จะทำการสร้าง โดยดูจากรูปทรงของท่อระบายอากาศที่ใช้อยู่ในสถานประกอบการ 50 แห่ง ที่มีพัดลมดูดอากาศ

ตารางที่ 3 – 2 จำนวนท่อระบายอากาศในสถานประกอบการพันสารเคลือบผิวแบ่งตามลักษณะรูปทรง

รูปทรง ลำดับที่	ทรงกระบอกกลม	ทรงกระบอกสี่เหลี่ยม	ทรงอื่น	หมายเหตุ
1	-	-	-	เรียงตามลำดับสถานประกอบการพันสารเคลือบผิว
2	-	-	-	
3	2	-	-	
4	-	-	-	
5	-	1	-	
6	-	-	-	
7	-	-	-	
8	-	-	-	
9	4	-	-	
รวม	6	1	-	-

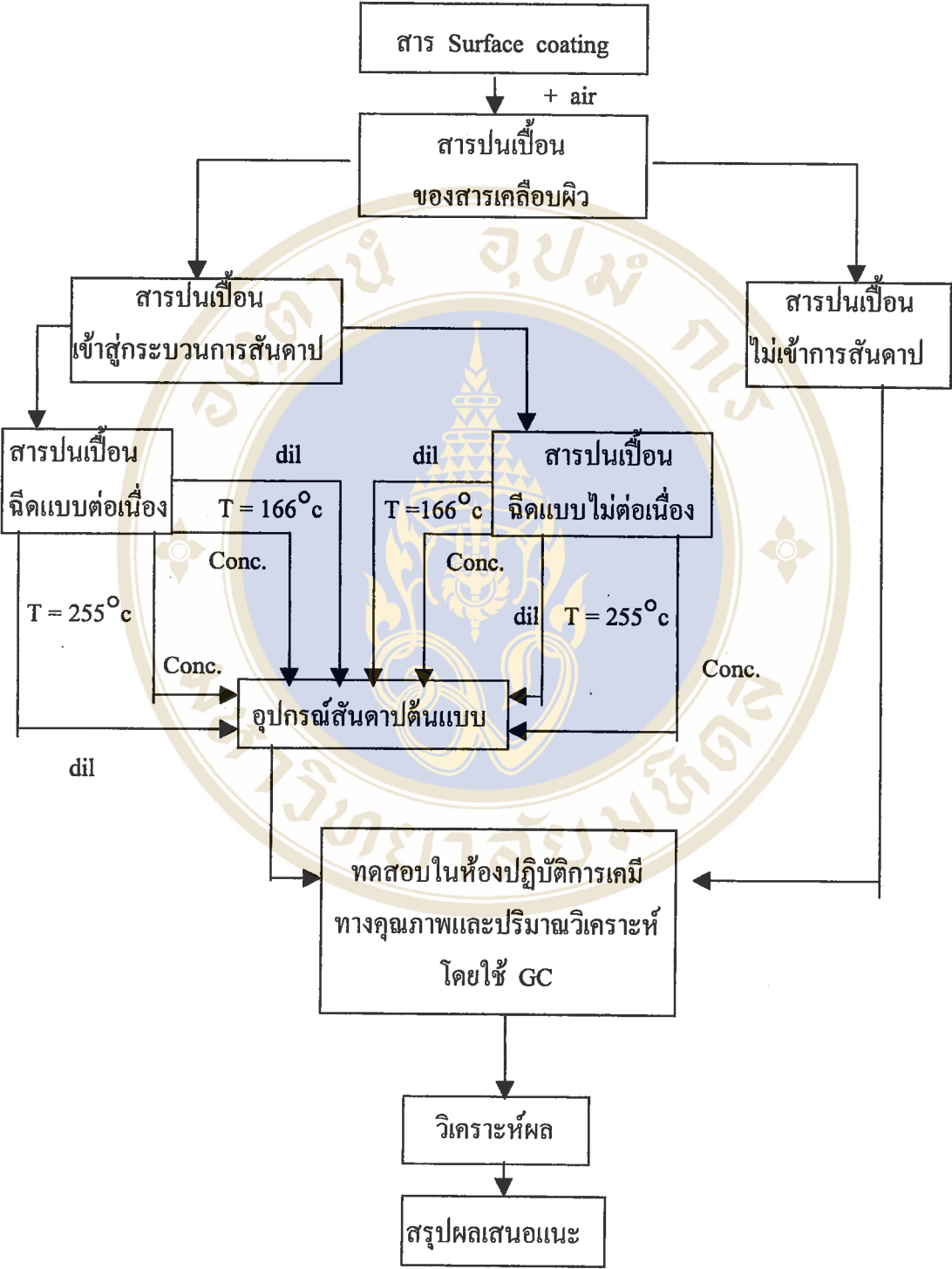
ที่มา : จากการสำรวจ ฯ

3.2.3 การสำรวจเพื่อใช้กำหนดความยาวของอุปกรณ์ ที่จะทำการสร้างโดยกำหนดให้มีขนาดเท่ากันความยาวเฉลี่ยของกันสาดชายหลังคาของสถานประกอบการพันสารเคลือบผิว

การสร้างอุปกรณ์

- อุปกรณ์ทำจากเหล็กแผ่นที่ได้จากถังใส่น้ำดื่มทรงลูกบาศก์มีความหนา 2 มิลลิเมตร เนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีฉนวนกันระหว่างขดลวดนำความร้อนกับแผ่นเหล็กโดยใช้กระเบื้องปูพื้นตัดเป็นแผ่นเนื่องจากกระเบื้องปูพื้นสามารถทนความร้อนในระดับที่กำหนดไว้ได้
- การพัดขดลวดความร้อนในระหว่างแฉกมีความห่าง 10 เซนติเมตร จำนวน 3 แฉก เมื่อมองจากด้านหน้าจะมีมิติเป็นรูปดาบท้าย
- อุปกรณ์การควบคุมอุณหภูมิใช้อุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติ กำหนดอุณหภูมิของอุปกรณ์อยู่ในช่วง $166^{\circ}\text{C} - 258^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดของจุดวาบไฟของสารเคลือบผิวและอุณหภูมิที่เพิ่มจากจุดวาบไฟ 50 %
- เส้นผ่านศูนย์กลาง รูปทรงด้านหน้า ด้านข้างและความยาวของอุปกรณ์อ้างอิงจากผลการสำรวจในภาคสนามตามข้อ 3.2

3.3 กำหนดกรอบวิธีการสร้างสารปนเปื้อน



รูปที่ 3-2 กรอบวิธีการสร้างสารปนเปื้อนของสารเคลือบผิวเพื่อใช้ทำการวิจัย

ตารางที่ 3-3 แสดงกลุ่ม สารปนเปื้อนที่ใช้ในการวิจัยด้วยอุปกรณ์ต้นแบบ

ลำดับที่	ลักษณะของการปน สารปนเปื้อน	อุณหภูมิ (°C)	จำนวนครั้งการ ทดสอบ	มาตรฐานการ ทดสอบ
1	แบบต่อเนื่อง ความเข้มข้นต่ำ	จุดวาบไฟสูงสุด	5	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)
		166		
		จุดอุณหภูมิสูงสุด ของเครื่อง	5	
2	แบบต่อเนื่อง ความเข้มข้นสูง	166	5	
		255	5	
3	แบบไม่ต่อเนื่อง ความเข้มข้นต่ำ	166	5	
		255	5	
4	แบบไม่ต่อเนื่อง ความเข้มข้นสูง	166	5	
		255	5	
รวม	-	-	40	-

กำหนดกลุ่มสาร สารปนเปื้อนจากเครื่องพ่นสารเคลือบผิวโดยใช้ความดันในระดับต่าง ๆ ดังตาราง

ตารางที่ 3-4 แสดงกลุ่มตัวอย่างของ สารปนเปื้อนจากเครื่องพ่นสารเคลือบผิวโดยใช้
ความดันควบคุม ณ ระดับต่าง ๆ

ลำดับที่	ความดันของการพ่นสารเคลือบผิว (kg / cm ³)	จำนวนครั้งของการพ่น
1	4.5	10
2	5.5	10
3	6.5	10
รวม	-	30

หมายเหตุ ; ใช้เครื่องพ่นชนิด Air spraying

3.4 การสร้างสารปนเปื้อนสำหรับการทดลอง

3.4.1 อุปกรณ์สร้างสารปนเปื้อน

1. Air pressure prmp

ในการทดลองจะมีการพ่นด้วยความดัน 3 ค่า ได้แก่ 4.5 ,5.5 และ 6.5 kg/cm² ในแต่ละค่าความดันจะมีการพ่น 10 ซ้ำ

2. สเปรย์กระป๋อง (Spraying Can)

ในการทดลองจะแบ่งกลุ่มความเข้มข้นออกเป็น 4 กลุ่มได้แก่

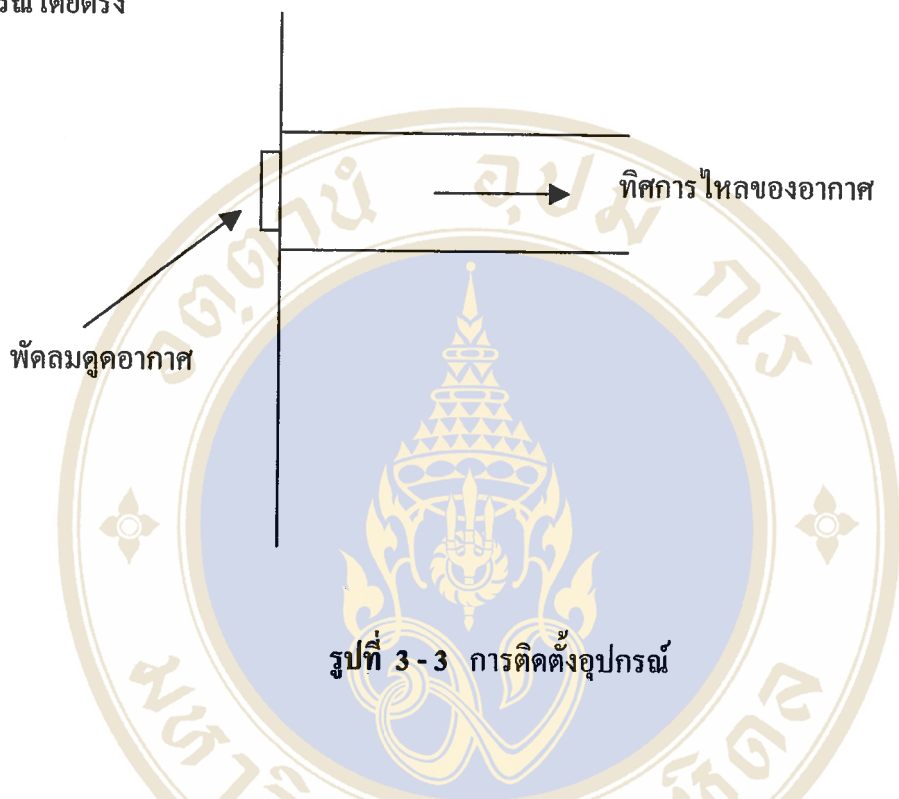
- 1) กลุ่มความเข้มข้นต่ำฉีดแบบต่อเนื่อง พ่น 10 ครั้ง
- 2) กลุ่มความเข้มข้นต่ำฉีดแบบไม่ต่อเนื่อง พ่น 10 ครั้ง
- 3) กลุ่มความเข้มข้นสูงฉีดแบบต่อเนื่อง พ่น 10 ครั้ง
- 4) กลุ่มความเข้มข้นสูงฉีดแบบไม่ต่อเนื่อง พ่น 10 ครั้ง
 - การพ่นความเข้มข้นสูงใช้สเปรย์กระป๋อง 3 กระป๋อง
 - การพ่นความเข้มข้นต่ำใช้สเปรย์กระป๋อง 1 กระป๋อง
 - การพ่นแบบต่อเนื่องจะฉีดก่อนเก็บตัวพ่น 30 วินาที และจะหยุดพ่นเมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จแล้ว
 - การพ่นแบบไม่ต่อเนื่องจะพ่น 10 วินาที หยุด 10 วินาที ก่อนเก็บตัวอย่าง 30 วินาที และจะหยุดพ่นเมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จแล้ว

3.4.2 ระยะห่างตำแหน่งที่พ่นสารเคลือบผิวกับอุปกรณ์กำจัดสารปนเปื้อน

ตำแหน่งที่ทำการฉีดพ่นต่างจากจุดติดตั้งอุปกรณ์กับพัดลมเป็นระยะทางในช่วง 2-3 เมตร

3.5 วิธีการทดลองอุปกรณ์

3.5.1 การติดตั้งอุปกรณ์ ทำการติดตั้งด้านนอกอาคารในลักษณะตั้งฉากกับผนัง ปลายด้านหนึ่งของอุปกรณ์เชื่อมต่อกับพัดลมดูดอากาศ ในลักษณะให้อากาศไหลผ่านภายในอุปกรณ์โดยตรง



3.5.2 การเก็บตัวอย่างสารปนเปื้อน

ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างเฉพาะของเครื่อง GC ไม่อยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของพัดลมดูดอากาศ และด้านท้ายของอุปกรณ์ที่เปิดทำงานเป็นเวลา 10 วินาที และทำการเก็บอุปกรณ์พร้อม ๆ กัน แล้วนำสารปนเปื้อนที่เก็บได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC เพื่อหาปริมาณ

3.6 การวิเคราะห์และประมวลผลการวิจัย

ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโครมาโตแกรมเปรียบเทียบก่อนและหลังสารปนเปื้อนผ่านอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

1.6.1 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพหลังสารปนเปื้อนผ่านอุปกรณ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมต่อความเข้มข้นของสารปนเปื้อนจากโครมาโตแกรมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมมีค่าตรงตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 หรือไม่ตรงตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540

3.6.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์วิจัย

1. ขั้นรวบรวมผลการสำรวจและการออกแบบอุปกรณ์ ใช้สถิติร้อยละและค่าฐานนิยมเพื่อวิเคราะห์การใช้พัดลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูปทรงของอุปกรณ์และความยาวของอุปกรณ์ เนื่องด้วยจะเป็นการบอกถึงความนิยมของผู้ใช้ได้ดีที่สุด
2. การวิเคราะห์ผลของการสัปดาห์ของอุปกรณ์ ใช้สถิติร้อยละเพื่อบอกปริมาณการลดของสารปนเปื้อนโดยการเปรียบเทียบสารปนเปื้อนก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์
3. การวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ เปรียบเทียบระหว่างผลการสัปดาห์สารปนเปื้อนที่พ่นด้วยเครื่องอัดอากาศ ณ ความดันต่าง ๆ กับผลการสัปดาห์สารปนเปื้อนที่พ่นด้วยสเปรย์กระป๋องที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบลักษณะการพ่นว่ามีผลกระทบต่อผลการวิจัยหรือไม่ โดยใช้สถิติไคสแควร์ (χ^2)

3.7 ขั้นตอนการสรุปผลและข้อเสนอแนะในการวิจัย

หลังจากที่ทำการวิเคราะห์ผลการวิจัย แล้วทำการสรุปผลการวิจัยตามหัวข้อที่อ้างไว้ในวัตถุประสงค์การวิจัยทั้งหมด โดยแยกเป็นประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ประเด็นของลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารปนเปื้อนเมื่อผ่านการสัปดาห์แล้วจะมีผลกระทบเป็นอย่างไร โดยดูจากกราฟแล้วอ้างอิงเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม
- 2) ประเด็นของรูปทรงของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้จริงและแนวทางเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป
- 3) ประเด็นของความเป็นไปได้ในการใช้อุปกรณ์ มาเพื่อใช้งานจริง และมีความเป็นไปได้อยู่ในระดับใด



บทที่ 4

ผลการทดลอง

การศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างเครื่องสั่นดาปก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวแล้วดูประสิทธิภาพพร้อมความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง วิธีวิจัยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเนื่องจากยังไม่มีผู้ได้ทำการศึกษาวิจัยในลักษณะนี้มาก่อน ดังนั้นการศึกษาจึงต้องอาศัยผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการเป็นหลัก และรวมถึงการศึกษาในเรื่องที่ใกล้เคียงมาเป็นข้อมูลพื้นฐาน ดังบทที่ 2 และ บทที่ 3

4.1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ปรากฏว่าสารปนเปื้อนที่ปล่อยออกมาหลังการสั่นดาปมีค่าอยู่ในมาตรฐานของประเทศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 จึงไม่มีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต (ผลดังตารางที่ 4-9 ถึงตารางที่ 4-19)

4.2 ผลขั้นการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบในการสั่นดาป สารปนเปื้อนของสารเคลือบผิวในลักษณะการแสดงโครงสร้าง

4.2.1 ผลข้อมูลจากการสำรวจเพื่อกำหนดรูปทรง ของเครื่องกำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว โดยการเลือกเปอร์เซ็นต์สูงสุดของอุปกรณ์กำจัดก๊าซไอระเหย (พัดลมดูดอากาศ) ที่ใช้งานอยู่เดิมตามแหล่งงานที่ได้ทำการสำรวจ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น

1. การเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์กำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวหรือพัดลมดูดอากาศที่ใช้อยู่ เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ที่จะทำการสร้างจากตารางที่ 4 – 1 พบว่าพัดลมดูดอากาศที่ใช้อยู่ สามารถแบ่งกลุ่มการใช้งานออกได้เป็น 3 กลุ่ม และแต่ละกลุ่มสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การใช้งานได้ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ใช้พัดลมดูดอากาศขนาดเล็กขนาดใกล้เคียงห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง ≤ 15 เซนติเมตร มี 1 เปอร์เซนต์

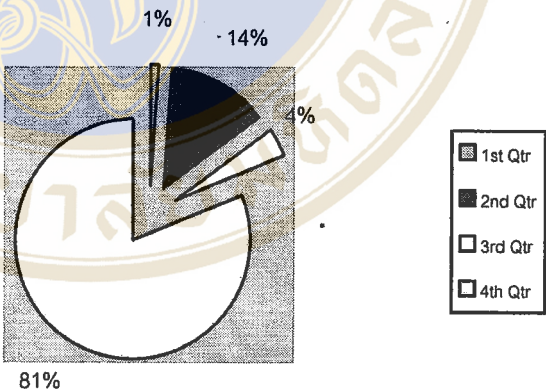
กลุ่มที่ 2 ใช้พัดลมดูดอากาศชนิดเดียวกันที่ใช้ติดตามอาคารสำนักงานหรือห้องปรับอากาศโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร มี 14 เปอร์เซนต์

กลุ่มที่ 3 ใช้พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่ติดอยู่หลังคาอาคาร และตั้งพื้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ≥ 40 เซนติเมตร มี 4 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 – 1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและเปอร์เซ็นต์การใช้งานของพัดลมดูดอากาศ ที่ใช้ในแหล่งงานปัจจุบัน (ค่าความถี่จากตารางที่ 3-1)

ลำดับที่	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพัดลมดูดอากาศ (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การใช้งาน
1	≤ 15	1
2	30	14
3	≥ 45	4
4	*	81

หมายเหตุ * หมายถึง ไม่มีพัดลมดูดอากาศ



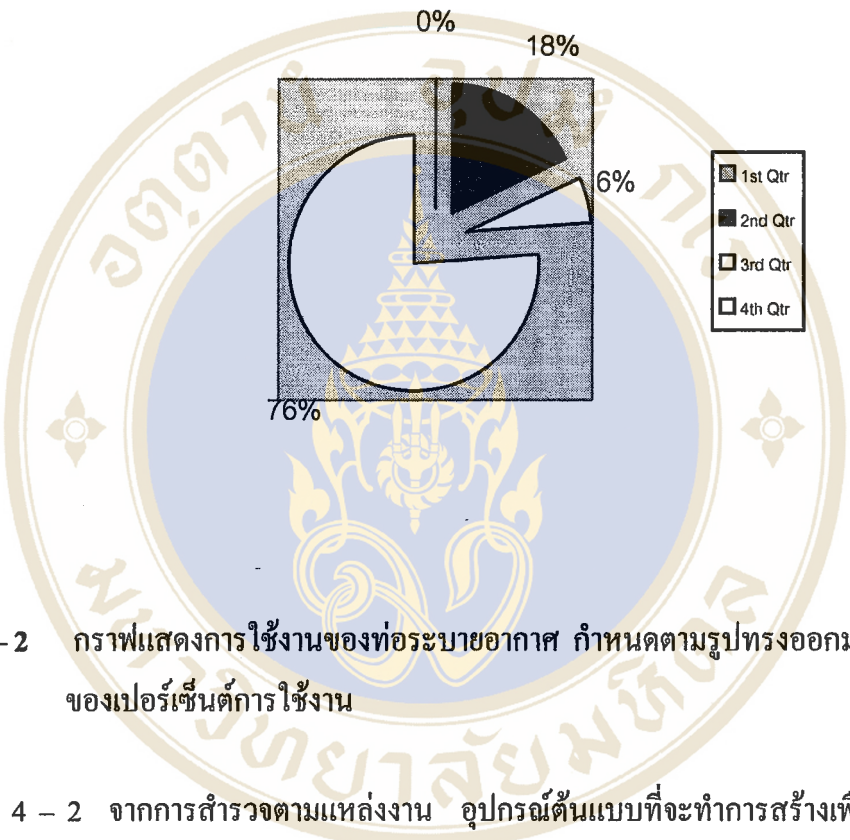
รูปที่ 4 – 1 กราฟแสดงการใช้งานของเครื่องดูดอากาศจำแนกตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออกมาในลักษณะของเปอร์เซ็นต์การใช้งาน

จากรูปที่ 4 – 1 เราจะเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ที่จะทำการสร้างให้มีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์พัดลมดูดอากาศที่ใช้กันมากที่สุดคือ 30 เซนติเมตร

2. การเลือกรูปทรงของอุปกรณ์กำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวดันแบบจากตารางที่ 3 – 2 พบว่าจากการสำรวจรูปทรงของท่อระบายอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การใช้งานได้ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ใช้ท่อระบายอากาศทรงกลมเปอร์เซ็นต์การใช้งาน 18 %

กลุ่มที่ 2 ใช้ท่อระบายอากาศทรงกระบอกสี่เหลี่ยมเปอร์เซ็นต์การใช้งาน 6%

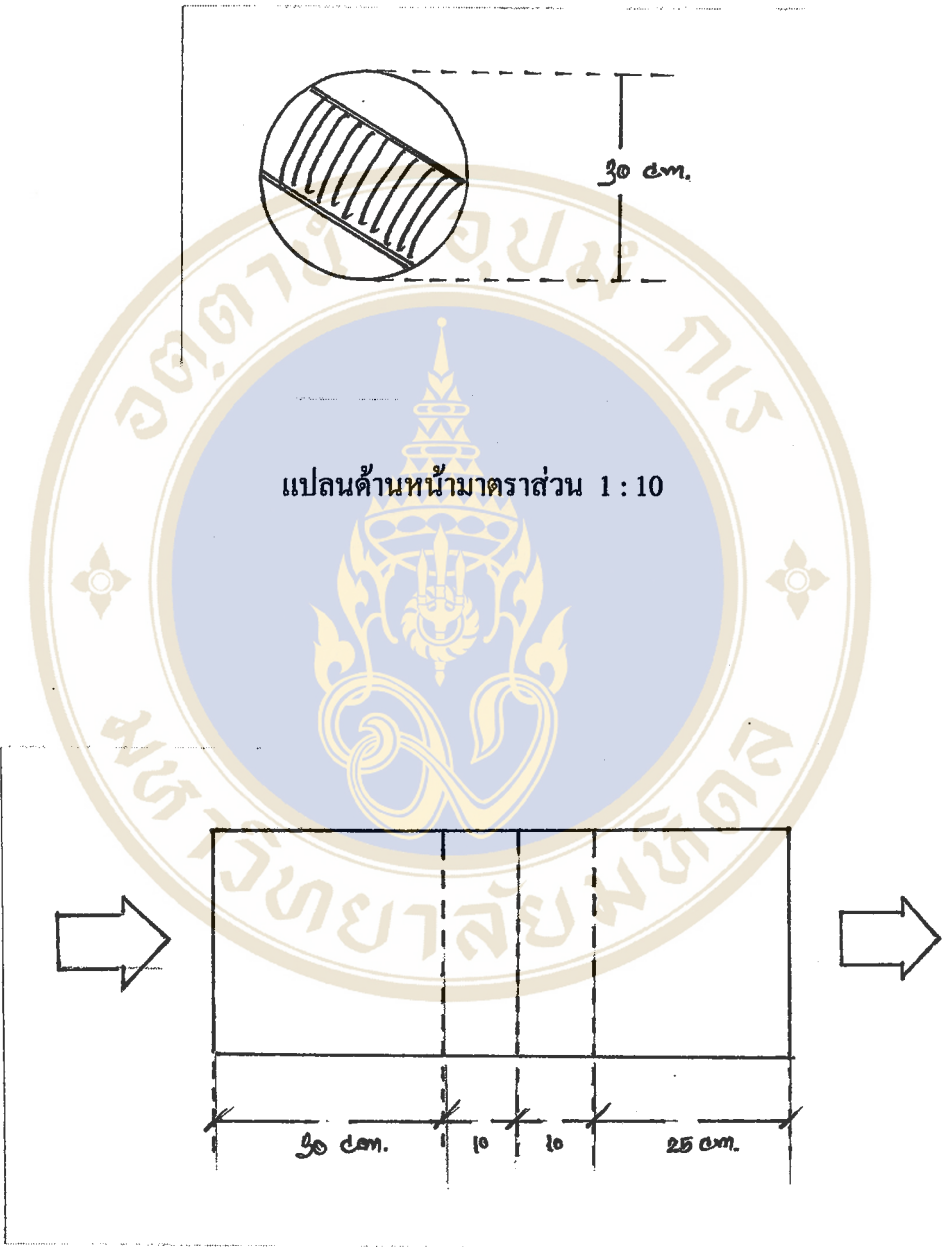


รูปที่ 4 – 2 กราฟแสดงการใช้งานของท่อระบายอากาศ กำหนดตามรูปทรงออกมาในลักษณะของเปอร์เซ็นต์การใช้งาน

จากรูปที่ 4 – 2 จากการสำรวจตามแหล่งงาน อุปกรณ์ต้นแบบที่จะทำการสร้างเพื่อการศึกษาจะเลือกรูปทรงของท่อระบายอากาศที่ใช้กันมากที่สุดคือ ทรงกระบอก

4.2.2 ผลจากข้อ 4.2.1 นำมาสร้างเครื่องต้นคาบก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวดันแบบโดยใช้เหล็กแผ่น นำม้วนให้เป็นทรงกระบอกกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ยาว 75 เซนติเมตร เป็นโครงสร้างหลัก และมีอุปกรณ์ประกอบเครื่องมือได้แก่

- 1) แผงขดลวดความร้อน
- 2) อุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติและควบคุมอุณหภูมิ
- 3) เครื่องวัดอุณหภูมิ
- 4) อุปกรณ์ยึดติดกับผนัง



แปลนด้านข้างมาตราส่วน 1 : 10

รูปที่ 4-3 รูปแสดงลักษณะเครื่องสันดาปก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวต้นแบบ

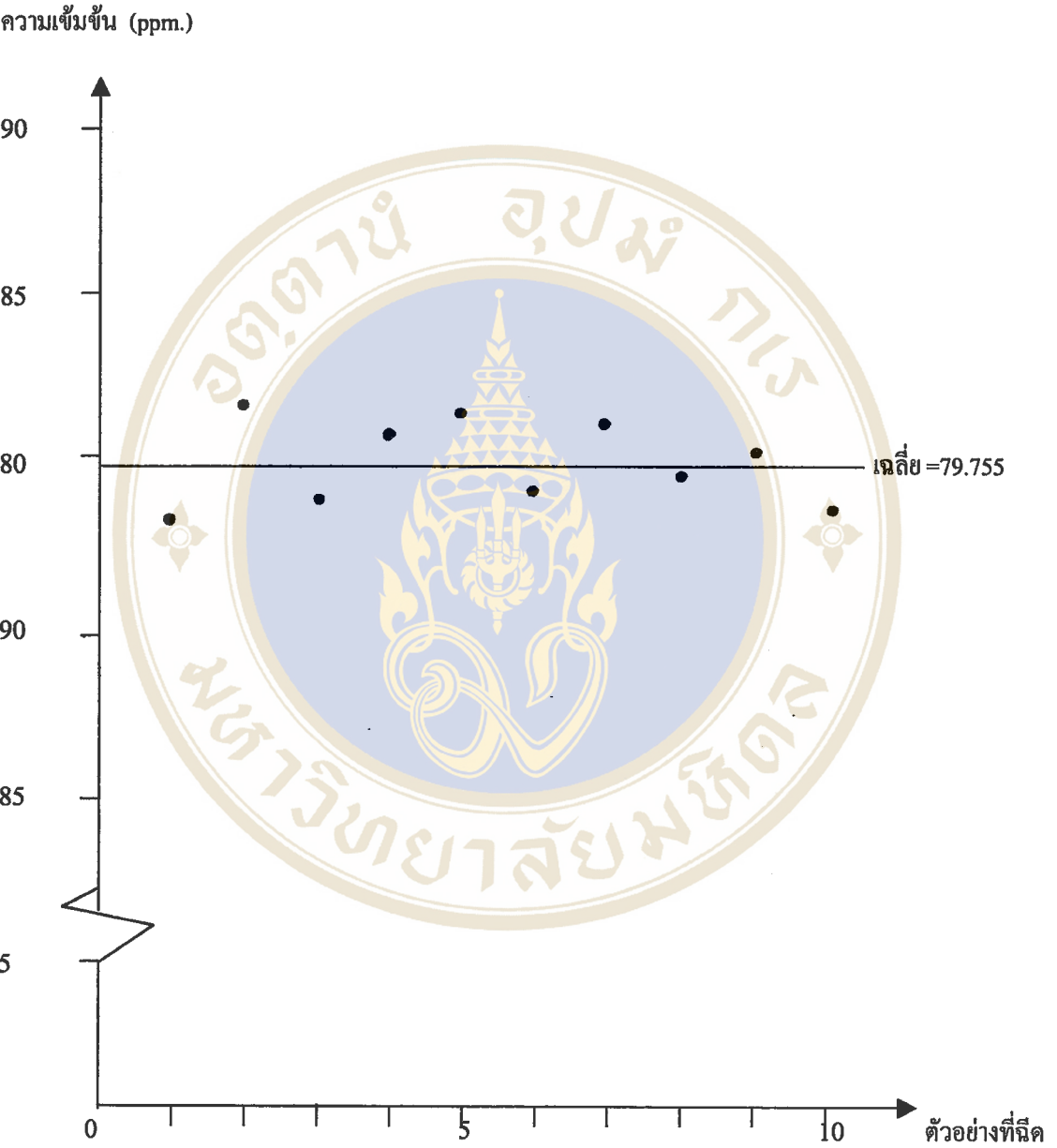
4.3 ผลข้อมูลการทดลองตัวแปรต่าง ๆ ของ contaminate

ที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ความเข้มข้น , ปริมาตร ก่อนและหลังผ่านเครื่องมือต้นแบบ

4.3.1 ผลการตรวจสอบความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนก่อนก่อนผ่านเครื่องมือต้นแบบ ณ. ความดันของการพ่นสารปนเปื้อน4.5 ,5.5 และ 6.5 kg/cm² ด้วย Air Spraying และการพ่นด้วย Spraying แบบกระป๋อง แสดงดังรูปภาพและตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 – 2 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้
ลมอัด ณ. ความดัน 4.5 kg/cm²

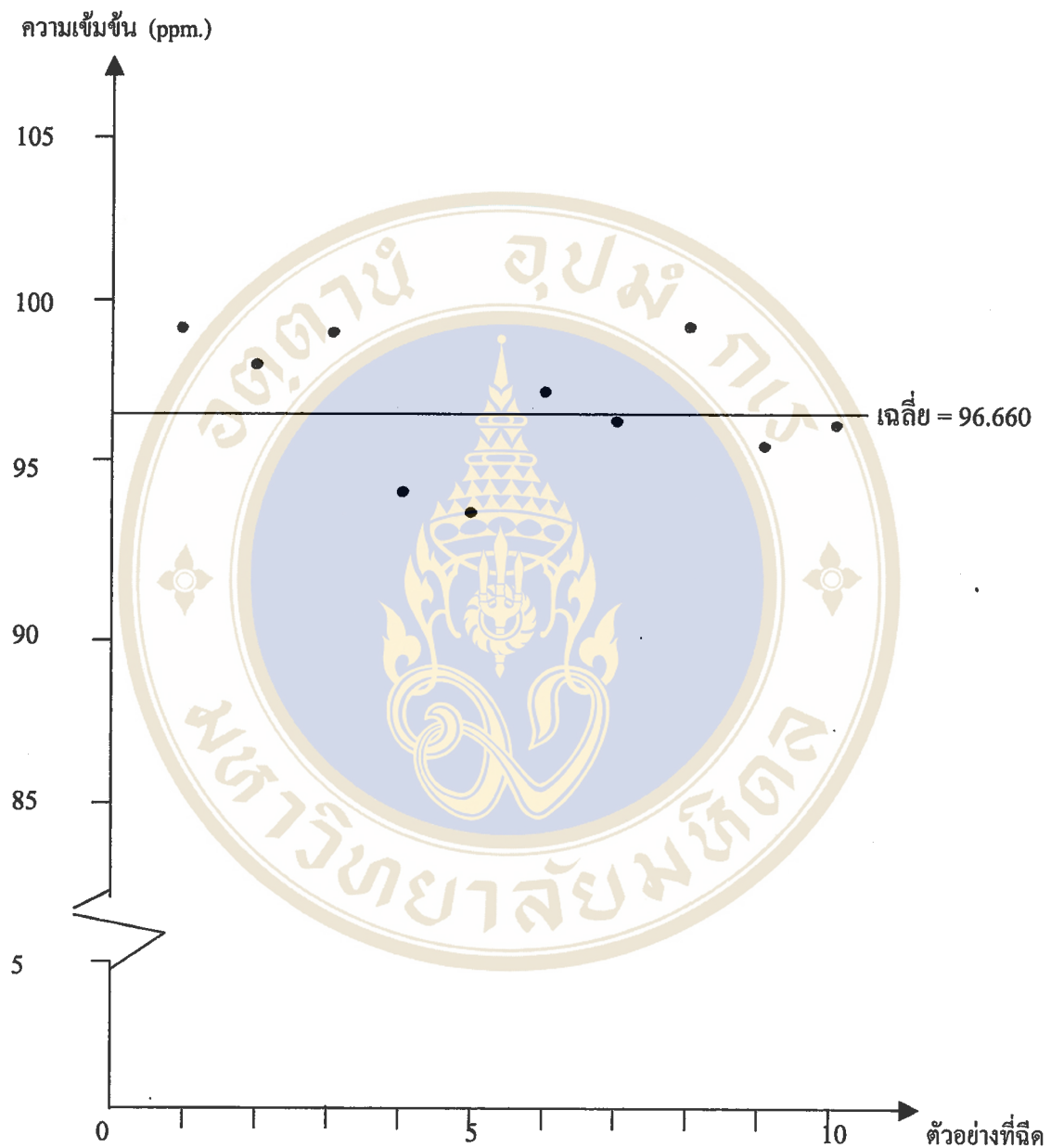
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	76.811	8.142
2	83.132	8.812
3	78.236	8.293
4	81.094	8.596
5	82.755	8.772
6	78.538	8.325
7	81.547	8.644
8	79.142	8.389
9	80.500	8.533
10	77.491	8.214
เฉลี่ย	79.755	8.454



รูปที่ 4-4 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้
ลบอัด ณ. ความดัน 4.5 kg/cm²

ตารางที่ 4 – 3 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบ
ใช้ลมอัด ณ. ความดัน 5.5 kg/cm²

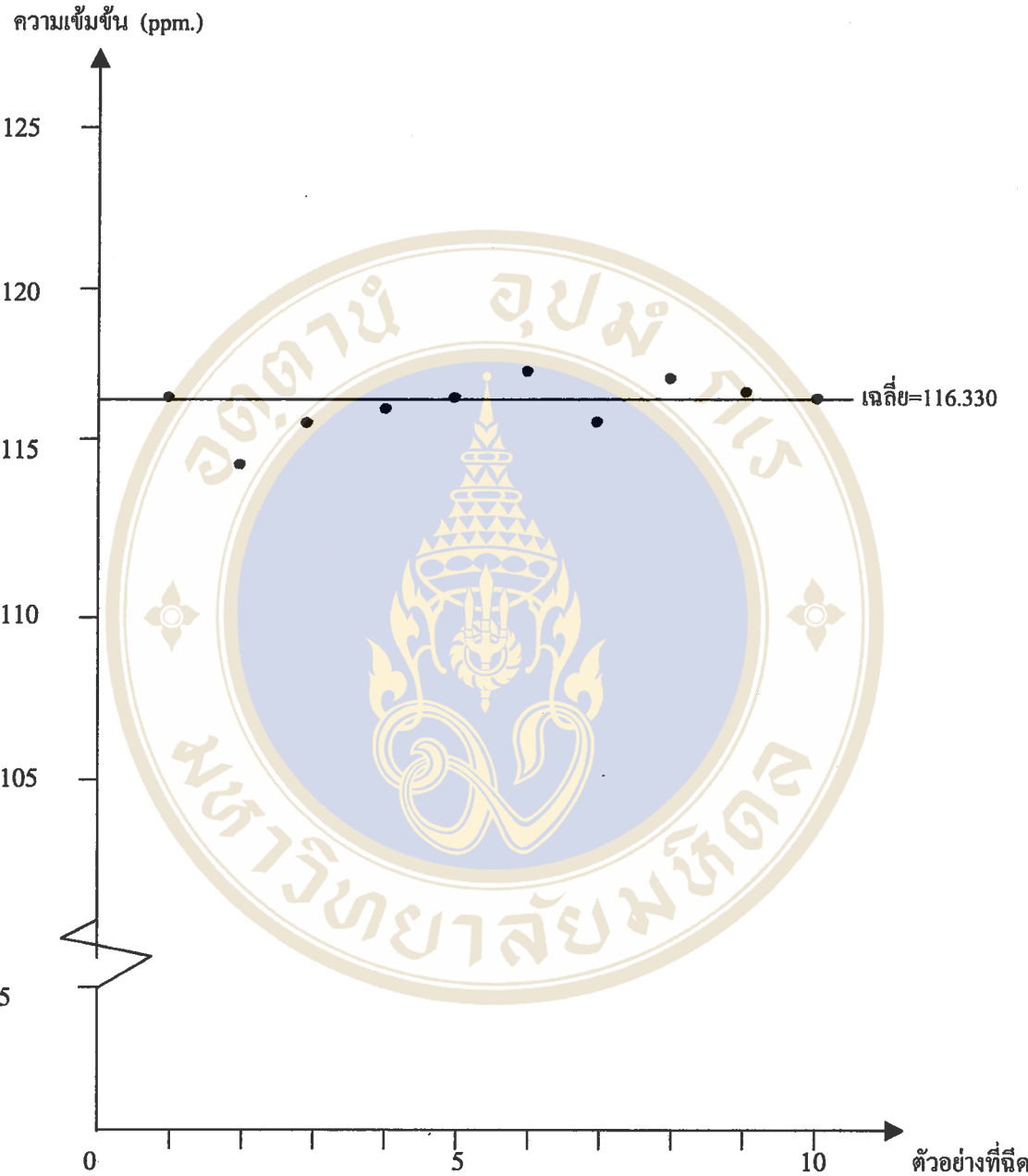
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	98.623	10.454
2	97.575	10.343
3	98.104	10.399
4	94.189	9.984
5	93.358	9.896
6	97.047	10.287
7	96.594	10.239
8	98.925	10.486
9	95.915	10.167
10	96.292	10.207
เฉลี่ย	96.660	10.246



รูปที่ 4-5 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้
 ลบอัด ณ. ความดัน 5.5 kg/cm²

ตารางที่ 4 – 4 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้
ลมอัด ณ. ความดัน 6.5 kg/cm²

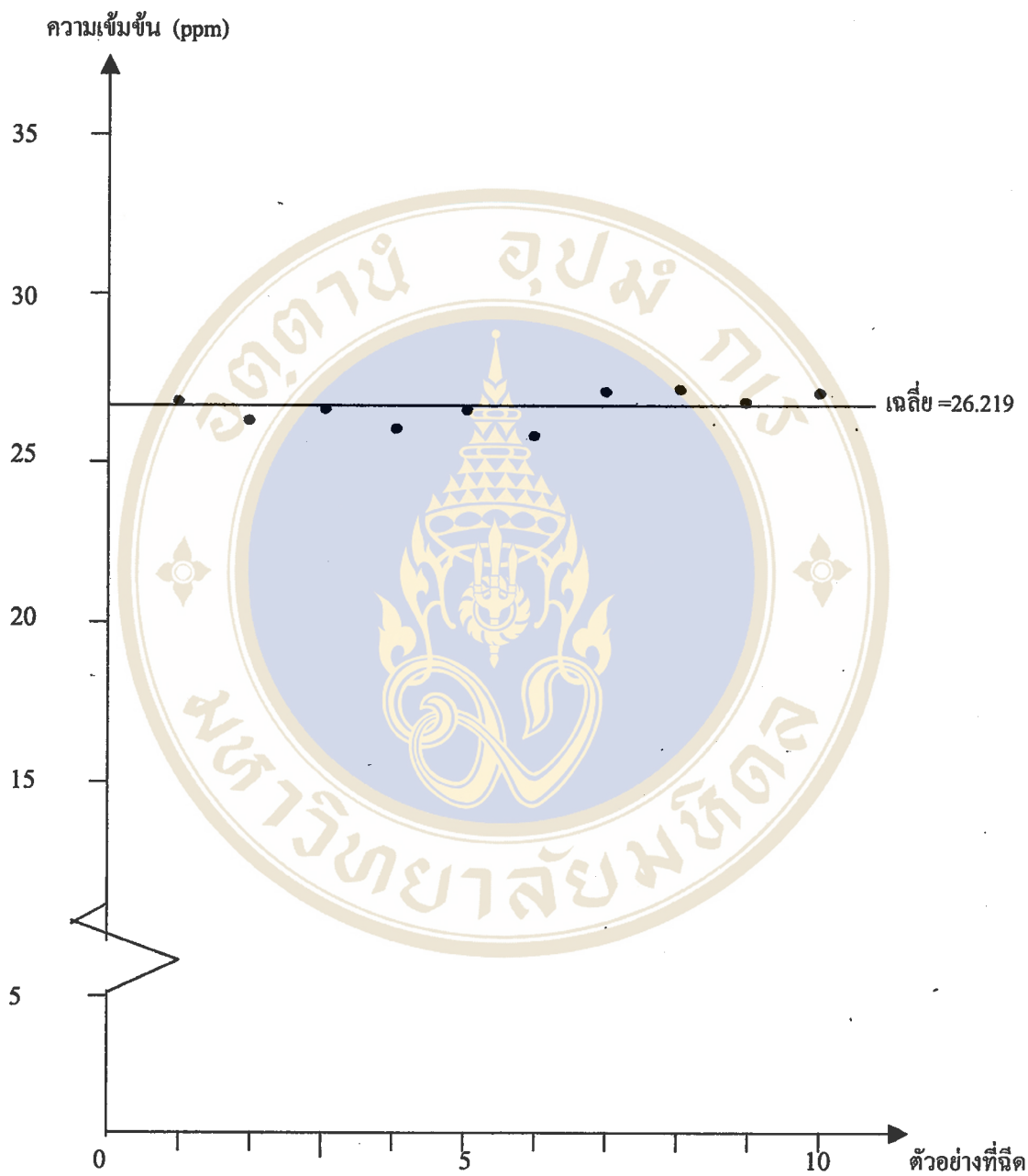
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	116.830	12.384
2	114.349	12.121
3	115.708	12.265
4	116.151	12.312
5	116.528	12.352
6	117.434	12.448
7	115.783	12.273
8	117.283	12.432
9	116.831	12.384
10	116.368	12.335
เฉลี่ย	116.330	12.331



รูปที่ 4 – 6 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วยเครื่องพ่นระบบใช้
ลบอัด ณ. ความดัน 6.5 kg/cm²

ตารางที่ 4 – 5 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying
ชนิดกระป๋อง แบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ

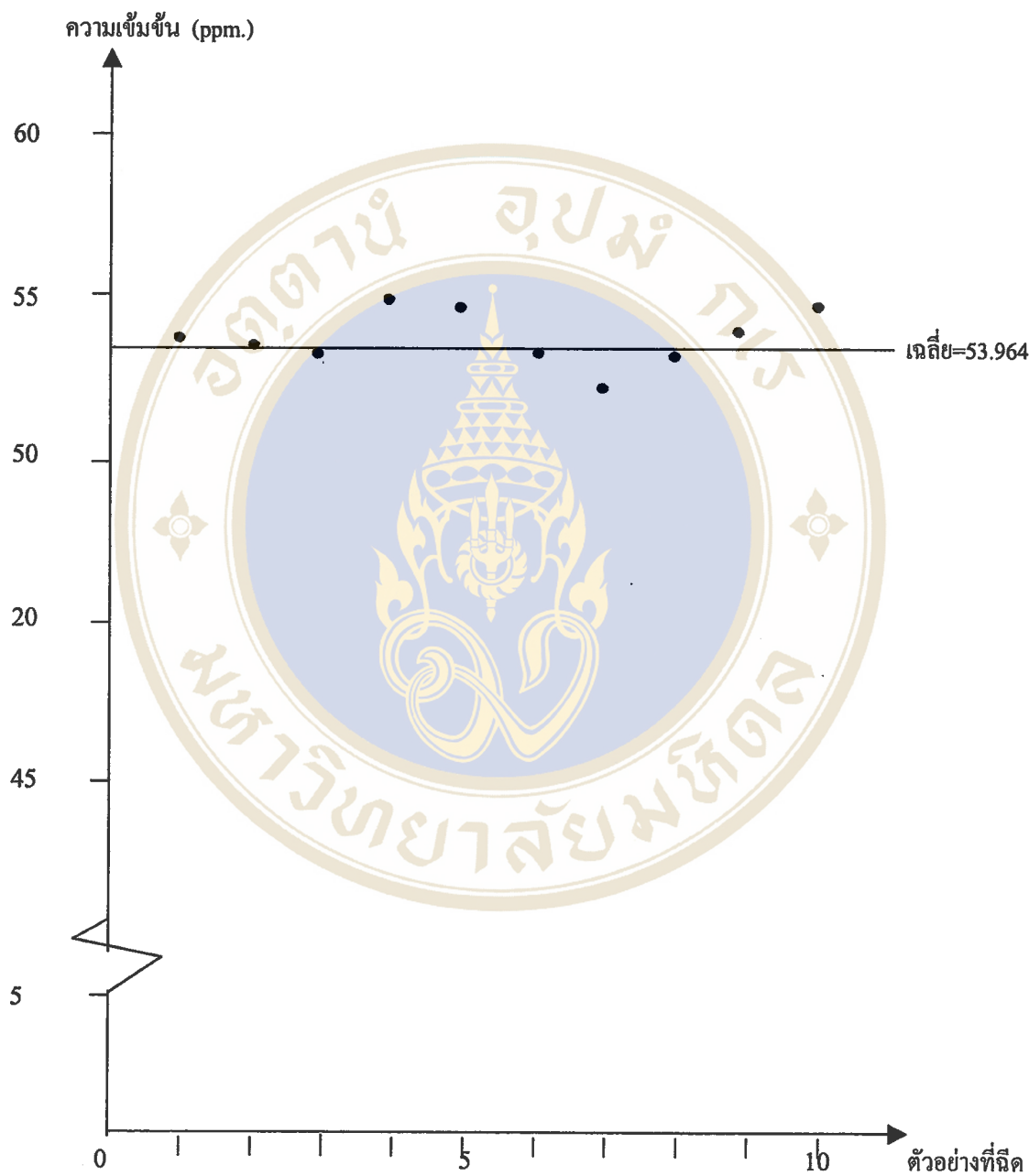
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	26.330	2.791
2	26.066	2.657
3	26.189	2.776
4	26.075	2.764
5	26.142	2.771
6	25.377	2.690
7	26.651	2.825
8	26.660	2.826
9	26.274	2.785
10	26.528	2.812
เฉลี่ย	26.129	2.770



รูปที่ 4-7 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ

ตารางที่ 4 – 6 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying
ชนิดกระป๋อง แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง

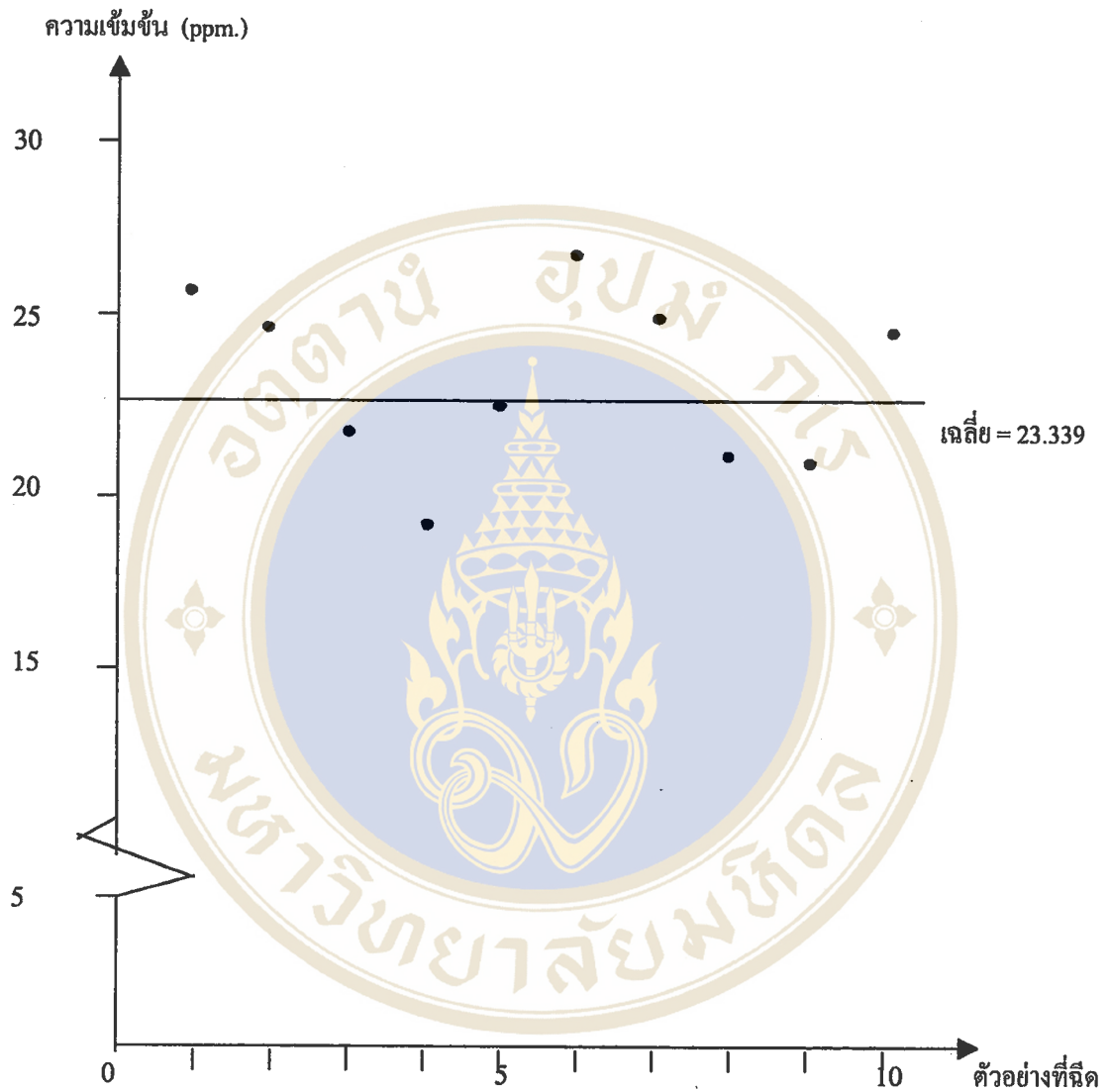
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	54.226	5.748
2	53.972	5.721
3	53.415	5.662
4	54.811	5.810
5	54.670	5.795
6	53.604	5.682
7	52.123	5.525
8	53.868	5.710
9	54.321	5.758
10	54.632	5.791
เฉลี่ย	53.964	5.720



รูปที่ 4 – 8 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง

ตารางที่ 4 – 7 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying
ชนิดกระป๋อง แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ

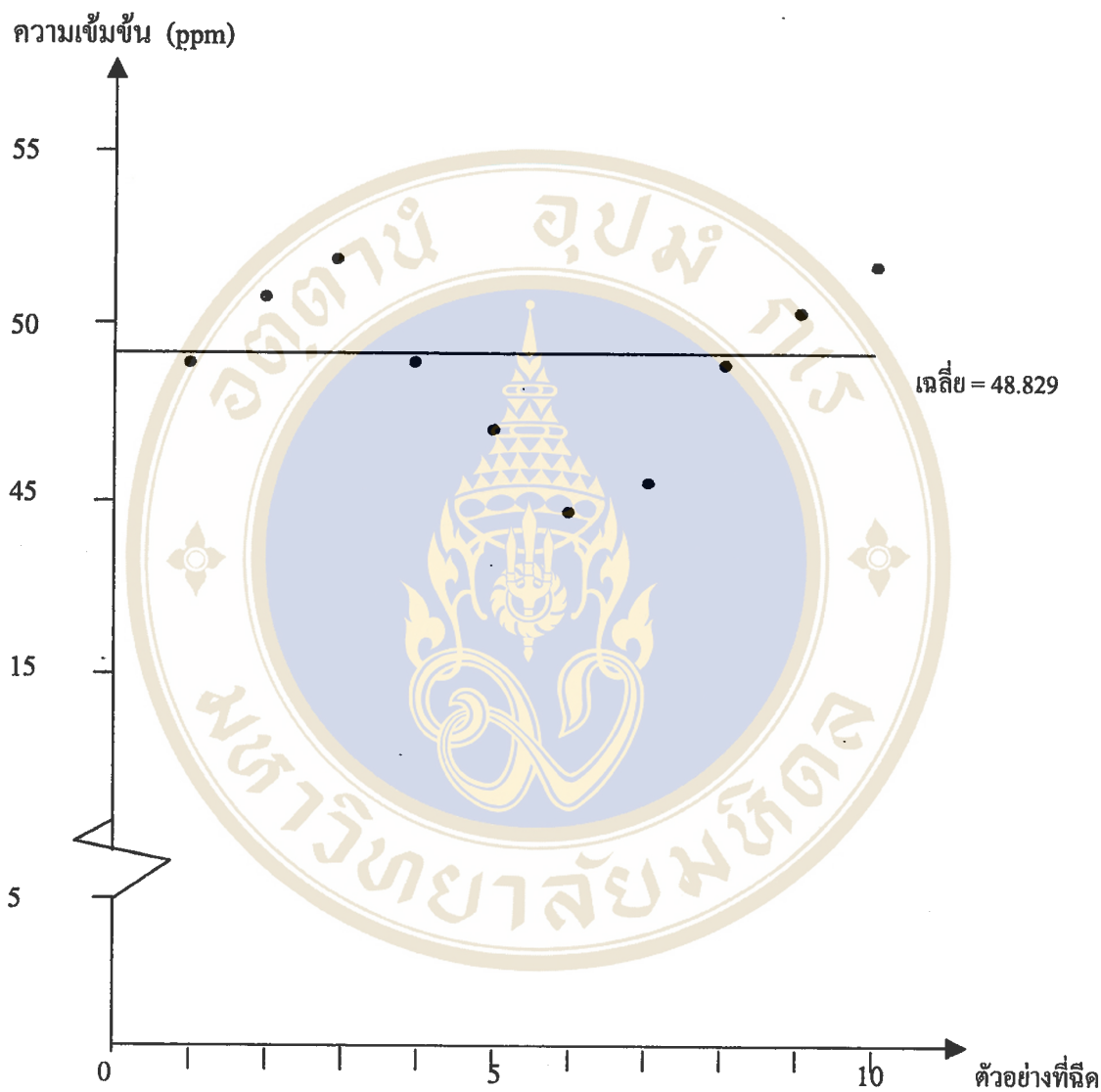
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	25.575	2.771
2	24.689	2.617
3	22.189	2.352
4	19.274	2.043
5	23.179	2.457
6	26.509	2.810
7	24.934	2.643
8	21.538	2.283
9	21.368	2.265
10	24.132	2.558
เฉลี่ย	23.339	2.474



รูปที่ 4-9 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ

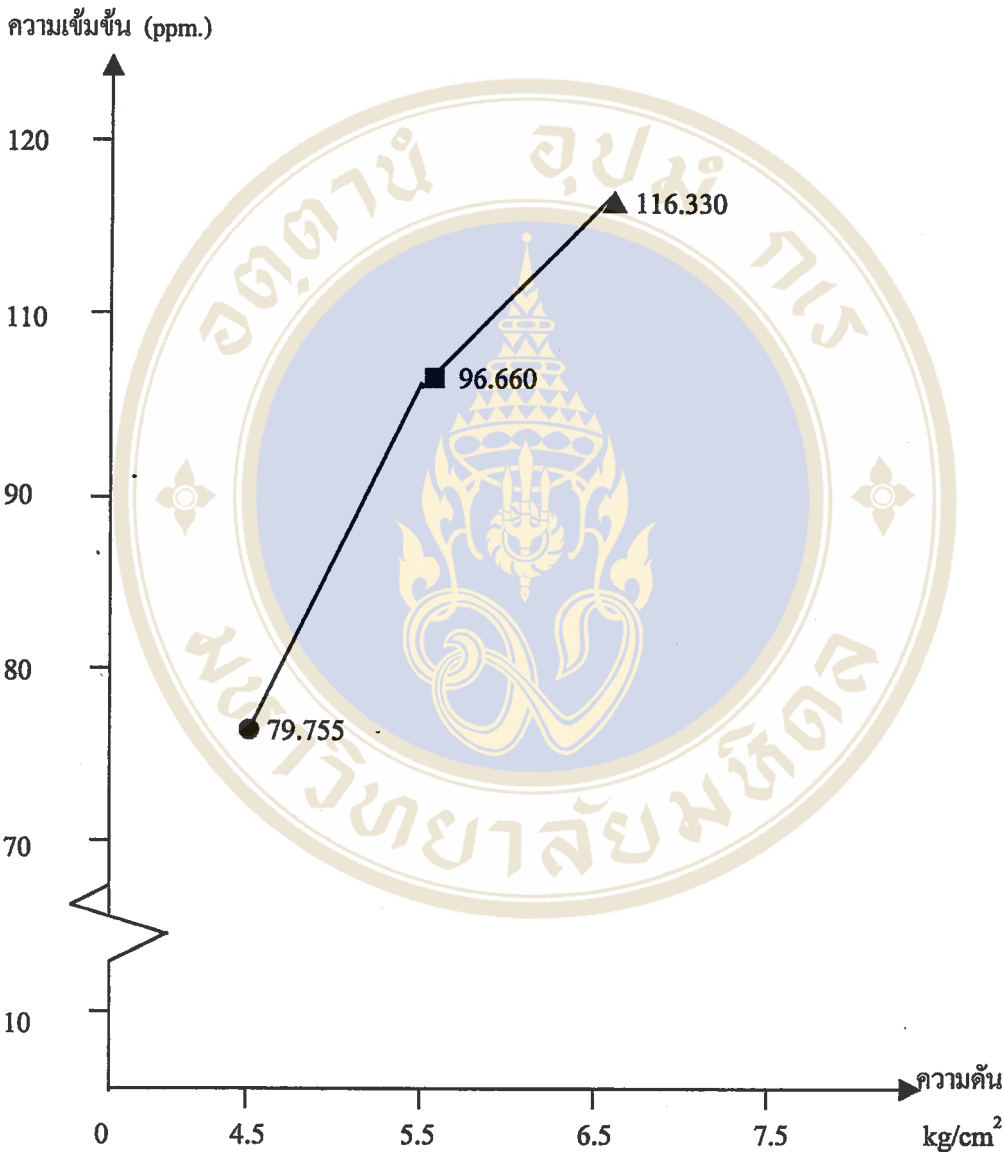
ตารางที่ 4-8 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนเมื่อพ่นด้วย Spraying
ชนิดกระป๋อง แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง

ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	48.528	5.114
2	51.160	5.423
3	52.104	5.523
4	48.528	5.144
5	46.991	4.981
6	44.849	4.754
7	45.472	4.820
8	48.208	5.110
9	50.538	5.357
10	51.915	5.503
เฉลี่ย	48.829	5.174



รูปที่ 4 – 10 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง

4.3.2 ผลการจัดกลุ่มเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนก่อนผ่านอุปกรณ์

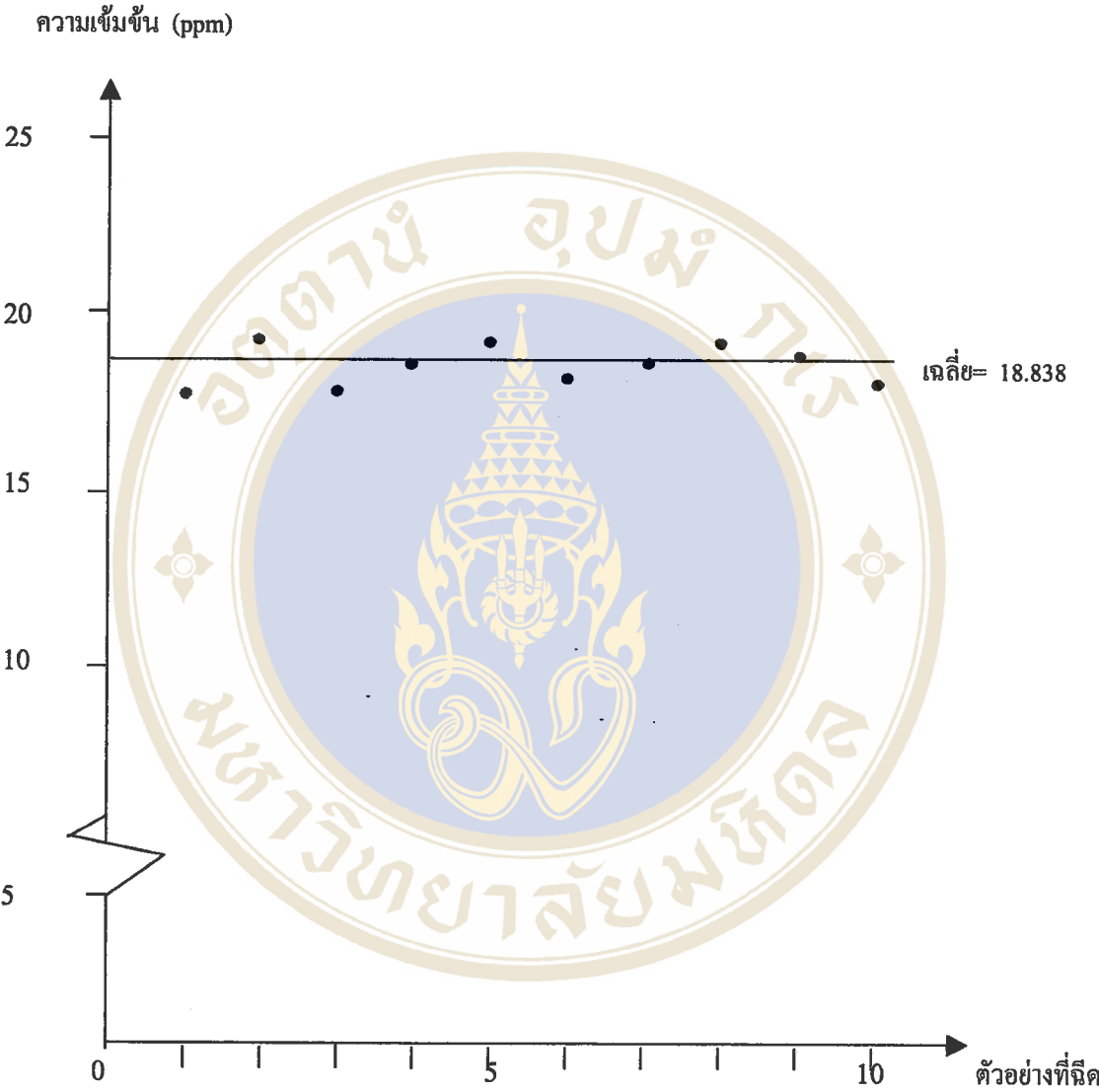


รูปที่ 4-11 กราฟความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ณ. ความดันต่างกันเมื่อพ่นด้วย
Air spraying

4.3.3 ผลการตรวจสอบความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนหลังผ่านอุปกรณ์ของกลุ่มสารปนเปื้อน

ตารางที่ 4 – 9 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying
ณ. ความดัน 4.5 kg/cm² หลังผ่านอุปกรณ์

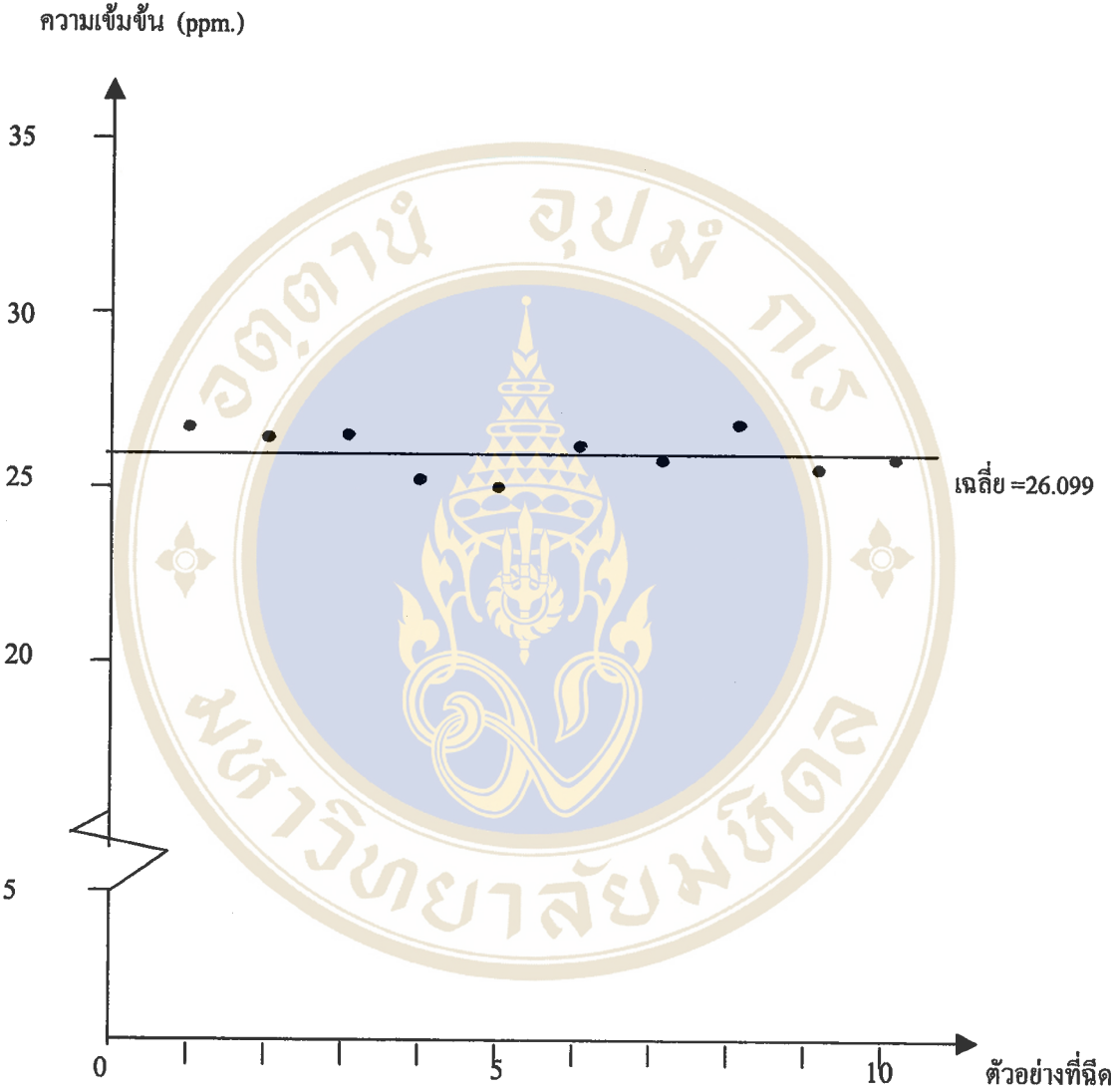
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	17.667	1.873
2	19.118	2.027
3	17.994	1.908
4	18.652	1.977
5	19.034	2.018
6	18.063	1.915
7	18.756	1.988
8	18.203	1.929
9	18.515	1.963
10	17.823	1.889
เฉลี่ย	18.383	1.950



รูปที่ 4 – 12 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying
ณ. ความดัน 4.5 kg/cm² หลังผ่านอุปกรณ์

ตารางที่ 4 – 10 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying
ณ. ความดัน 5.5 kg/cm² หลังผ่านอุปกรณ์

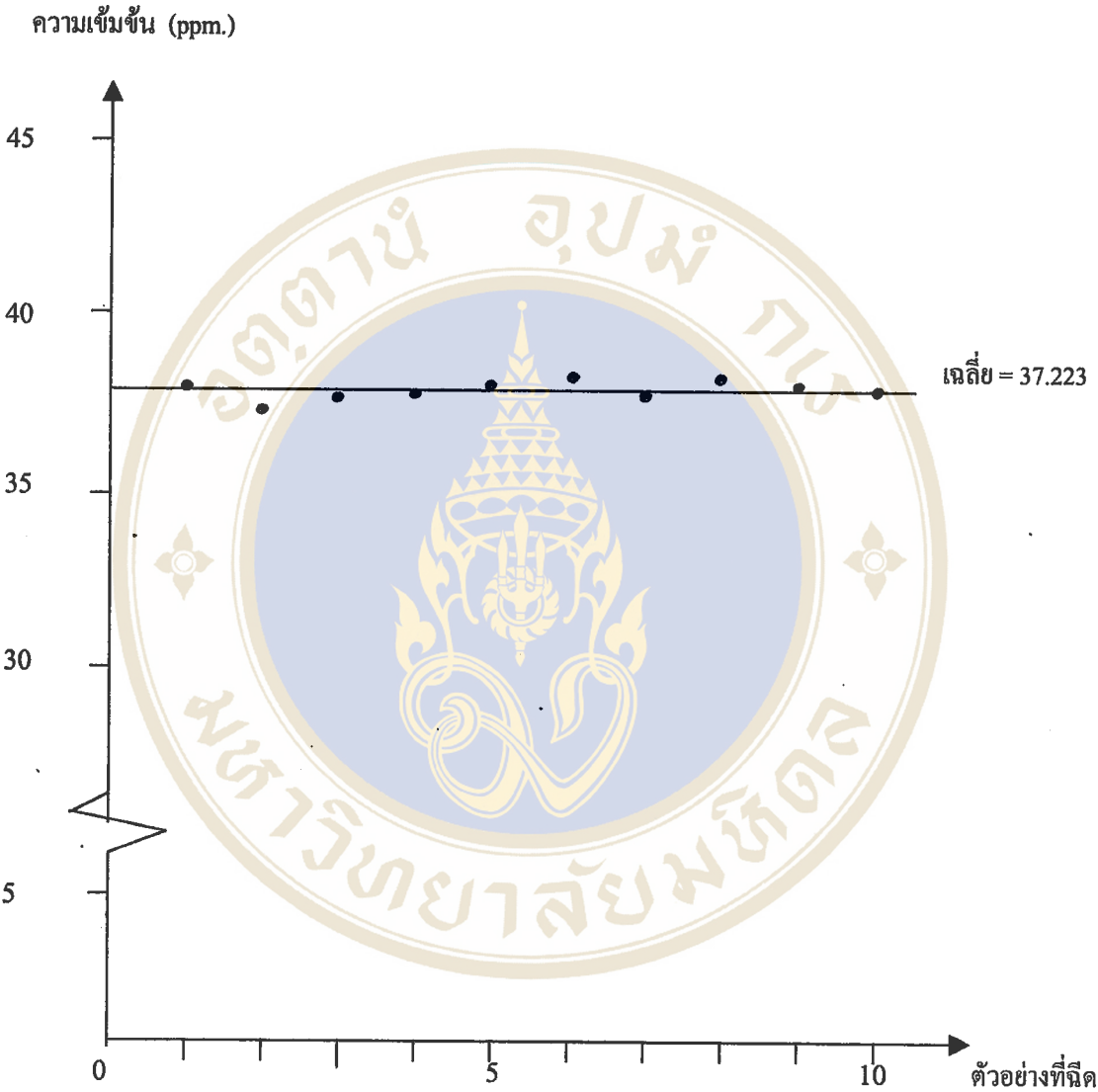
ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	26.628	2.823
2	26.346	2.793
3	26.488	2.808
4	25.431	2.696
5	25.207	2.672
6	26.203	2.777
7	26.080	2.776
8	26.710	2.831
9	25.897	2.745
10	25.999	2.756
เฉลี่ย	26.099	2.767



รูปที่ 4-13 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying
ณ. ความดัน 5.5 kg/cm² หลังผ่านอุปกรณ์

ตารางที่ 4 – 11 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของ สารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying
ณ. ความดัน 6.5 kg/cm² หลังผ่านอุปกรณ์

ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน (ppm.)	ปริมาตรของสารปนเปื้อน (cm ³)
1	37.386	3.963
2	36.592	3.879
3	37.027	3.923
4	37.168	3.940
5	37.289	3.953
6	37.579	3.983
7	37.051	3.927
8	37.531	3.978
9	37.386	3.963
10	37.238	3.947
เฉลี่ย	37.223	3.946



รูปที่ 4 – 14 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของ สารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying
ณ. ความดัน 6.5 kg/cm² หลังผ่านอุปกรณ์

ตารางที่ 4 – 12 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray
แบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำหลังจากผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	11.849
2	11.280
3	11.785
4	11.734
5	11.764
เฉลี่ย	11.682

ตารางที่ 4 – 13 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray
แบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ หลังจากผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	10.151
2	10.660
3	10.664
4	10.510
5	10.611
เฉลี่ย	10.519

ตารางที่ 4 – 14 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray
แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	20.606
2	20.509
3	20.298
4	20.828
5	20.775
เฉลี่ย	20.603

ตารางที่ 4 – 15 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray
แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	20.214
2	20.099
3	19.931
4	20.026
5	20.203
เฉลี่ย	20.095

ตารางที่ 4 – 16 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนชนิด Spray
แบบ ไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	10.859
2	9.616
3	9.692
4	11.220
5	11.929
เฉลี่ย	10.663

ตารางที่ 4 – 17 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนชนิด Spray
แบบ ไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	10.230
2	9.876
3	8.876
4	9.279
5	7.710
เฉลี่ย	9.194

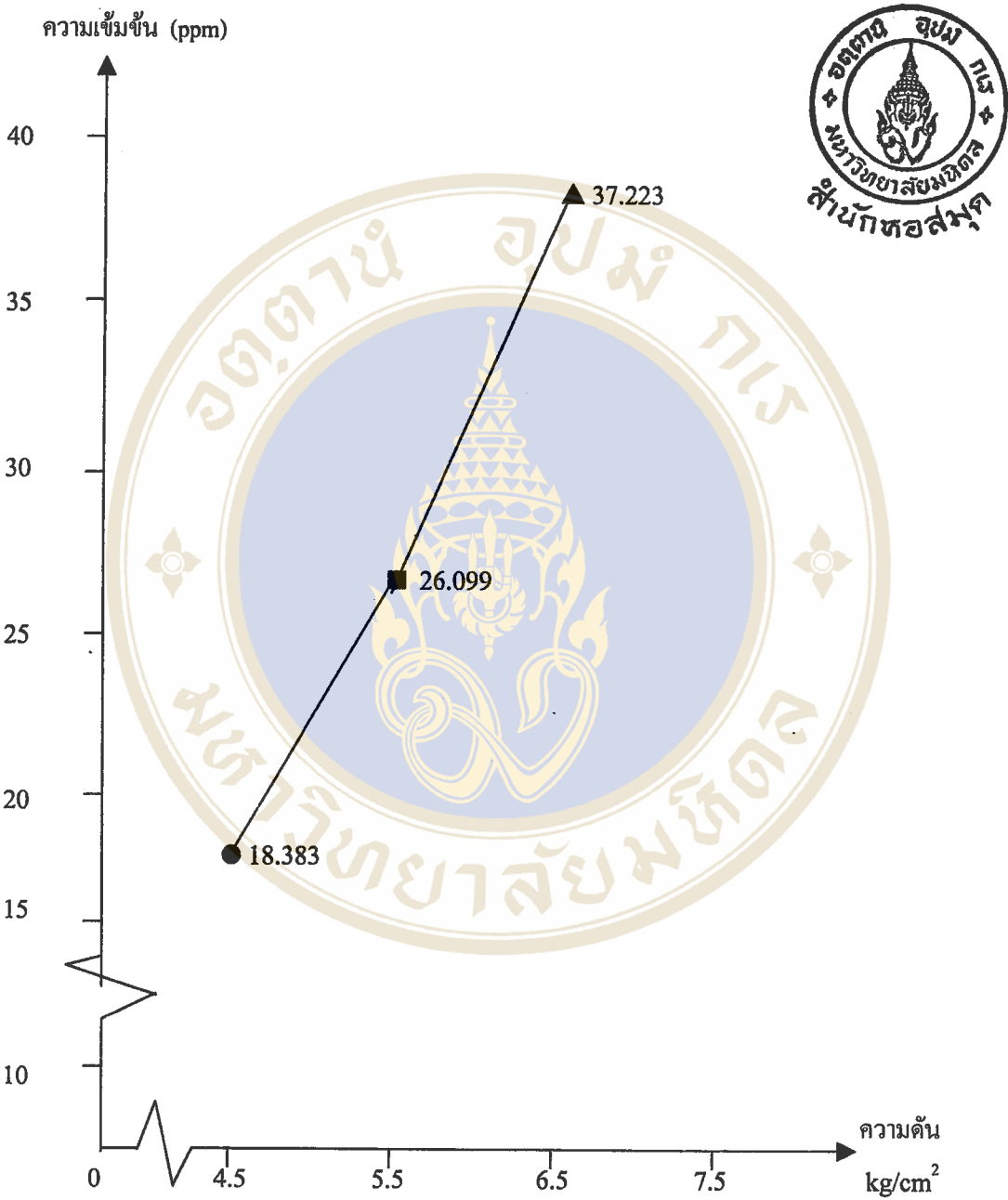
ตารางที่ 4 – 18 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray
แบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 166 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	19.278
2	17.955
3	17.387
4	16.594
5	16.825
เฉลี่ย	17.608

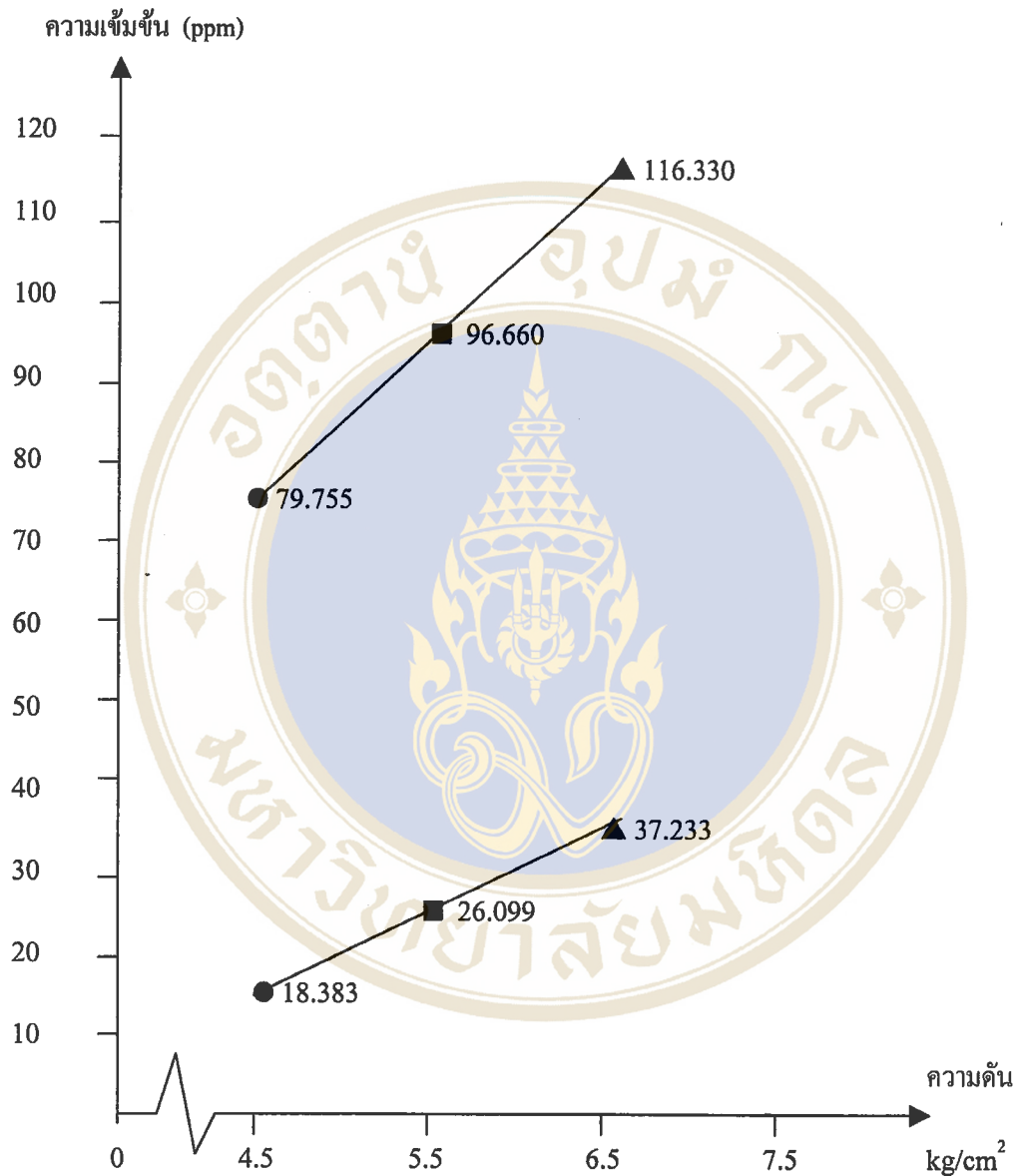
ตารางที่ 4 – 19 แสดงความเข้มข้นและปริมาตรของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Spray
แบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง หลังผ่านอุปกรณ์อุณหภูมิ 255 °C

ครั้งที่	ความเข้มข้นสารปนเปื้อน (ppm.)
1	19.209
2	17.955
3	18.699
4	18.929
5	17.837
เฉลี่ย	18.526

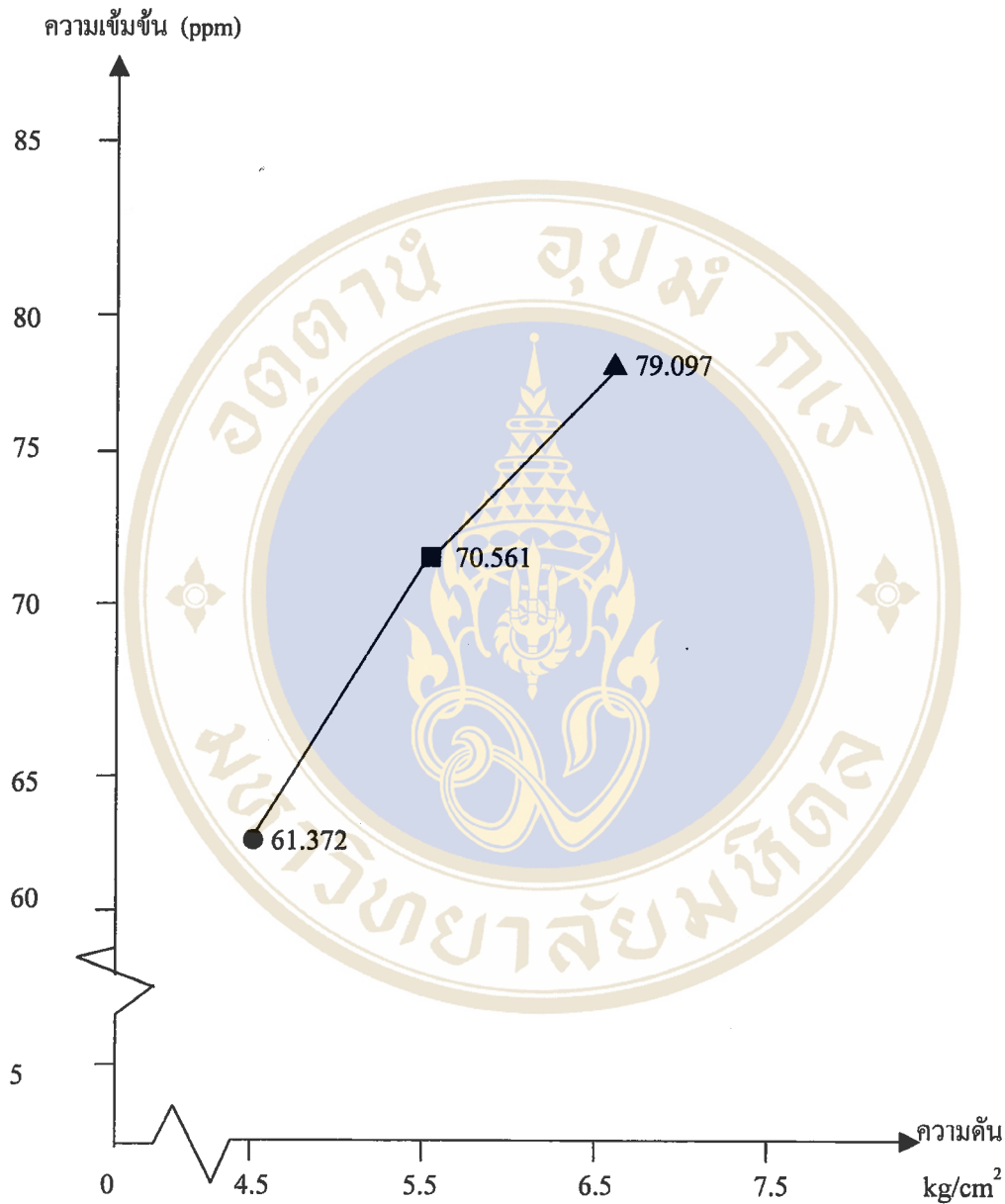
4.3.4 ผลการจัดกลุ่มเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนก่อนผ่านอุปกรณ์



รูปที่ 4-15 กราฟความเข้มข้นของ สารปนเปื้อน ณ. ความดันควบคุม เมื่อผ่านอุปกรณ์ เรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4-16 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ณ. ความดันควบคุมก่อน และหลัง ผ่านอุปกรณ์ของสารเคลือบผิว



รูปที่ 4-17 กราฟความชื้นของ สารปนเปื้อน ณ. ความดันควบคุมก่อนและหลัง ผ่านอุปกรณ์ของสารเคลือบผิว (สารปนเปื้อน ที่ถูกกำจัดได้)

4.4 แสดงผลการทดสอบ Sample ด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography ; GC

ตารางที่ 4 – 20 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatoraphy จาก Sample ที่ฉีดด้วย Air Sparying ที่ความดัน 4.5 kg/cm² ก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์

ครั้งที่	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน ก่อนผ่านอุปกรณ์ (m.m.)	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน หลังผ่านอุปกรณ์ (m.m.)
1	41.5	9.5
2	45.0	11.5
3	42.5	10.0
4	44.0	10.5
5	44.5	10.0
6	42.5	10.0
7	44.0	10.0
8	43.0	10.0
9	43.5	10.0
10	42.0	10.0
เฉลี่ย	43.75	10.15

ตารางที่ 4 – 21 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample ที่ฉีดด้วย Air Sparying ที่ความดัน 5.5 kg/cm² ก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์

ครั้งที่	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน ก่อนผ่านอุปกรณ์ (m.m.)	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน หลังผ่านอุปกรณ์ (m.m.)
1	53.5	14.5
2	52.5	14.0
3	53.0	14.5
4	51.0	14.0
5	50.5	13.5
6	52.5	14.0
7	52.0	14.0
8	53.5	14.5
9	52.0	14.0
10	52.0	14.0
เฉลี่ย	52.25	14.10

ตารางที่ 4-22 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatoraphy จาก Sample ที่ฉีดด้วย Air Sparying ที่ความดัน 6.5 kg/cm² ก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์

ครั้งที่	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน ก่อนผ่านอุปกรณ์ (m.m.)	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน หลังผ่านอุปกรณ์ (m.m.)
1	63.0	20.0
2	62.0	20.0
3	62.5	20.0
4	63.0	20.0
5	63.0	20.0
6	63.5	20.5
7	62.5	20.0
8	63.5	20.5
9	63.0	20.0
10	63.0	20.0
เฉลี่ย	62.90	20.10

ตารางที่ 4 – 23 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จากSample ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 66 , 255 °C ตามลำดับ

ลำดับที่	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน ก่อนผ่านอุปกรณ์ (m.m.)		ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน หลังผ่านอุปกรณ์ (m.m.)	
	166 °C	255 °C	166 °C	255 °C
1	14.0	13.5	6.5	5.5
2	13.5	14.0	6.5	5.5
3	14.0	14.5	6.5	6.0
4	14.0	14.0	6.5	5.5
5	14.0	14.5	6.5	6.0
เฉลี่ย	13.90	13.30	6.40	5.70

ตารางที่ 4 – 24 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จากSample ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบต่อเนื่องความเข้มข้นสูงก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 166 , 255 °C ตามลำดับ

ลำดับที่	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน ก่อนผ่านอุปกรณ์ (m.m.)		ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน หลังผ่านอุปกรณ์ (m.m.)	
	166 °C	255 °C	166 °C	255 °C
1	29.5	29.0	11.5	11.0
2	29.0	28.0	11.5	10.5
3	29.0	29.0	11.5	11.0
4	29.5	29.5	11.5	11.0
5	29.5	29.5	11.5	11.0
เฉลี่ย	29.30	29.00	11.50	10.90

ตารางที่ 4 – 25 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูงก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 166 , 255 °C ตามลำดับ

ลำดับที่	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน ก่อนผ่านอุปกรณ์ (m.m.)		ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน หลังผ่านอุปกรณ์ (m.m.)	
	166 °C	255 °C	166 °C	255 °C
1	26.0	24.0	10.0	9.0
2	27.5	24.5	11.0	9.0
3	28.0	26.0	11.0	9.5
4	26.0	27.5	10.0	10.0
5	25.5	28.0	10.0	10.5
เฉลี่ย	26.60	26.0	10.4	9.60

ตารางที่ 4 – 26 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography จาก Sample ที่ฉีดด้วย Spraying ชนิดกระป๋องแบบไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 166 , 255 °C ตามลำดับ

ลำดับที่	ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน ก่อนผ่านอุปกรณ์ (m.m.)		ความสูงของ peak ของสารปนเปื้อน หลังผ่านอุปกรณ์ (m.m.)	
	166 °C	255 °C	166 °C	255 °C
1	14.0	14.5	6.5	6.0
2	13.5	13.5	6.0	5.5
3	12.0	11.5	5.5	4.5
4	12.5	11.5	5.5	4.5
5	10.5	13.0	5.0	5.0
เฉลี่ย	12.50	12.80	5.70	5.10

ตารางที่ 4 – 27 ตารางแสดงผลต่างความสูงของ peak ที่ได้จากการฉีดด้วย Air Spraying ณ. ความดัน 4.5 , 5.5 และ 6.5 kg/Cm² และ Spraying ชนิดกระป๋องก่อนและหลัง ผ่านอุปกรณ์

ความดัน (kg/cm ²)	ผลต่างของความสูงของ peak (m.m.)
4.5	33.05
5.5	38.15
6.5	42.80
Spraying ชนิดกระป๋อง	
ฉีดต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ 166 °C	7.50
ฉีดต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ 255 °C	8.40
ฉีดต่อเนื่องความเข้มข้นสูง 166 °C	17.80
ฉีดต่อเนื่องความเข้มข้นสูง 255 °C	18.10
ฉีดไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ 166 °C	6.80
ฉีดไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นต่ำ 255 °C	7.70
ฉีดไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง 166 °C	16.20
ฉีดไม่ต่อเนื่องความเข้มข้นสูง 255 °C	16.40

ตารางที่ 4 – 28 ตารางแสดงผลความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ฉีดด้วย Air Spraying ณ. ความดันควบคุมและจาก Spraying ชนิดกระป๋องกับ ผลต่างของความสูงของ peak ที่ตรวจสอบได้จากเครื่อง GC

ความดัน kg/cm ²	ครั้งที่	ความเข้มข้นของ สารปนเปื้อน (ppm.)	ผลต่างของความสูงของ peak (mm.)
4.5	1	76.811	32.0
	2	83.132	33.5
	3	78.236	31.5
	4	81.094	34.0
	5	82.755	34.5
	6	78.538	32.5
	7	81.547	34.0
	8	79.142	33.0
	9	80.500	33.5
	10	77.491	32.0
	เฉลี่ย	79.755	33.05
5.5	1	98.623	39.0
	2	97.575	38.5
	3	98.104	38.5
	4	94.189	37.0
	5	93.358	37.0
	6	97.047	38.5
	7	96.594	38.0
	8	98.925	39.0
	9	95.915	38.0
	10	96.292	38.0
	เฉลี่ย	96.660	38.15
6.5	1	111.830	43.0
	2	114.349	42.0
	3	115.708	42.5

	4	116.151	43.0
	5	116.528	43.0
	6	117.434	43.0
	7	115.783	42.5
	8	117.283	43.0
	9	116.831	43.0
	10	116.368	43.0
Spraying กระป๋องฉีด ต่อเนื่องความ เข้มข้นต่ำ T 166 °C T 255 °C	เฉลี่ย	116.330	42.80
	1	26.330	7.5
	5	25.066	7.5
	3	26.189	7.5
	4	26.075	7.5
	5	26.142	7.5
	เฉลี่ย	25.960	7.50
	1	25.377	8
	2	26.651	8.5
	3	26.660	8.5
	4	26.274	8.5
	5	26.528	8.5
	เฉลี่ย	26.298	8.40
	1	54.226	18.0
	2	53.972	17.5
ฉีดต่อเนื่อง ความเข้มข้น สูง T 166 °C T 255 °C	3	53.415	17.5
	4	54.811	18.0
	5	54.670	18.0
	เฉลี่ย	54.219	17.80
	1	53.604	18.0
	5	52.123	17.5
	3	53.868	18.0
	4	54.321	18.5
	5	54.632	18.5
	เฉลี่ย	53.710	18.10

ฉีดไม่ต่อ เนื่องความ เข้มข้นต่ำ T 166 °C	1	25.575	7.5
	2	24.689	7.5
	3	22.189	6.5
	4	19.274	7.0
	5	23.179	5.5
T 255 °C	เฉลี่ย	22.981	6.80
	1	26.509	8.5
	2	24.934	8
	3	21.538	7
	4	21.368	7
	5	24.132	8
	เฉลี่ย	23.696	7.70
ฉีดไม่ต่อ เนื่องความ เข้มข้นสูง T 166 °C	1	48.528	16.0
	2	51.160	16.5
	3	52.104	17.0
	4	48.528	16.0
	5	46.991	15.5
	เฉลี่ย	49.462	16.20
T 255 °C	1	44.849	15.0
	2	45.472	15.5
	3	48.208	16.5
	4	50.538	17.5
	5	51.915	18.5
	เฉลี่ย	48.196	16.60

4.5 ผลการทดสอบ X^2 (Chi – Square test)

การทดสอบผลการสันดาปที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดสอบการสันดาปด้วยอุปกรณ์ต้นแบบ

แรงดัน (kg/cm ²)	% การกำจัด	จำนวนตัวอย่าง
4.5	77	10
5.5	73	10
6.5	68	10
เฉลี่ย	72.7	30
Spraying กระป๋อง	59	40
รวม	-	70

สมมติฐานเพื่อการทดสอบ

H_0 = ผลการสันดาปขึ้นกับลักษณะการพ่น

H_1 = ผลการสันดาปไม่ขึ้นกับลักษณะการพ่น

การคำนวณ X^2

$$\text{จาก } X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

$$E_1 = \frac{30 \times 72.7}{70} = 31.15$$

$$E_2 = \frac{40 \times 59}{70} = 69.43$$

$$X^2 = \frac{(72.7 - 31.15)^2}{31.15} + \frac{(59 - 69.43)^2}{69.43} = 56.99$$

เขตปฏิเสธ H_0 ถ้า $X^2 > X^2_{.95,2}$ เปิดตาราง $X^2_{.95,2} = 5.99$ เนื่องจาก $X^2 = 56.99 > 5.99$
จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ผลการสันดาปไม่ขึ้นกับลักษณะการพ่น

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาเรื่อง การสร้างอุปกรณ์ลดสารปนเปื้อนประเภทก๊าซไอระเหยจากสารเคลือบผิว ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมบริการพื้นที่ขนาดเล็ก โดยเน้นวัตถุประสงค์ เพื่อความเป็นไปได้ของประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิวจากอุปกรณ์จากศึกษา วิจัย สามารถวิจารณ์ผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการหารูปแบบที่มีความเหมาะสม ของอุปกรณ์ที่ทำการสร้างขึ้น และส่วนของการทดลองนำอุปกรณ์ไปใช้งาน

5.1 คุณสมบัติของสารปนเปื้อนที่ออกมาหลังจากการสันดาป

มีค่ามาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 ไม่ได้หมายความว่าไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมแต่หมายถึงผลการสันดาปสามารถลดจำนวนสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายให้ลดลงจนถึงระดับความเข้มข้นที่สามารถยอมรับได้

5.2 การหารูปแบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์ที่ทำการสร้าง

จากการวิจัยพบว่าขนาดและรูปทรงของอุปกรณ์ต้นแบบที่ทำการสร้าง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรหรือ 12 นิ้ว เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปติดตั้งหรือใช้งานในส่วนของความยาว 75 เซนติเมตร หรือ 31.25 นิ้ว ของห้องสันดาป จากผลการวิจัยยังไม่ถือว่ามีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากผลการวิจัยได้บ่งชี้ถึงตัวเลขการแปรผันที่ไม่แน่นอนของผลการสันดาปสารปนเปื้อน

5.3 วิจารณ์ผลการวิจัยการทดลองนำอุปกรณ์ไปใช้งาน

5.3.1 การนำอุปกรณ์ไปใช้งานกับไอระเหยที่เกิดจาก Air Spraying

โดยใช้ความดันของการพ่นสารเคลือบผิวมีค่า 4.5 , 5.5 และ 6.5 kg/Cm² มีค่าของการสันดาปที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจากผลของระยะห่างระหว่างโมเลกุลของ fume ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี การเพิ่มของ fume จากความดัน 4.5 kg/Cm² เป็น 6.5 kg/Cm² คิดเป็น 45.859 เปอร์เซ็นต์ แต่การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การกำจัดเปลี่ยนแปลงไม่เพียง 9 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่อ fume ของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้นจำนวนโมเลกุลของ fume ของสารเคลือบผิวที่ถูกกำจัดก็จะมากขึ้นด้วยแต่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ยังไม่สูงพอที่จะให้เกิดการแปรผันของปริมาตร

ของการกำจัดสารปนเปื้อนกับแรงดันที่เพิ่มขึ้นของการพ่นสารเคลือบผิวโดยใช้ Air Spraying ให้ไปในทิศทางเดียวกันได้

5.3.2 การนำอุปกรณ์ไปใช้งานกับไอระเหยที่เกิดจาก Spraying แบบกระป๋องในกระบวนการเพื่อสร้างก๊าซไอระเหยทั้ง 4 แบบ โดยเฉพาะความเข้มข้นที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีผลเป็นอย่างมากต่อตัวอย่างที่ทำการเก็บเนื่องจากค่าความเข้มข้นของไอจะมีค่าแตกต่างกันมาก หากทำการเก็บในช่วงที่มีความเข้มข้นต่ำรวมกันหลายตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองจะออกมาต่ำกว่าความเป็นจริงที่ควรจะได้

5.4 วิจัยผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่อง Gas chromatography ;GC ตรวจสอบผลเครื่องมือ GCเป็นอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความแม่นยำในการตรวจสอบมากแต่ในการทำการวิจัยผู้ทำการวิจัยไม่สามารถควบคุมปัจจัยรอบด้านได้ทุกช่วงเวลาได้แก่ การเกิดกระแสลม ความพร้อมเพรียงในการเก็บตัวอย่าง 2 จุดในเวลาเดียวกันและปริมาณของเครื่องมือที่ใช้เก็บ ทำให้ต้องทำการทดลองหลายครั้งเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน (error) ของข้อมูลจากการทดลอง ผลการตรวจสอบด้วยเครื่อง GC ในบางช่วงจึงแสดงออกมาไม่สม่ำเสมอ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการประมวลผลการวิจัยทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 สรุปผลกระทบจาก สารปนเปื้อนที่เหลือจากการสันดาป

อ้างอิงจากผลที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) พบว่าได้ค่าปริมาณของ สารปนเปื้อนที่ปล่อยทิ้งหลังการสันดาปไม่เกินที่กำหนดไว้

ดังนั้นสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารปนเปื้อน สามารถลดลงจนเหลือต่ำกว่าเกณฑ์ที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้แสดงว่า ค่าทางเคมีและทางกายภาพไม่ส่งผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

6.1.2 สรุปด้านกระบวนการสร้างเครื่องสันดาปไอระเหยของสารเคลือบผิวและการติดตั้ง

6.1.2.1 โครงสร้างของอุปกรณ์

โครงสร้างของเครื่องมือมีความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน มีปัญหาในการขึ้นรูปเนื่องจากโครงภายนอกเป็นเหล็กแผ่น มีขนาดใหญ่ ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะในการม้วนให้กลายเป็นทรงกระบอก เหล็กแผ่นที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักของเครื่องมือมีน้ำหนักมากยากต่อการนำไปติดตั้ง ต้องใช้ค้ำยันในการช่วยยึด ปัญหาเรื่องน้ำหนักของเครื่องต้นแบบสามารถแก้ไขให้มีน้ำหนักลดลงโดยการเปลี่ยนจากเหล็กเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาได้แก่ อะลูมิเนียม หรือ โลหะผสม

6.1.2.2 การให้ความร้อนในการกำจัดไอระเหยสารเคลือบผิวของอุปกรณ์

การให้อุปกรณ์มีระบบการให้ความร้อนโดยสม่ำเสมอ ทำให้สามารถควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสันดาปให้เป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอและคงที่ได้ โดยอุณหภูมิของเครื่องได้มีการกำหนดให้มีค่าต่ำสุดที่ 166°C และสูงสุดที่ 255°C โดยใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า

6.1.3 สรุปผลด้านการนำอุปกรณ์ไปใช้

6.1.3.1 นำอุปกรณ์ไปใช้กับไอระเหยที่เกิดจาก Air Spraying ที่ความดันของการพ่นมีค่า 4.5 , 5.5 และ 6.5 kg/Cm^2 การกำจัดไอระเหยโดยกระบวนการสันดาปที่เกิดขึ้น จากการพ่นสารเคลือบผิวด้วย Air Spraying ที่ความดัน 4.5 , 5.5 และ 6.5 kg/Cm^2 มีค่าเท่ากับ 77 , 73

และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอัตราการเพิ่มปริมาณของ สารปนเปื้อนจากการพ่นด้วยความดัน 4.5 kg/Cm^2 เป็น 21.20 และ 45.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอัตราการเพิ่มปริมาณของ สารปนเปื้อนที่ถูกกำจัดไปเป็น 9.189 ppm. และ 17.735 ppm. ตามลำดับ หรือคิดเป็น 14.97 และ 28.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6.1.3.2 นำอุปกรณ์ไปใช้กับไอรยะเหยที่เกิดจาก Spraying แบบกระป๋อง

การกำจัดไอรยะเหยโดยกระบวนการสันดาปที่เกิดจากการพ่นสารเคลือบผิว ด้วย Spraying แบบกระป๋อง ซึ่งทำการพ่นด้วยกัน 4 ลักษณะ โดยใช้อุณหภูมิของเครื่องแบบต่ำสุดและสูงสุดทดสอบตัวอย่างอย่างละเท่ากัน ปรากฏผลของเปอร์เซ็นต์ในการกำจัด สารปนเปื้อนอยู่ในช่วง 55 – 63 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าเฉลี่ยในการกำจัด สารปนเปื้อนเท่ากับ 59 เปอร์เซ็นต์

6.1.3.3 สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อ 6.1.3.1 กับ 6.1.3.2

1. ผลต่างของเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดเมื่อเปรียบเทียบกับความดัน 4.5, 5.5 และ 6.5 kg/Cm^2 มีค่าเท่ากับ 18, 14 และ 9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
2. เมื่อเทียบปริมาณของ สารปนเปื้อนที่สามารถกำจัดได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน มีค่าเพิ่มขึ้น 51.117, 60.306 และ 68.852 ppm. ตามแรงดันที่เพิ่มจาก 4.5, 5.5 และ 6.5 kg/Cm^2 ตามลำดับ

6.1.4 สรุปผลการใช้ GC เพื่อช่วยในการตรวจสอบผลการวิจัย

จากการตรวจสอบผลการวิจัยโดยใช้เครื่องมือ GC เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการสันดาป ปรากฏว่าผลของการตรวจสอบออกมาในลักษณะที่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณความสูงของ peak กับปริมาณของ สารปนเปื้อนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 77, 73 และ 68% โดยใช้การพ่นจาก Air Spraying ที่ความดัน 4.5, 5.5 และ 6.5 kg/Cm^2 ตามลำดับ และการพ่นด้วย Spraying แบบกระป๋องมีค่าการลดลงของ peak อยู่ใน ช่วง 55 – 63 เปอร์เซ็นต์

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การใช้อุปกรณ์ จากการวิจัยพบว่าอุปกรณ์มีปัญหาในเรื่องของการปิด-เปิดอุปกรณ์ ควรมีการติดตั้งสวิทช์ปิด-เปิดแทนการเสียบปลั๊กโดยตรง
2. อุปกรณ์จะมีความร้อนสูงการติดตั้งอุปกรณ์กับพัดลมควรมีระยะห่างกันเพื่อป้องกันผลเสียหายนี้อาจเกิดกับใบพัดลมจากความร้อน

6.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยต่อเนื่องต่อไป

1. การศึกษาการสันดาปของก๊าซไอระเหยของสารเคลือบผิว ในขณะที่มีการสันดาปอยู่นั้น ควรมีความยาวของห้องสันดาปเท่าใดจึงทำให้เกิดการสันดาปจนสมบูรณ์ไม่ก่อให้เกิดมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งเป็นการศึกษาทางด้านตัวแปรของเวลาที่มีผลต่อการสันดาปโดยสมบูรณ์ไม่ก่อให้เกิดมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ซึ่งเป็นการศึกษาทางด้านตัวแปรของเวลาที่มีผลต่อการสันดาปโดยสมบูรณ์
2. ศึกษาเพื่อหาวัสดุทดแทนเพื่อลดน้ำหนักของอุปกรณ์ให้ลดลงจากเดิมเพื่อสะดวกในการติดตั้ง การใช้งาน การเคลื่อนย้าย และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตให้ต่ำลง
3. ศึกษาเปรียบเทียบการใช้เทคนิคการเผา fume โดยตรงกับเครื่องมือต้นแบบนี้เพื่อหาข้อเปรียบเทียบของการประหยัดพลังงานและความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ



เอกสารอ้างอิง

1. เกษม จันทรแก้ว , ศ.ดร. , วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม , สำนักพิมพ์สยามการพิมพ์ กรุงเทพฯ , 2530.
2. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง, กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2537.
3. เพ็ชรพร เขาวงกตเจริญ. การทำลายฤทธิ์ของเสียอันตราย. เอกสารประกอบการอบรมด้านการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม รุ่นที่ 7 (8 ส.ค. - 9 เม.ย. 2536) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
4. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6. (พ.ศ. 2540) , ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 , กระทรวงอุตสาหกรรม , 2541.
5. มณฑิพย์ ศรีรัตน ทาบุญานอน และ โสฬส ชันซ์เครือ, เอกสารหลักสูตรการฝึกอบรม การบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการ 27-30 มีนาคม 2538, ปทุมธานี : ศูนย์วิจัย และฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริม คุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2538.
6. ณรงค์ ณ เชียงใหม่, มลพิษสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนส โตร์, 2525.
7. Shaheen, Esber I., Technology of environmental pollution control, Oklahoma : Penn Well Publishing Company, 1992.
8. Sincero, Arcadio Pacquiao and Sincero, Gregoria Alivio, Environmental engineering, New Jersey : Prentice-Hill Inc., 1996.
9. ปราณี พันธุมสินชัย, มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2538.
10. ชีวเคมีสิ่งแวดล้อม (เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ) สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.
11. Kapila, Shubhender, Chemical biochemical method for environmental monitoring, Thai teacher training June 6 - July 29, 1994 by International programs-UMR, Missouri, 1994.

12. สุรภี ไรจน์อารยานนท์, มลพิษสภาวะแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2530.
13. ชิดาโอะ คานาโอกะ และ วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, มลภาวะทางอากาศ, สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2528.
14. Alloway, B.J. and Ayres, d.c., Chemical principles of environmental pollution, London : Chapman & Hall, 1993.
15. Arms Karen., Environmental Science, Florida : Holt Rinehart and Winston Inc.,1990.
16. บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน. การจัดการของเสียอันตราย. เอกสารประกอบการเรียนวิชา ENV. IND. TOXIC, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2538.
17. Enginerring & Science Co.,LTD., Thai DCI Co.,LTD. and Systems Engineering Co.,LTD., National Hazardous Waste Management Plan. Office of the Nation Environmental Borad, Ministry of Science, Technology and Energy, Kingdom of Thailand, 1989.
18. Davis, Mackenzie L. and Cornwill, David A., Introduction to Environmental Engineering, Singapore : McGraw-Hill Book Co., 1991.
19. D.Barnes Eds., Dept. of Chem.Eng., University of Queensland, and School of Civil Eng., University of New South Wales, Australia, 1979, pp. 19.1-19.21.
20. Ray, Bill T., Environmental engineering, MA : PWS Publishing Company, 1995.
21. A.C. Locke, and W.W. Brandt, in Gas Chromatography, 1962 , 4th Symposium, Hamburg , M. van Swaay (Ed.) , Buttererworths , London , 1962 , p.66.
22. มนัส สุวรรณ, ร.ศ.ดร., นิเวศน์วิทยากับมนุษย์, โอ.เอส. พรินติ้งเฮาส์ , กรุงเทพฯ , 2534.
23. ศิริพรต ผลสินธุ์, ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร : ดี.ดี บู้คส์โตร์, 2534.
24. ปัญญา เมฆบุตร, มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์การศาสนา, 2537.
25. พิชิต สกุลพราหมณ์ , การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม , สามิตรการพิมพ์ กรุงเทพฯ , 2524.
26. Clements, J.A., and Grriffiths. C.M. Solidification process. In A. Porteous (ed.), Harzardous Waste Management Handbok. pp. 146-166. London : Reader In Engineering Machanics Theopen University, 1985.
27. O’Niell, Peter., Environmental chemistry, London : Chapman & Hall, 1993.

28. พิมพ์ เรือนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, เคมีสภาวะแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2539.
29. เคมีทั่วไป , พิมพ์ครั้งที่ 2 ; สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2527.
30. ศิริพรต ผลสินธุ์ , ร.ศ., หลักเคมีทั่วไป, พิมพ์ครั้งที่ 21 , ดิ.ดี.บุ๊คสโตร์, กรุงเทพฯ , 2534.
31. อรุษา สรวารี. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
32. พรณี เดชกำแหง, ผศ., เคมีทั่วไป , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครู จันทเกษม, 2526, P. 319-335.
33. โอวาท นิตินันท์ประกาศ, เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ 1 , ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2532.
34. W.M. Morgans and J.R. Taylor, Introduction to Paint Technology 4 th.ed. Watford Printers , Watford , Herts,1976.
35. Chapman and Turner, Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint Technology 3 rd.ed. Chapman and Hall , London,1988.
36. D.H. Solomon, The Chemistry of Organic Film Formers , 2 nd.ed. Robert E. Krieger , Malarbar , Florida,1982.
37. R.R. Myers and J.S. Long, Film – Forming Compositions. Marcel Dekker , New York,1967.
38. Freedman, Bill., Environmental ecology, California : Academic Press Inc., 1989.
39. กมล กลั่นเป็นสุข , ผ.ศ., เคมีสภาวะแวดล้อม , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏนครปฐม , 2539.
40. สุมาลี พิตรากุล , นิเวศวิทยา , ตำราเอกสารวิชาการ ฉบับที่ 24 ภาควิชาดาราศาสตร์และเอกสารวิชาการ หน่วยงานนิเทศน์ กรมการฝึกหัดครู กระทรวงศึกษาธิการ, 2532.
41. อยู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ ปิเจอร์, มนุษย์ ระบบนิเวศน์และสภาพนิเวศในประเทศไทย, โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด กรุงเทพฯ , 2531.
42. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ , รศ.ดร. , เคมีสภาวะแวดล้อม, สนพ. โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ , 2525.
43. Barnes, D., Cook, D.J. and Soothill, R. Waste Fixation and Encapsulation, Management of Hazardous. Toxic and Intractable Waste Vol.2. P.F. Greefieldand .

44. C.R. Martens, Technology of Paints , Varnishes and Lacquers. Robert E. Krieger. New York,1974.
45. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. วิธีทดสอบวิธี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง มอก. 285 เล่ม 1 – 44 (2521 – 2531).
46. W.M. Morgans, Outlines of Paint Technology – 3 rd.ed. Edward Arnold , London, 1990.
47. OCCAA, Surface Coatings - 2 nd.ed. Oil and Colour Chemists ‘ Association. Australia, 1984.
48. P. Nylen and E. Sunderland, Modern Surface Coatings. John Wiley & Sons , London, 1965.
49. J.C. Giddings, Dynamics of Chromatography , Part I , Vol. I , Chromatographic Science Series, Marcel Dekker , New York , 1965.
50. L. Rohrschneider, in Advances in Chromatography, Vol.IV , J.C. Giddings and R.A. Keller (Eds.) , Marcel Dekker , New York , 1968.
51. J. Bohemen , S.H. Langer , R.H. Perrett, and J.H. Purnell , J. Chem. Soc. , 2444 (1960).
52. D.H. Desty , A. Goldup and W.T. Swanton , in Lectures on Gas Chromatography 1962 , H.A. Szymanski (Ed.) , Plenum Press , New York, 1963, p. 105.
53. กัลยา วาณิชย์บัญชา, หลักสถิติ , ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักพิมพ์ โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2538.
54. อุทุมพร จามรมาน , ไคสแควร์ (Chir Squire) : การทดสอบทางสถิติ , สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด พันนิพัฒน์บริษัชิ่ง กรุงเทพฯ , 2538.

ภาคผนวก

ตัวอย่างสารเคมีที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง

Acrylonitrile	Hexachlorobutadiene
Aldrin	Hexachlorocyclohexane
Aminobiphenyl	Hexachloroethane
3-Amino-1,2,4-triazole	Hexamethylphosphoric triamide
<i>o</i> -Anisidine HCl (see Anisidines)	Hydrazine
Antimony trioxide (see Antimony and Compounds)	
Arsenic and arsenic compounds	Kepone (see chlordecone)
Asbestos	Lindane
Benzene	Methyl bromide
Benzidine	Methyl chloride
Benzo [a] pyrene	4-4-Methylene bis(2-chloroaniline)
Benzyl chloride	Methylene chloride
Beryllium and compounds	Methyl iodide
Bis (2-Chloroethyl ether) (see Dichloroethyl ether)	
Bis (chloromethyl) ether	β -Naphthylamine
Bromodichloromethane	Nickel and soluble compounds
Bromoform	Nickel carbonyl
tert-Butyl chromate	4-Nitrobiphenyl
Cadmium and compounds	2-Nitropropane (see Nitropropanes)
Calcium arsenate	Nitrosamines
Captan	<i>n</i> -Nitrosodimethylamine
Carbaryl	Paraffin
Carbon tetrachloride	Pentachloronitrobenzene
Chlordane	<i>n</i> -phenyl- β -naphthylamine
Chlordecone	Pictoram
Chloroform	Polychlorinated biphenyls

Chloromethyl methyl ether	Polynuclear aromatic
Chloroprene	hydrocabons
Chromium and compounds	β -Propiolactone
Coal tar pitch volatiles	Propyleneimine
Creosote	Propylene oxide
DDT	Quintozene
Diazomethane	TDE
Dibromochloropropane	Tetrachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin
3,3-Dichlorobenzidine and salts	1,1,2,2-Tetrachloroethene
Dichloroethyl ether	Tetrachloroethylene
Dieldrin	<i>o</i> -Tolidine
Di (2-ethylhexyl) phthalate	Toluene-2,4-diamine
Dimethyl carbamyl chloride	<i>o</i> -Toluidine
1,1-Dimethyl hydrazine	Toxaphene
Dimethyl sulfate	1,1,2-Trichloroethane
2,4-Dinitrotoluene	Trichloroethylene
Dioxane	2,4,6-Trichlorophenol
1,2-Diphenylhydrazine	Tris (2,3-dibromopropyl)
Epichlorohydrin	phosphate
Ethylene dibromide	Vinyl bromide
Ethylene dichloride	Vinyl chloride
Ethyleneimine	Vinyl cyclohexene dioxide
Heptachlor	Vinyldene chloride
Hexachlorobenzene	Zinc chromate

สารก่อมะเร็งกับอวัยวะที่เป็นมะเร็ง

สารเคมี

อวัยวะที่เป็นมะเร็ง

กลุ่ม 1 มีหลักฐานแน่นอน

สารเคมีในอุตสาหกรรม (Industrial chemicals)

4-Aminobiphenyl

Urinary bladder

Arsenic and arsenic compounds

Skin, lung, liver

Asbestos

Lung, G.I. tract

Benzene

Leukemia

Benzidine

Urinary bladder

Bis (Chloromethyl) ether and technical

grade chloromethyl methyl ether

Lung

Chromium and certain chromium

compounds

Lung, nasal cavities

2-Naphthylamine

Urinary bladder

Soots, tars and oils

Lung, skin, intestine

Vinyl chloride

Liver (angiosarcoma), brain, lung

ขบวนการในอุตสาหกรรม (Industrial processes)

Auramine manufacture

Urinary bladder

Boot and shoe manufacture and repair

Nasal cavity and sinuses

(certain occupations)

Lung, bladder, stomach

Furniture manufacture

Nasal cavity and sinuses

Isopropyl alcohol manufacture

Nasal sinuses

(strong-acid process)

Nickel redining

Lung, nasal sinuses

Rubber Industry (certain occupations)

Urinary bladder, Leukemia, lung

Underground haematite mining

Lung, nasal sinuses

(with exposure to radon)

ยา (Drugs)

Analgesic mixtures containing phenacetin	Renal pelvis
Azathioprine	Reticulosarcoma
N,N-Bis (2-chloroethyl)-2-naphthylamine	Urinary bladder
1,4-Butanediol dimethanesulphonate (Mylaran)	Breast, Leukemia
Certain combined chemotherapy for lymphomas (including MOPP)	Leukemia, thyroid, stomach, lung
Chlorambucil	Leukemia
Conjugated oestrogens	Endometrium, breast
Cyclophosphamide	Leukemia, urinary bladder
Diethylstilbestrol	Vagina, endometrium, cervix
Melphalan	Leukemia
Methoxalen with A therapy (PUVA)	Skin
อื่น ๆ (Others)	
Cigarette smoke	Lung
Betal quid	Buccal mucosa
Alcoholic beverages	Liver, oral cavity

กลุ่ม 2 A (มีหลักฐานค่อนข้างมาก)

สารเคมีและกระบวนการในอุตสาหกรรม (Industrial chemicals & processes)

Acrylonitrile	Colon, kidney, lung, bladder
Benzo(a)pyrene	kin, lung
Beryllium and beryllium compounds	Lung
Diethyl sulphate	Larynx
Dimethyl sulphate	Lung
Manufacture of magents	urinary bladder
Nickel and certain nickel compounds	Lung, nasal cavity
o-Toludine	Urinary bladder

ยา (Drugs)

Combined oral contraceptives	Liver
Nitrogen mustard	Skin, leukemia
Oxymetholone	Liver
Phenacetin	Renal pelvis
Procarbazine	Leukemia, lymphoma?

สารที่เกิดตามธรรมชาติ (Naturally occurring compound)

Aflatoxins	Liver
------------	-------

กลุ่ม 2 B มีหลักฐานน้อย

สารเคมีและขบวนการในอุตสาหกรรม (Industrial chemicals & processes)

Amitrole	Lung
Auramine (Technical grade)	Urinary bladder
Benzotrichloride	Respiratory tract
Cadmium and cadmium compounds	Lung, prostate gland
Carbon tetrachloride	Liver
Chloroform	Urinary bladder, brain
Chlorophenols (occupational exposure to)	Connective tissue lymphoma, leukemia
DDT	Soft-tissue, lymphoma, liver?
3,3-Dichlorobenzidine	Urinary bladder
Dimethylcarbamoyl chloride	?
1,4-Dioxane	?
Benzidine-base dyes	
Direct Black 38 (technical grade)	Urinary bladder
Direct Blue 6 (technical grade)	Urinary bladder
Direct Brown 9 (technical grade)	Urinary bladder
Epichlorohydrin	Respiratory tract

Ethylene oxide	Leukemia, Stomach
Ethylene thiourea	Thyroid gland
Formaldehyde (gas)	Skin, prostate gland, G.I. tract
Hydrazine	Skin
Phenoxyacetic acid herbicides (occupational exposure to)	Soft-tissue, lymphoma
Polychlorinated biphenyls	Skin
Tetrachlorodibenzo-para-dioxin (TCDD)	Soft-tissue, lymphoma
2,4,6-Trichlorophenol	Soft-tissue, lymphoma
ยา (Drugs)	
Actinomycin D	Soft-tissue, thyroid, hematopoietic system
Adriamycin	Leukemia, bone
Bischloroethyl nitrosourea (BCNU)	Leukemia
Chlorambucil	Leukemia
1-(2-Chloroethyl)-3-cyclohexyl- 1-nitrosourea (CCNU)	Leukemia
Cisplatin	Leukemia
Decarbazine	Leukemia
Dienestrol	Endometrium
Metomidazole	Uterus, cervix
Phenytoin	Brain, mesenchyma
Propylthiouracil	Thyroid gland, leukemia
Sequential oral contraceptives	Endometrium
Tris(1-aziridiny) phosphine sulphide (Thiotepa)	Leukemia

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน

.....

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจาก โรงงานไว้ดังนี้

ข้อ 1 อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารแต่ละชนิดเจือปนไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

ลำดับที่	ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ
1	ฝุ่นละออง (Particulate)	หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดังนี้ - น้ำมันเตา - ถ่านหิน - เชื้อเพลิงนั้น ๆ การถลุง หล่อหลอม รีดตีง และ/หรือผลิตเหล็กกล้า อลูมิเนียม การผลิตทั่วไป	300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2.	พลวง (Antimony)	การผลิตทั่วไป	20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3.	สารหนู (Arsenic)	การผลิตทั่วไป	30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4.	ทองแดง (Copper)	การหลอมเหลวหรือการถลุง	30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
5.	ตะกั่ว (Lead)	การผลิตทั่วไป	30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
6.	คลอรีน (Chlorine)	การผลิตทั่วไป	30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

7.	ไฮโดรเจนคลอไรด์ การผลิตทั่วไป (Hydrogen Chloride)	200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
8.	ปรอท การผลิตทั่วไป (mercury)	3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
9.	คาร์บอนมอนอกไซด์ การผลิตทั่วไป (Carbon monoxide)	1000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
10.	กรดกำมะถัน การผลิตทั่วไป (sulfuric acid)	100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 25 ส่วนในล้านส่วน
11.	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ การผลิตทั่วไป (Hydrogen sulfide)	140 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 100 ส่วนในล้านส่วน
12.	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การผลิตกรดซัลฟูริก (sulfur dioxide)	1300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 500 ส่วนในล้านส่วน
13.	ออกไซด์ของไนโตรเจน หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดังนี้ (วัดในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์) (Oxides of nitrogen)	- ถ่านหิน 940 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 500 ส่วนในล้านส่วน - เชื้อเพลิงอื่น ๆ 470 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 250 ส่วนในล้านส่วน
14.	ไซลีน การผลิตทั่วไป (Xylene)	870 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 200 ส่วนในล้านส่วน

ข้อ 2 การวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ให้วัดอากาศที่ระบายออกจากปล่องในขณะประกอบกิจการโรงงาน

ในกรณีที่ไม่มีปล่องให้วัดที่ช่องระบายอากาศซึ่งพนักงานเจ้าหน้าที่เห็นว่าน่าจะมีปริมาณของสารเจือปนระบายออกมากที่สุด

ข้อ 3 ระดับค่าปริมาณของสารแต่ละชนิดที่เจือปนในอากาศ ให้คำนวณเทียบที่ความ
ดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ประกาศ ณ วันที่ 20 กรกฎาคม 2536



(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 9 (พ.ศ. 2538)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน

.....

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานไว้ ดังต่อไปนี้

ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นลำดับที่ 15 ของข้อ 1 แห่งประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน

ลำดับที่	ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ
15	ครีซอล (Cresol)	การผลิตทั่วไป	22 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 5 ส่วนในล้านส่วน

ประกาศ ณ วันที่ 6 กันยายน พ.ศ. 2538

(นายไชยวัฒน์ ลินสุวรรณ)
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน (เพิ่มเติม)

.....

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารเจือปนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินร้อยละ 10 ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ดังนี้

ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide)	การเผาไหม้ที่ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง	1,250 ส่วนในล้านส่วน

ข้อ 2 การวัดค่าปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ให้วัดอากาศที่ระบายออกจากปล่องในขณะประกอบกิจการโรงงาน

ในกรณีที่ไม่มีปล่องให้วัดที่ช่องระบายอากาศ ซึ่งพนักงานเจ้าหน้าที่เห็นว่าจะมีปริมาณของสารเจือปนระบายออกมากที่สุด

ข้อ 3 ระดับค่าปริมาณของสารที่เจือปนในอากาศ ให้คำนวณเทียบที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ข้อ 4 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเฉพาะโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร และจังหวัดสมุทรปราการ

ประกาศ ณ วันที่ 3 กันยายน พ.ศ 2539

(นายสนธยา คุณปลื้ม)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

รักษาราชการแทนรัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

.....

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 13(3) และข้อ 13(3)(ก) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดนครปฐม จังหวัดชลบุรี จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดระยอง จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดลำพูน จังหวัดสระบุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่มีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ท้ายประกาศนี้ ต้องดำเนินการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กำหนดในข้อ 2

ข้อ 2 ห้ามมิให้นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามข้อ 1 ออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายให้นำออกไปเพื่อการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังด้วยวิธีการและสถานที่ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวกที่ 2 ท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหกสิบวัน นับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2541

(นายสมศักดิ์ เทพสุทิน)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ภาคผนวกที่ 1

บัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)

.....

หมวด 1

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย (Industrial non-bazardous wastes)

ข้อ 1 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เกิดจากกระบวนการผลิตหรือเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1.1 เศษชิ้นส่วนของพืช เช่น ราก เปลือก ใบ หรือของสัตว์ เช่น กระดูก หนัง ขน และมูลสัตว์

1.2 เศษชิ้นส่วนไม้

1.3 เศษกระดาษ

1.4 เศษพลาสติกหรือยางสังเคราะห์ที่เป็นโพลิเมอร์ (Polymers and resins)

1.5 เศษผ้า ด้าย หรือสิ่งทอ

1.6 เศษไขมันสัตว์ น้ำมันสัตว์ น้ำมันพืช

1.7 เศษยางธรรมชาติ (Natural rubbers)

1.8 เศษโลหะและโลหะผสม (metals and metal alloys) ที่ไม่อยู่ในรูปของเกลือโลหะ เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง

1.9 เศษแก้ว กระຈก กระเบื้องเคลือบ หรือเซรามิก

1.10 เศษหิน ปูน ทราช หรือวัสดุที่มีองค์ประกอบของดิน ทราช หรือหิน เช่น กระเบื้อง อิฐ ยิปซัม คอนกรีต

ข้อ 2 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามข้อ 1 หากถูกปนเปื้อน หรือผสม หรือปะปนอยู่ด้วยกับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ลงวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540 จะมีลักษณะและคุณสมบัติตามที่กำหนดใน หมวด 1 ของภาคผนวกที่ 1 ตามประกาศดังกล่าว ไม่ถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศฉบับนี้

หมวด 2

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตเฉพาะประเภท

(Waste from specific industrial processes)

ข้อ 3 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เกิดจากกระบวนการผลิตหรือที่ได้จากการประกอบกิจการโรงงานตามประเภท ชนิด ส่วนผสมหรือองค์ประกอบของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ดังต่อไปนี้

3.1 เถ้า (Ash) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล มวลชีวภาพ หรือวัสดุที่เผาไหม้ได้ต่าง ๆ (Fossil fuel, biomass, and combustible materials)

3.2 เศษวัสดุ หรือของเสียที่ได้จากการหั่น หรือตัดชิ้นส่วนของยานที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ รถพ่วง จักรยานสามล้อ จักรยานสองล้อ หรือส่วนประกอบของยานดังกล่าว (Auto shredder wastes)

3.3 ฝุ่นที่ได้จากระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ (Baghouse, electrostatic precipitator, cyclone and scrubber wastes)

3.4 สารเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ใช้งานแล้ว (Spent catalysts) จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี หรือปิโตรเลียม

3.5 ฝุ่นจากเตาเผาปูนซีเมนต์ (Cement kilns)

3.6 กากตะกอนที่รีดน้ำแล้ว (Dewatered sludges) จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย หรือกระบวนการบำบัดน้ำที่ใช้งานแล้วในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

3.7 กากตะกอนที่รีดน้ำแล้ว จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังสัตว์

3.8 โคลนเจาะ (Drilling mud) ที่เกิดจากการสำรวจ ขุดเจาะก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมัน

3.9 วัสดุทนไฟหรือความร้อน (Refractory materials) ที่ใช้งานแล้วจากเตาอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ (Industrial furnaces, kilns, and ovens)

3.10 ทรายขัดผิวที่ใช้งานแล้ว (Sand from foundry casting)

3.11 ทรายที่ใช้งานแล้วจากเบ้าหล่อ (Sand from foundry casting)

3.12 ตะกรัน (Slag) ที่เกิดจากกระบวนการ Coal gasification

3.13 กากตะกอนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ (Sulfur dioxide scrubber waste) ของกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel combustion)

3.14 เศษชิ้นส่วน หรือฝุ่นที่เกิดจากการตัดแต่งหนังสัตว์ที่ฟอกโครมแล้ว

3.15 กากแร่ หรือหางแร่ (Tailings) ที่เหลือจากการสกัดนำเอาสินแร่มาใช้ประโยชน์ (Extraction, beneficiation, and processing of ores and minerals)

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเหล่านี้ ซึ่งมีได้ผ่านกระบวนการบำบัดใด ๆ ก่อน เมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ตามที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ลงวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540 แล้ว ต้องไม่มีลักษณะและคุณสมบัติเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามประกาศดังกล่าว

ภาคผนวกที่ 2

หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)

ข้อ 1 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ประสงค์จะดำเนินการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศนี้ ต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

1.1 การฝังกลบ ให้ดำเนินการฝังกลบ โดยจัดให้มีระบบกันซึม ระบบตรวจสอบการรั่วไหล ระบบระบายก๊าซและระบบบำบัดน้ำเสีย ตามความเหมาะสมของชนิดหรือประเภทของสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น ๆ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 การเผา ให้ดำเนินการเผาโดยควบคุมค่ามาตรฐานของมลสารที่ระบายออกจากปล่อง (Stack emission standards) ให้เป็นไปตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย ลงวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2540

1.3 การกำจัดโดยวิธีอื่น ๆ ซึ่งจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

1.3.1 การหมักทำปุ๋ย (Composting) การนำไปถมทะเลหรือที่ลุ่ม
(Land reclamation)

1.3.2 การนำกลับไปใช้ประโยชน์อื่น (Recycle/reuse/recovery) เฉพาะ

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ในข้อ 3 หมวด 2 ของภาคผนวกที่ 1 ตามประกาศนี้

ข้อ 2 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ประสงค์จะใช้บริการของผู้อื่นในการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้ แล้วตามประกาศนี้ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ภาคผนวกที่ 1

บัญชีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

.....

หมวด 1

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารไวไฟ (Ignitable substances) สารกัดกร่อน (Corrosive substances) สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances) สารพิษ (Toxic substances) และสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable substances)

ข้อ 1 สารไวไฟ (Ignitable substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

1.1 เป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟ (Flash point) ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส (140 องศาฟาเรนไฮต์) แต่ไม่รวมถึงสารละลายในน้ำ (Aqueous solution) ที่มีปริมาณของแอลกอฮอล์ผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 24 โดยปริมาตร วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำได้โดยการวัดด้วยเครื่องมือ Pensky Martens Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM D-93-79 หรือ D-93-80 หรือการวัดด้วยเครื่องมือ Setflash Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM D-3278-78

1.2 เป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถถูกเป็นไฟได้ เมื่อมีการเสียดสี หรือเมื่อมีการดูดความชื้นหรือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเองภายในสารนั้นและเมื่อเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและอย่างต่อเนื่องที่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส)

1.3 เป็นก๊าซอัดที่จุดระเบิดได้ (Ignitable Compressed gas) ซึ่งก๊าซอัดนี้ ให้หมายถึงวัสดุหรือของผสมใด ๆ ที่บรรจุอยู่ในถังบรรจุที่มีความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) มากกว่า 2.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส (70 องศาฟาเรนไฮต์) หรือมีความดันสัมบูรณ์มากกว่า 7.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (104 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (130 องศา

ฟาเรนไฮต์) วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำได้โดยการวัดตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM-D-323

1.4 เป็นสารออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) ซึ่งให้ออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วและสามารถไปกระตุ้นให้เกิดการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ขึ้นได้ ได้แก่ สารประกอบจำพวก Chlorate permanganate inorganic peroxide และ nitrate

ข้อ 2 สารกัดกร่อน (Corrosive substance) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

2.1 เป็นสารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (Aqueous) ที่มีค่าความเป็นกรดต่างพีเอช (pH) เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่าและค่าความเป็นกรดต่างพีเอช (pH) เท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำได้โดยการวัดด้วย pH-meter ตามวิธีทดสอบของ US EPA

Method 9040

2.2 เป็นของเหลวที่กัดกร่อนเหล็กกล้าชั้น SAE 1020 ได้ในอัตราสูงกว่า 6.35 มิลลิเมตร (0.250 นิ้ว) ต่อปีที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (130 องศาฟาเรนไฮต์) วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำได้โดยใช้วิธีทดสอบของ NACE (National Association of Corrosion Engineers) Standard TM-01-69

ข้อ 3 สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังนี้

3.1 เป็นสารที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและอย่างรุนแรงโดยไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น

3.2 เป็นสารซึ่งทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ

3.3 เป็นสารซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะได้ของผสมที่จะระเบิดได้

3.4 เป็นสารซึ่งเมื่อผสมกับน้ำ จะทำให้เกิดมีก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้น ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

3.5 เป็นสารประกอบด้วยไซยาไนด์หรือซัลไฟด์ เมื่อมีค่าความเป็นกรดต่างพีเอช (pH) ระหว่าง 2 ถึง 11.5 แล้ว จะทำให้เกิดมีก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้น ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

3.6 เป็นสารซึ่งเมื่อถูกทำให้ร้อนขึ้นในที่จำกัดจะมีปฏิกิริยาระเบิดรุนแรงหรือเมื่ออยู่ในที่ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) จะมีปฏิกิริยารุนแรงและรวดเร็วและอาจระเบิดได้

ข้อ 4 สารพิษ (Toxic substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

4.1 เป็นสารที่มีอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของบุคคล โดยทำให้ถึงตายได้ ในปริมาณที่มีเพียงเล็กน้อย วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำโดยการใช่วิธีทดสอบ toxicity test แบบ US EPA Method

4.2 เป็นสารที่มีค่าความเป็นพิษ ดังต่อไปนี้

เมื่อใช้หนู (Rat) เป็นสัตว์ทดลอง LD_{50} (พิษทางปาก, Oral LD_{50}) น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม หรือ LD_{50} (พิษทางการหายใจ, Inhalation LD_{50}) น้อยกว่า 100 ส่วนในล้านส่วนในสภาพของไอหรือก๊าซ หรือเมื่อใช้กระต่ายเป็นสัตว์ทดลอง LD_{50} (พิษโดยผ่านทางผิวหนัง, Dermal Rabbit LD_{50}) น้อยกว่า 43 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ทั้งนี้ ค่า LD_{50} หมายถึง ค่า (ปริมาณ) เฉลี่ยของวัตถุมีพิษ (Medium lethal dosage) ที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LD_{50} มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมของวัตถุมีพิษต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม และค่า LD_{50} หมายถึง ค่า (ความเข้มข้น) เฉลี่ยของวัตถุมีพิษ (Medium lethal concentration) ในตัวกลางที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LD_{50} มีหน่วยเป็นส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของวัตถุมีพิษต่อล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของตัวกลาง

4.3 เป็นสารที่เกิดจากระบวนการในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีหรือเจือปนด้วยสารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามบัญชีรายชื่อในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2A และกลุ่มที่ 2B ของ International Agency for Research on Cancer

4.4 เป็นสารที่มีค่าความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำที่ทดลอง $WA_{aquatic} LC_{50}$ น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 96 ชั่วโมง

4.5 เป็นสารที่เมื่อถูกเจือจางให้มีความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 20 แล้ว ยังก่อให้เกิดความเป็นพิษ LC_{50} ต่อสัตว์ที่ทดลองในเวลา 96 ชั่วโมง

ข้อ 5 สารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable substances) เป็นสารซึ่งเมื่อนำมาสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 3 ของภาคผนวกที่ 2 ท้ายประกาศนี้แล้ว มีปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดเท่ากับหรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้

อาร์ซีนิก (ทั้งหมด) (Arsenic (total))	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
แบเรียม (Barium)	100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เบนซีน (Benzene)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม (ทั้งหมด) Cadmium (total))	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอเดน (Chlordane)	0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene)	100.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	6.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม (ทั้งหมด) (Chromium (total))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ออร์โธ-ครีซอล (ortho-Cresol)	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมทา-ครีซอล (meta-Cresol)	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
พารา-ครีซอล (para-Cresol)	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ครีซอล (ทั้งหมด) (Cresol (total))	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2-4 ดี (2-4 D)	10.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,4-ไดคลอโรเบนซีน (1,4-Dichlorobenzene)	7.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	0.7	มิลลิกรัมต่อลิตร
เอลดริน (Endrin)	0.02	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮปตาคลอร์ (Heptachlor and its epoxide)	0.008	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	0.13	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซะคลอโรบิวตาไดเ็น (Hexachlorobutadiene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซะคลอโรอีเทน (Hexachloroethane)	3.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว (ทั้งหมด) (Lead (total))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ลินเดน (Lindane)	0.4	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท (ทั้งหมด) (Mercury (total))	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมธอกซีคลอร์ (Methoxychlor)	10.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl ethyl ketone)	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene)	2.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4-ไนโตรโทลูเอิน (2,4-Nitrotoluene)	0.13	มิลลิกรัมต่อลิตร
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	100.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไพริดีน (Pyridine)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีลีเนียม (Selenium)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เงิน (Silver)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	0.7	มิลลิกรัมต่อลิตร

ทอกซาฟีน (Toxaphene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,5-ไตรคลอโรฟีนอล (2,4,5-Trichlorophenol)	400.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,6-ไตรคลอโรฟีนอล (2,4,6-Trichlorophenol)	2.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,5-ทีพี (ซิลเว็กซ์) (2,4,5-TP (Silvex)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไวนิล คลอไรด์ (Vinyl chloride)	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร



ค่าพารามิเตอร์

Aliphatic hydrocarbons	δ_p
n-Hexane	7.3
n-Heptane	7.4
n-Octane	7.6
White spirit, aromat	
content = 15%	7.5
White spirit, odouless	6.9
VM & P naphtha	7.6
Turpentine	8.1
Cyclohexane	8.2
Aromatic hydrocarbons	δ_p
Benzene	9.2
Toluene	8.9
Xylene	8.8
Tetralin	9.5
Chlorinated hydrocarbons	δ_p
Methylene chloride	9.7
Chloroform	9.3
Carbon tetrachloride	8.6
Trichlorethylene	9.3
Chlorobenzene	9.5
Nitroparaffins	δ_p
Nitromethane	12.7
Nitroethane	11.1
Nitropropane	10.7
Ether	δ_m
Dimethyl	8.8
Diethyl	7.4
Dioxan	9.9

Methly acetate	9.6
Ethyl acetate	9.1
Propyl acetate	8.8
n-Butyl acetate	8.5
Iso-butyl acetate	8.3
n-Amyl acetate	8.5
Methyl butyrate	8.9
Butyl butyrate	8.1
Di-butyl phthalate	9.4
Ethylene carbonate	14.7
Ketones	δ_m
Acetone	10.0
Methyl ethyl	9.3
Diethyl	8.8
Methyl isobutyl	8.4
Diacetone alcohol	9.2
Cyclohexanone	9.9
Ethylene glycol monoalkyl ethers	δ_p
Methyl	10.8
Ethyl	9.9
Butyl	8.9
Alcohols	δ_s
Methanol	14.5
Ethanol	12.7
n-Butanol	11.4
sec-Butanol	10.8
tert-Butanol	10.6
n-Octanol	10.3
2-Ethylhexanol	9.5

Ethylene glycol	14.2
Glycerol	16.5
Water	23.4

	Poorly δ_p	Moderately δ_m	Strongly δ_s
Cellulose derivatives			
Nitrocellulose, RS, 0.5 sec	11.2-12.7	7.8-14.7	14.5
Ethylcellulose, N 22	8.1-11.2	7.4-11.0	9.5-14.5
Ethylcellulose, K 200	0	8.5-10.8	9.5-11.4
Cellulose acetate, LL 1	11.2-12.7	9.9-14.7	0
Cellulose acetate-butyrate	11.2-12.7	8.5-14.7	12.7-14.5
Oils and alkyds			
Soya oil	7.0-11.1	7.4-11.9	9.5-11.9
Glycerol phthalate, 45% soya	7.0-11.1	7.4-11.9	9.5-11.9
Glycerol phthalate, 30% soya	8.5-12.5	8.5-14.7	0
Glycerol phthalate, 45% linseed	7.0-11.9	7.4-11.9	9.5-11.9
Amine resins			
Beetle, 227-8	0	0	8.9-11.4
Uformite, MX-61	8.4-11.2	7.4-11.1	9.5-11.1
Phenolic resins			
Bakelite, BR 254	8.5-10.0	7.8-13.3	9.5-10.8
Bakelite, BR 17620	0	8.4-14.7	9.5-14.5
Vinyl resins			
Union Carbide, VYHH	9.3-11.1	7.8-13.3	0
Union Carbide, VMCH	10.6-11.2	7.8-12.2	0
Union Carbide, VAGH	10.6-11.2	7.8-9.9	0
Vinyl butyral, XYHL	0	8.9-10.8	9.5-14.5

	Poorly δ_p	Moderately δ_m	Strongly δ_s
Cellulose derivatives			
Nitrocellulose, RS, 0.5 sec	11.2-12.7	7.8-14.7	14.5
Ethylcellulose, N 22	8.1-11.2	7.4-11.0	9.5-14.5
Ethylcellulose, K 200	0	8.5-10.8	9.5-11.4
Cellulose acetate, LL 1	11.2-12.7	9.9-14.7	0
Cellulose acetate-butyrate	11.2-12.7	8.5-14.7	12.7-14.5
Oils and alkyds			
Soya oil	7.0-11.1	7.4-11.9	9.5-11.9
Glycerol phthalate, 45% soya	7.0-11.1	7.4-11.9	9.5-11.9
Glycerol phthalate, 30% soya	8.5-12.5	8.5-14.7	0
Glycerol phthalate, 45% linseed	7.0-11.9	7.4-11.9	9.5-11.9
Amine resins			
Beetle, 227-8	0	0	8.9-11.4
Uformite, MX-61	8.4-11.2	7.4-11.1	9.5-11.1
Phenolic resins			
Bakelite, BR 254	8.5-10.0	7.8-13.3	9.5-10.8
Bakelite, BR 17620	0	8.4-14.7	9.5-14.5
Vinyl resins			
Union Carbide, VYHH	9.3-11.1	7.8-13.3	0
Union Carbide, VMCH	10.6-11.2	7.8-12.2	0
Union Carbide, VAGH	10.6-11.2	7.8-9.9	0
Vinyl butyral, XYHL	0	8.9-10.8	9.5-14.5

	Poorly δ_p	Moderately δ_m	Strongly δ_s
Epoxide resins			
Epikote 1001	10.6-11.1	8.9-13.2	0
Epikote 1004	0	8.4-13.3	0
Epikote 1009	0	8.4-9.9	0
Epikote DCO-ester 1004	8.5-11.2	7.8-9.9	0
Acrylic resins			
Poly (methyl methacrylate)	8.9-12.7	8.5-13.4	0
Acryloid, B-72	10.6-12.7	8.9-13.2	0
Miscellaneous			
Gum rosin, WW	8.5-11.2	7.4-10.8	9.5-11.4
Ester gum	7.0-10.6	7.4-10.8	9.5-10.9
Chlorinated rubber	8.5-10.6	7.8-10.8	0
Gilsonite, selects	7.8-9.5	7.8-8.5	9.5
Gilsonite, brilliant black	7.8-10.6	7.8-8.5	0

Units

Units of length, area and volume

1 metre (m) = 39.4 inches = 1000 millimetres (mm)
 = 1 million (or 10^6) microns (μm)
 = one thousand million (or 10^6) nanometres (nm)

1 thousandth of an inch (thou or mil) = $25.4 \mu\text{m}$ = 25400 nm

1 litre (l) = 1000 millilitres (ml) = 1.76 pints (Imp)

1 gallon (Imp) = 4544 ml = 1.2 gal (US)

Units of weight

1 kilogram (kg) = 2.2 pounds = 1000 grams (g)

1 ounce = 28.4 g

Units of tempreature

0	50	100	150	200	250	Degrees
32	122	212	302	392	482	Celsius (°C)
						Degrees
						Fahrenheit (°F)

$$x^{\circ}\text{F} = (x - 32) \times 5/9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$x^{\circ}\text{C} = 5/9x + 32^{\circ}\text{F}$$

SI UNITS

	In SI units	In c.g.s. units	Conversion
Basic unit of length	metre (m)	centimetre (cm)	1 m= 100 cm
Basic unit of mass	kilogram (kg)	gram (g)	1 kg = 1000 g
Basic unit of time	second (s)	second (s)	
Unit of volume	cubic metre (m ³)	cubic centimetre (cm ³)	1 m ³ = 10 ⁶ cm ³
	litre (l)		1 l = 1000 cm ³
Unit of force	newton (N)	dyne (gcms ²)	1N = 10 ⁵ dynes
Unit of viscosity	pascal-second (Pa.s)	poise (p)	1Pa.s = 10 p
Unit of surface tension	newton perm	dyne percm	1SI unit =10 ⁶
			c.g.s. units

From Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint Technology - 3rd.ed.(1988)

edited by

G.P.A. Turner

Conversion factors (x = multiply by)

Length

Thou or mils to micrometres (μm)	x 25.4
Inches to centimetres	x 2.54
Yards to metres	x 0.914
Miles to kilometres	x 1.609

Area

Square inches to square centimetres	x 6.4516
Square yards to square metres	x 0.836

Volume

Pints to litres	x 0.568
Gallons (Imp.) to litres	x 4.54
Gallons (US) to litres	x 3.78
Cubic yards to cubic metres	x 0.764
(1 cubic metre = 1000 litres = 220.3 Imp. gallons = 35.2 cubic feet)	

Mass

Ounces to grams	x 28.35
Pounds to kilograms	x 0.454

Density

Lbs/cubic foot to kg/cubic metre	x 16.0
Lbs/Imp. gallon to kg/litre	x 0.1

Miscellaneous

Gallons (Imp.) per minute to litres per second	x 0.0758
Psi to N/m^2	x 6895
1 bar = $14.5038 \text{ lb/in}^2 = 0.987 \text{ Atm.}$	
1 Atm. = $14.6959 \text{ lb/in}^2 = 101.325 \text{ kN/m}^2 = 1.013 \text{ bar}$	

Temperature conversion tables

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
-17.8	0	22	71.6	70	158.0	128	262.4
-15.0	5	23	73.4	72	161.6	130	266.0
-12.2	10	24	75.2	74	165.2	132	269.6
-9.4	15	25	77.0	76	168.8	134	273.2
-6.6	20	26	78.8	78	172.4	136	276.8
-4.0	25	27	80.6	80	176.0	138	280.4
-1.1	30	28	82.4	82	179.6	140	284.0
0	32	29	84.2	84	183.2	142	287.6
1	33.8	30	86.0	86	186.8	144	291.2
2	35.6	31	87.8	88	190.4	146	294.8
3	37.4	32	89.6	90	194.0	148	298.4
4	39.2	34	93.2	92	197.6	150	302.0
5	41.0	36	96.8	94	201.2	160	320.0
6	42.8	38	100.4	96	204.8	170	338.0
7	44.6	40	104.0	98	208.4	180	356.0
8	46.4	42	107.6	100	212	190	374.0
9	48.2	44	111.2	102	215.6	200	392.0
10	50.0	46	114.8	104	219.2	210	410.0
11	51.8	48	118.4	106	222.8	220	428.0
12	53.6	50	122.0	108	226.4	230	446.0
13	55.4	52	125.6	110	230.0	240	464.0
14	57.2	54	129.2	112	233.6	250	482.0
15	59.0	56	132.8	114	237.2	260	500.0
16	60.8	58	136.4	116	240.8	270	518.0
17	62.6	60	140.0	118	244.4	280	536.0
18	64.4	62	143.6	120	248.0	290	554.0

Temperature conversion tables (ต่อ)

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
19	66.2	64	147.2	122	251.6	300	572.0
20	68.0	66	150.8	124	255.2	310	590.0
21	69.8	68	154.4	126	258.8	315	600.0

Conversion factors

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9 \quad ^{\circ}\text{F} = \text{C} \times 9/5 + 32$$

หน่วยมาตรฐานความดัน

1 bar	=	10^5 Pascal = 0.1 Mpa
1 atm	=	1.01325×10^5 Pascal
	=	760 mm. - Hg
	=	10.33 m - H ₂ O
1 kg/cm ³	=	735.6 mm - Hg
	=	10 m - H ₂ O
	=	0.9807 bax
1 N/m ²	=	1 Pascal

From ; Outlines of Paint Technology - 3rd.ed. (1990)

edited by W.M.Morgans

Composition of inorganic pigments and extenders

(where compositions is not apparent from the name)

Material	Composition
Barytes	Natural barium sulphate
Bauxite residue	Mainly oxide of iron
Black, Bone	Carbon mixed with calcium phosphate
Black, Carbon	Almost pure carbon
Black, Drop	The best quality Bone Black
Black, Gas	Identical with Carbon Black
Black, Lamp	Carbon (identical with Vegetable Black)
Blacklead	Identical with graphite
Black, Vegetable	Carbon (identical with Lamp Black)
Blance Fixe	Precipitated barium sulphate
Blue, Bronze	Ferric ammonium (or sodium) ferrocyanide
Blue, Brunswick	Prussian Blue with extender
Blue, Celestial	Prussian Blue with extender
Blue, Cerulean	Mixed oxides of cobalt and tin
Blue, Chinese	Term formerly applied to best Prussian Blue
Blue, Cobalt	Mixed oxides of cobalt and aluminium
Blue, French	Identical with Ultramarine Blue
Blue, Milori	A variety of Prussian Blue
Blue, Prussian	Ferric potassium ferrocyanide
Blue, Thenard's	Identical with Cobalt Blue
Blue, Ultramarine	Complex sulphosilicate of aluminium and sodium
Brown, Purple	Iron oxide
Bronze powders	Alloys of copper
Cadmopone	Co-precipitated cadmium sulphide and barium sulphate
Calcite	Natural crystalline calcium carbonate
China clay	Natural hydrated aluminium silicate

Chrome, Lemon	Lead chromate and lead sulphate
Chrome, Mid	Lead chromate
Chrome, Orange	Basic lead chromate
Chrome, Primrose	Lead chromate, lead sulphate and alumina
Chrome, Scarlet	Lead chromate, lead molybdate and lead sulphate
Graphite	Semi-crystalline carbon
Green, Bronze	A chrome green modified with other pigments often oxides of iron
Green, Brunswick	Mixtures of lead chrome and prussian Blue
Green, Chrome	
Green, Cobalt	Mixed oxides of cobalt and zinc
Green, Guignet's	Hydrated oxide of chromium
Gypsum	Natural hydrated calcium sulphate
Kaolin	Identical with china clay
Kieselguhr	A natural diatomaceous silica
Lapis lazuli	Natural form of Ultramarine Blue
Lead, Orange	
Lead, Red	Oxide of lead (Pb_3O_4)
Lead, White	Basic lead carbonate
Lithopone	Co-precipitated zinc sulphide and barium sulphate
Magnesite	Natural magnesium carbonate
Maroon, Cadmium	Co-precipitated cadmium sulphide and selenide
Mica	Natural hydrated aluminium potassium silicate
Micaceous oxide	Natural black iron oxide
Ochres	Hydrated oxides of iron and siliceous matter
Red, Cadmium	Co-precipitated cadmium sulphide and selenide
Red, Indian	Synthetic iron oxide
Red, Turkey	Synthetic iron oxide
Red, Venetian	Synthetic iron oxide with calcium sulphate
Sienna, Burnt	Iron oxide containing manganese oxide and siliceous matter

Sienna, Raw	Hydrated iron oxide, manganese oxide and siliceous matter
Talc	Natural hydrated magnesium silicate
Umber, Burnt	Iron oxide, manganese oxide and siliceous matter
Umber, Raw	Hydrated iron oxide, manganese oxide and siliceous matter
Veridian	Hydrated chromium oxide
Vermilion	Mercuric sulphide
Violet, Cobalt	Cobalt pyrophosphate
White, Antimony	Antimony oxide
White, Chinese	Zinc oxide
White, Falke	Basic lead carbonated (identical with white lead)
White, Mineral	Identical with Gypsum
White, Paris	Calcium carbonate
White, Satin	Calcium sulphate and aluminate
White, Strontium	Strontium sulphate
White, Zinc	Identical with Lithopone
Whiting	Calcium carbonate
Witherite	Natural barium carbonate
Yellow, Cadmium	Cadmium sulphide

Form ; Outlines of Paint Technology-3rd.ed.(1990)

edited by W.M. Morgans

Commonly Used Solvents : Table of Properties

	Boiling Initial (b.p.) °C	Range End Point °C	Flash Point °C	Density (kg/L)at 20°C	Refractive Index at 20°C
KETONES					
Acetone	55	57	-9	0.793	1.3591
Methyl acetone	54	70	-9	0.831	.....
Methyl ethyl ketone	77	82	1	0.809	1.3791
Diethyl ketone	100	104	15	0.815	1.3927
Methyl propyl ketone	101	107	13	0.810	1.3895
Hexone (methyl isobutyl ketone)	112	118	23	0.802	1.3959
Methyl n-butyl ketone	114	137	32	0.818	1.4024
Mesity oxide	117	139	32	0.855	1.4439
Deacetone alcohol	153	160	60	0.936	1.4204
Dipropyl ketone	138	144	40	0.816	1.4072
Methyl n-amyl ketone	147	153	54	0.818	1.4110
Diisobuty ketone	164	169	60	0.808	.....
Methyl n-hexyl ketone	169	173	71	0.820	1.4161
Cyclohexanone	130	173	54	0.846	1.4524
Methylcyclohexanone	114	173	57	0.921	.....
Acetonyl acetone	188	193	85	0.973	1.449
Phorone	114	198	80	Crystals	1.4998
ETHERS					
Diethyl "Cellosolve"	119	125	38	0.849	.....
Diethyl "Carbitol"	181	189	82	0.909	.....
1, 4-Dioxane	98	102	18	1.034	1.422

	Boiling Initial (b.p.) °C	Range End Point °C	Flash Point °C	Density (kg/L)at 20°C	Refractive Index at 20°C
Ethyl ether	....	....	-40	0.716	1.354(17*)
Isopropyl ether	66	69	-9	0.724	1.368(23*)
ESTERS					
Methyl acetate	53	55	-1	0.908	1.3619
Ethyl acetate	70	80	7	0.886	1.3727
Isopropyl acetate (95%)	84	94	2	0.870	1.3770
Isopropyl acetate (85%)	82	90	15	0.857	.....
Ethyl propionate	90	118	15	0.891	1.3844
sec-Butyl acetate	105	127	31	0.858	1.389
Isobutyl acetate	114	118	31	0.870	1.3997
n-Butyl acetate	119	127	40	0.876	1.3951
Ethyl butyrate	107	131	29	0.880	1.3932
sec-Amyl acetate	121	144	44	0.862	.....
Amyl acetate (Mixed isomers)	127	155	44	0.862	.....
Butyl butyrate	152	170	52	0.874	1.4049
n-Butyl propionate	124	171	40	0.874	.....
Methyl amyl acetate	140	147	40	0.857	1.4008
Hexyl (2-ethylbuty) acetate	157	164	54	0.876	1.4103
sec-Hexyl acetate	129	158	43	0.861	....
Ethyl lactate	119	176	54	1.034	1.4118
Octyl (2-ethylhexy) acetate	195	203	82	0.873	1.4300
Cyclohexanyl acetate	165	193	63	0.963	.....
Isopropyl lactate	149	167	54	0.988	.....

	Boiling Initial (b.p.) °C	Range End Point °C	Flash Point °C	Density (kg/L)at 20°C	Refractive Index at 20°C
Butyl lactate	145	230	80	0.980	....
Glycol diacetate	184	191	96	1.107	1.415
Diglycol diacetate	238	251	135	1.116	.....
Diethyl carbonate	87	127	21	0.957	1.3852
3-Methoxybutyl acetate	135	173	77	0.956	....
Methyl 'Cellosolve' acetate	143	145	60	1.005	1.4025
'Cellosolve' acetate	145	166	50	0.974	1.4030
Butyl 'Cellsolve' acetate	188	192	82	0.943	.....
Methyl 'Carbitol' acetate	203	212	82	1.040	.....
'Carbitol' acetate	211	220	110	1.011	1.4230
Butyl 'Carbitol' acetate	236	249	116	0.987	....
ETHER ALCOHOLS					
Metyl 'Cellosolve'	121	126	46	0.966	1.4028
'Cellosolve' (Trade Mark)	133	137	54	0.931	1.4080
Isopropyl 'Cellosolve'	140	143	46	0.906	.....
Butyl 'Cellosolve'	163	172	74	0.902	1.4190
Methyl 'Carbitol'	190	194	93	1.035	1.4244
'Cartitol' (Trade Mark)	189	203	96	1.027	.....
Butyl 'Carbitol'	220	231	116	0.955	1.4290
Benzyl 'Cellosolve'	254	258	130	1.070	.....
ALCOHOLS					
Methanol (anhydrous)	64	66	18	0.793	1.329

	Boiling Initial (b.p.) °C	Range End Point °C	Flash Point °C	Density (kg/L)at 20°C	Refractive Index at 20°C
Ethanol (anhydrous)	77	79	21	0.791	1.361
Isopropanol (anhydrous)	82	83	19	0.786	1.3776
sec-Butanol	96	103	31	0.808	1.397
Isotutanol	107	111	38	0.803	1.396
n-Butanol	116	119	44	0.811	1.3974
sec-Amyl alcohol	117	124	43	0.810	.....
Amyl alcohol (mixed isomers)	121	139	44	0.814	.....
Methyl amyl alcohol	131	132	45	0.807	1.4087
Hexyl (2-ethylbuty) alcohol	144	156	57	0.833	1.4229
Octyl (2-ethylexyl) alcohol	182	201	85	0.834	1.4300
Cyclohexanol	150	182	69	0.951	1.4656
Benzyl alcohol	199	204	140	1.047	1.5399
GLYCOLS					
Ethylene glycol	194	204	116	1.1154	1.431
Propylene glycol	183	200	110	1.038	1.433
Diethylene glycol	235	265	143	1.119	1.446
Triethylene glycol	275	305	166	1.125	.....
HYDROCARBONS					
Benzene	78	81	-15	0.878	1.5014
Toluene	109	111	6	0.866	1.4962
Xylene	127	159	27	0.862	....

	Boiling Initial (b.p.) °C	Range End Point °C	Flash Point °C	Density (kg/L)at 20°C	Refractive Index at 20°C
V.M.&P. naphtha	168	210	49*	0.763	.....
Mineral spirits	152	207	60	0.769	.....
Cyclohexane	80	83	-14	0.779	1.4273
Tetrahydronaphthalene	196	217	82	0.972	1.5461
Decahydronaphthalene	186	194	57	0.885	.....
'Solvesso' No. 1	94	139	7	0.796	.....
'Solvesso' No. 2	134	185	43	0.847	.....
'Solvesso' No. 3	179	214	69	0.877	.....
'Safe-T-Esso	157	217	63	0.874	.....
CHLORINATED COMPOUNDS					
Ethylene dichloride	82	84	21	1.256	1.444
Monochlorobenzene	130	134	35	1.108	1.525
Orthodichlorobenzene	177	180	80	1.308	1.549
Dichloroethyl ether	172	178	85	1.222	1.4570
Carbon tetrachloride	76	77	....	1.597	1.461
Chloroform	60	62	....	1.492	1.447
Propylene dichloride	94	98	21	1.160	1.439
Trichlorethylene	85	87	.....	1.466	1474(27°)

From ; Surface Coatings-2nd.ed. (1984)

edited by Oil and Colour Chemists 'Association, Australia

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ	นายสกลภัทร เหมือนจันทร์เชย
วัน เดือน ปีเกิด	15 พฤษภาคม 2514
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วิทยาลัยนครปฐม , พ.ศ. 2533 – 2534 อนุปริญญาวิทยาศาสตร (เคมีปฏิบัติ) สถาบันราชภัฏจันทรเกษม , พ.ศ. 2535 – 2536 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยมหิดล , พ.ศ. 2538 - 2543 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)