



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและการเก็บกลับคืน
สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศ

โดย ผศ.ดร. วิทยา เทพไพฑูรย์ และคณะ

ตุลาคม 2543



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและการเก็บกลับคืน สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศ

โดย ผศ.ดร. วิทยา เทพไพฑูรย์ และคณะ

วันที่.....	๙ ๙.๙. ๒๕๔๖
เลขทะเบียน.....	00143
เลขเรียกหนังสือ.....	

ตุลาคม 2543

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
ชั้น 14 อาคาร เอส เอ็ม ทาวเวอร์
เลขที่ 979/17-21 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 298-0455 โทรสาร 298-0476
Home page : <http://www.trf.or.th>
E-mail : trf-info@trf.or.th



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและการเก็บกลับคืน สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศ

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร. วิทยา เทพไพฑูรย์
2. ดร. โจนathan ขาน
3. นางสาวอุทัยพร สุริยประภาติลก
4. นายธีระพล เทศสีแดง

สังกัด

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
บริษัท ที. ที. คอนซัลตังแอนด์อินเตอร์เทรด จำกัด

สนับสนุนโดยสำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ชุดโครงการ

Executive Summary

Project Title: Feasibility Study on the Minimization and Recovery of VOC Emission

Principal Investigator:

Asst.Prof.Dr. Wittaya Teppaitoon

Assistant Professor

Chemical Engineering Department

King Mongkut's University of Technology Thonburi

91 Prachautit Road, Bangmod, Toong Kru, Bangkok 10140

Tel. (02)427-0242 Fax. (02)428-3534 / ๓๑ -

Problem & Rationale:

Volatile Organic Compounds (VOCs) are emitted in various industries throughout Thailand ranging from plastic manufacturing companies to gasoline tank farms. Vapor recovery could result in cost savings to the companies as well as be beneficial to the environment. In the case of tank farms and gasoline operators, there are also government regulations to enforce the installation of a vapor recovery system.

There has been numerous researches done in the area of VOC emission recovery. From a survey of the literature, the most promising methods seem to be adsorption. Activated carbon which can provide a 95+% recovery efficiency is used as an adsorbent to adsorb VOC vapor. Therefore, this work will explore the possible way of minimizing and recovery of VOC emission by using an adsorption system from high capacity solvent-loading factories and/or gasoline tank farms.

Objectives:

1. To identify several target solvents, based on consumption, emission and cost, and the corresponding manufacturers/users of these products in Thailand.
2. To study the feasibility of minimization and recovery of VOC emission for the identified target solvents.
3. To determine a suitable design and/or methodology for minimization and recovery of each target solvent.
4. To increase the environmental awareness of local solvent companies on the issue of VOC emission.

5. To prepare a full proposal for the minimization and recovery of VOC emission and the construction of a prototype/demonstration unit.

Methodology:

1. Identification of several potential solvents for VOC emission recovery;
2. Further literature search;
3. Interview with the appropriate industrial companies/personnel to determine a list of target solvents (at least two companies);
4. Feasibility study for each target solvent (including laboratory analyses);
5. Preliminary design for each target solvent and factory combination;
6. Economic evaluation;
7. Full proposal preparation for the minimizing and recovery of VOCs emission and the construction of a prototype/demonstration.

Conclusion:

This feasibility study emphasizes on the recovery of VOC emission from the coating industry, which consumes a large amount of solvent each year. The solvents which are widely used in this industry are toluene, methyl ethyl ketone and cyclohexanone. The technology selected to recover these solvents is adsorption by activated carbon.

Two factories participated in this study: factories A and B. For factory A, the total solvent usage in the coating process is 145.2 tons/year or 5.15 million baht/year, while factory B is 415.5 tons/year or 14.06 million baht/year (based on 2 printing machines). From the economic evaluation, it seems that it is feasible for these two factories to invest in a VOC recovery system. Based on 85 percent recovery, factory A can recovered 123 tons of solvents per year or 4.37 million baht per year. The investment cost for this factory is approximately 4.36 million baht. The Internal Rate of Return (IRR) is 66.56 percent and the payback period is 1.5 years. For factory B, 353.2 tons of solvents per year can be recovered or 13.03 million baht per year. The investment cost for this factory is approximately 7.6 million baht. The Internal Rate of Return (IRR) is 101.78 percent and the payback period is 11.7 months.

The problems encountered in this study were: the industries' information were not up-to-date and there was not much data about the survey of chemical usage in industries. Moreover, the investment cost of a recovery system is not attractive and the legislation for controlling the emission of VOCs does not cover all types of VOCs. Therefore, the authorized

agency should take more responsibility and pay closer attention to the use of various VOCs in different industries and try to encourage these industries to comply with the law. At the same time, the authorized agency should offer assistance, perhaps in the form of soft loans and/or environmental tax credits, so that more local solvent companies would be willing to practice the minimization and recovery of VOC emission.

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศนี้ ได้ศึกษาโดยเน้นที่อุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าวัสดุและพิมพ์สี VOCs ที่นิยมใช้กันในกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ได้แก่ โทลูอีน เมทิล เอทิล คีโตน และไซโคลเฮกซะโนน เทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการเก็บกลับคืน VOCs คือเทคโนโลยีการดูดซับโดยใช้ Activated Carbon

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการทั้ง 2 โรงงาน พบว่า โรงงาน ก มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 145.2 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 5.15 ล้านบาท โรงงาน ข มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 415.5 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 14.06 ล้านบาท (คิดเฉพาะเครื่องพิมพ์สี 2 เครื่อง จากจำนวนเครื่องพิมพ์สีทั้งหมด 7 เครื่อง) ทั้ง 2 โรงงานยังไม่มีระบบเก็บกลับคืน การติดตั้งระบบเก็บกลับคืนจะได้ประโยชน์อย่างมากทั้งในแง่การประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงงาน และในแง่ของสุขภาพพนักงานตลอดจนสภาพสิ่งแวดล้อมของชุมชน

จากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 2 โรงงาน พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งระบบเก็บกลับคืน เมื่อคิดประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนรวมเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ โรงงาน ก จะสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 123 ตันต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 4.37 ล้านบาท โดยราคาประเมินของอุปกรณ์และเครื่องมือของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก เท่ากับ 4.36 ล้านบาท มีค่า IRR ของการลงทุนเท่ากับ 66.56 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.5 ปี ส่วนโรงงาน ข จะสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 353.2 ตันต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 13.03 ล้านบาท ราคาประเมินของอุปกรณ์และเครื่องมือของระบบเก็บกลับคืนของโรงงานเท่ากับ 7.6 ล้านบาท มีค่า IRR ของการลงทุนเท่ากับ 101.78 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 11.7 เดือน

ปัญหาและอุปสรรคส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการศึกษาความเป็นไปได้นี้ได้แก่ ข้อมูลโรงงานที่มีของหน่วยงานรัฐไม่ทันสมัยและยังไม่มีการสำรวจการใช้สารเคมีอย่างจริงจัง นอกจากนั้นแล้ว ผู้ประกอบการยังไม่มีแรงจูงใจมากพอที่จะติดตั้งระบบเก็บกลับคืน เนื่องจากมูลค่าในการลงทุนสูง กอปรกับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับมลภาวะทางอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกฎหมายเกี่ยวกับการระบายสาร VOCs ยังมีไม่มากและไม่ครอบคลุมชนิดของสาร VOCs ที่มีใช้ในปัจจุบัน ดังนั้น มาตรการใดๆ ที่ทางภาครัฐจะดำเนินการในอนาคต จึงควรมีทั้งการบังคับในแง่กฎหมาย ในขณะเดียวกันก็ต้องสร้างแรงจูงใจหรือ ให้ความช่วยเหลือด้านการลงทุนกับผู้ประกอบการ

Abstract

This feasibility study emphasizes on the recovery of VOC emission from the coating industry, which consumes a large amount of solvent each year. The solvents which are widely used in this industry are toluene, methyl ethyl ketone and cyclohexanone. The technology selected to recover these solvents is adsorption by activated carbon.

Two factories participated in this study: factories A and B. For factory A, the total solvent usage in the coating process is 145.2 tons/year or 5.15 million baht/year, while factory B is 415.5 tons/year or 14.06 million baht/year (based on 2 printing machines). From the economic evaluation, it seems that it is feasible for these two factories to invest in a VOC recovery system. Based on 85 percent recovery, factory A can recovered 123 tons of solvents per year or 4.37 million baht per year. The investment cost for this factory is approximately 4.36 million baht. The Internal Rate of Return (IRR) is 66.56 percent and the payback period is 1.5 years. For factory B, 353.2 tons of solvents per year can be recovered or 13.03 million baht per year. The investment cost for this factory is approximately 7.6 million baht. The Internal Rate of Return (IRR) is 101.78 percent and the payback period is 11.7 months.

The problems encountered in this study were: the industries' information were not up-to-date and there was not much data about the survey of chemical usage in industries. Moreover, the investment cost of a recovery system is not attractive and the legislation for controlling the emission of VOCs does not cover all types of VOCs. Therefore, the authorized agency should take more responsibility and pay closer attention to the use of various VOCs in different industries and try to encourage these industries to comply with the law. At the same time, the authorized agency should offer assistance, perhaps in the form of soft loans and/or environmental tax credits, so that more local solvent usage companies would be willing to practice the minimization and recovery of VOC emission.

สารบัญ

	หน้าที่
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ที่มาของปัญหา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-1
1.3 ขอบเขตและวิธีการศึกษา	1-2
บทที่ 2 อันตรายจาก VOCs และการสำรวจอัตราการระเหย VOCs	2-1
2.1 อันตรายจาก VOCs	2-1
2.2 อุตสาหกรรมที่มีการใช้ VOCs	2-1
2.3 การสำรวจอัตราการประกอบรวดุดันตราย	2-3
2.4 การสำรวจอัตราการระเหย VOCs	2-5
2.5. การคาดการณ์ปริมาณ VOCs ที่ระเหยจากอุตสาหกรรมเป้าหมาย	2-15
บทที่ 3 เทคนิคการเก็บกลับคืน VOCs	3-1
3.1 เทคนิคการเก็บกลับคืน VOCs	3-1
3.1.1 การดูดซับ (Adsorption)	3-1
3.1.2 การดูดกลืน (Absorption)	3-4
3.1.3 การควบแน่น (Condensation)	3-8
3.2 ข้อเปรียบเทียบเทคนิคการเก็บกลับคืน VOCs	3-8
บทที่ 4 หลักการออกแบบระบบเก็บกลับคืน	4-1
4.1 หลักการของการดูดซับ (Adsorption)	4-1
4.2 ชนิดของสารดูดซับ	4-3
4.3 วิธีการ Regeneration	4-3
4.4 ขั้นตอนการออกแบบ	4-5
บทที่ 5 ผลการศึกษาความเป็นไปได้จากโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ	5-1
5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ	5-1
5.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้	5-5
5.2.1 โรงงาน ก	5-5
5.2.1.1 ข้อมูลปริมาณการใช้ตัวทำละลาย	5-5
5.2.1.2 การออกแบบกระบวนการเก็บกลับคืน	5-6
5.2.1.3 ส่วนประกอบในการสร้างระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย	5-6
5.2.1.4 การประเมินราคา	5-7
5.2.1.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	5-8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
5.2.2 โรงงาน ข	5-12
5.2.2.1 ข้อมูลปริมาณการใช้ตัวทำละลาย	5-12
5.2.2.2 การออกแบบกระบวนการเก็บกลับคืน	5-14
5.2.2.3 ส่วนประกอบในการสร้างระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย	5-15
5.2.2.4 การประเมินราคา	5-15
5.2.2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	5-17
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	6-1
6.1 บทสรุป	6-1
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	6-2
6.3 ข้อเสนอแนะ	6-2
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบสอบถาม	
ก.1 แบบสอบถาม โรงงาน ก	ก-3
ก.2 แบบสอบถาม โรงงาน ข	ก-4
ภาคผนวก ข ข้อมูลการเก็บตัวอย่าง โรงงาน ข	
ข.1 การวัดอัตราการระเหยของ Solvents ในขั้นตอนการเคลือบ PVC Sheet	ข-3
ข.2 แผนผังแสดงการผสมตัวทำละลายลงในสีของโรงงาน ข	ข-4
ข.3 แผนผังระบบระบายอากาศของโรงงาน ข	ข-5
ภาคผนวก ค รายละเอียดการคำนวณ	
ค.1 โรงงาน ก	ค-3
ค.1.1 การคำนวณอัตราการใช้ตัวทำละลายในการเคลือบ/พิมพ์	ค-3
ค.1.2 การออกแบบระบบ Adsorption และ Distillation	ค-4
ค.1.2.1 การหาขนาด Adsorption Tank	ค-4
ค.1.2.2 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอน Regeneration	ค-6

สารบัญ (ต่อ)

		หน้าที่
	ค.1.2.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำหล่อเย็นในขั้นตอนการ ลดอุณหภูมิของ Activated Carbon หลังจาก Regeneration	ค-8
	ค.1.3 การคำนวณราคา	ค-8
	ค.1.3.1 การคำนวณราคากังดูดัช	ค-8
ค.2 โรงงาน ข		ค-12
	ค.2.1 การคำนวณปริมาณตัวทำละลายที่ใช้และที่เก็บกลับได้ (เครื่องพิมพ์ 1 และ 2)	ค-12
	ค.2.2 การออกแบบระบบ Adsorption และ Distillation	ค-13
	ค.2.2.1 การหาขนาด Adsorption Tank	ค-13
	ค.2.2.2 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอน Regeneration	ค-16
	ค.2.2.3 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำในขั้นตอน Distillation	ค-18
	ค.2.2.4 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ทั้งหมด	ค-18
	ค.2.2.5 การคำนวณหาปริมาณน้ำหล่อเย็นในขั้นตอนการ ลดอุณหภูมิของ Activated Carbon หลังจาก Regeneration	ค-18
	ค.2.2.6 การคำนวณหาปริมาณน้ำหล่อเย็นในขั้นตอนการ ควบแน่นใน Distillation	ค-19
	ค.2.3 การคำนวณราคา	ค-19
	ค.2.3.1 การคำนวณราคากังดูดัช	ค-19
ภาคผนวก ง	ข้อมูลสารเคมีที่เกี่ยวข้อง	
	ง.1 โทลูอิน	ง-3
	ง.2 เมทิล เอทิล คีโตน	ง-11
	ง.3 ไสโคลเฮกซะโนน	ง-21
	ง.4 บิวทิล อะซิเตท	ง-31
ภาคผนวก จ	บทความสำหรับเผยแพร่	จ-1
ภาคผนวก ฉ	ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	ฉ-1

สารบัญตาราง

		หน้าที่
ตารางที่ 2.1	สถิติการประกอบการวัตถุดิบทราย	2-4
ตารางที่ 2.2	วัตถุดิบทรายที่การประกอบการสูงสุด 10 อันดับ ปี พ.ศ. 2539-2542	2-4
ตารางที่ 2.3	อัตราการระบาย VOCs ออกสู่บรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานครและ ปริมณฑลในปี พ.ศ. 2540	2-6
ตารางที่ 2.4	จำนวนโรงงานจำพวกที่ 3 ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่มีปัญหามล พิษทางอากาศ ปี พ.ศ. 2540	2-8
ตารางที่ 2.5	ปริมาณการใช้ VOCs 5 ชนิดในอุตสาหกรรมต่างๆ	2-9
ตารางที่ 2.6	ผลของการตรวจวัดปริมาณ VOCs ในเขตอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2542	2-10
ตารางที่ 2.7	ผลของการตรวจวัดปริมาณ VOCs ในเขตเมือง ในปี พ.ศ. 2542	2-11
ตารางที่ 2.8	ผลการตรวจวัดปริมาณ VOCs ณ พื้นที่สะอาด เขตอุตสาหกรรม และ บน ถนนในเขตเมือง	2-14
ตารางที่ 2.9	ตัวอย่างประเภทของอุตสาหกรรมที่ใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย จำนวนโรงงาน ชนิดของตัวทำละลาย การคาดการณ์ปริมาณการใช้ และ การคาดการณ์ ปริมาณการสูญเสีย	2-15
ตารางที่ 3.1	ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคนิคการดูดซับ	3-8
ตารางที่ 3.2	ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคนิคการดูดกลืน	3-9
ตารางที่ 3.3	ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคนิคการควบแน่น	3-9
ตารางที่ 3.4	การเปรียบเทียบเทคนิคการดูดซับ และ เทคนิคการดูดกลืน	3-10
ตารางที่ 5.1	รายละเอียดของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ	5-1
ตารางที่ 5.2	ขนาดของอุปกรณ์และราคาประเมินระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก	5-7
ตารางที่ 5.3	ค่าใช้จ่ายดำเนินการของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก	5-8
ตารางที่ 5.4	การคำนวณกระแสเงินสดของระบบเก็บกลับคืนตัวทำละลายโรงงาน ก	5-10
ตารางที่ 5.5	ผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return – IRR) ของโรงงาน ก	5-11
ตารางที่ 5.6	ความเข้มข้นของ VOCs ที่เก็บได้จากปล่องอุตสาหกรรมเครื่องพิมพ์ 1 และ 2 ของโรงงาน ข เมื่อวันที่ 22 กันยายน 2543	5-13
ตารางที่ 5.7	องค์ประกอบในสีของโรงงาน ข	5-13
ตารางที่ 5.8	ปริมาณของตัวทำละลายที่ระเหยออกจากกระบวนการผลิตของโรงงาน ข	5-14
ตารางที่ 5.9	ขนาดของอุปกรณ์และราคาประเมินระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ข	5-15
ตารางที่ 5.10	ค่าใช้จ่ายดำเนินการของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ข	5-17
ตารางที่ 5.11	การคำนวณกระแสเงินสดของระบบเก็บกลับคืนตัวทำละลายโรงงาน ข	5-18
ตารางที่ 5.12	ผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return – IRR) ของโรงงาน ข	5-19

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การระบาย VOCs จากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล ในปี พ.ศ. 2540	2-5
รูปที่ 2.2 การระบาย VOCs จากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล ในปี พ.ศ. 2540	2-7
รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการดูดซับชนิด Fixed Bed Adsorber	3-2
รูปที่ 3.2 Moving Bed Adsorber (ชนิด Rotary Bed)	3-3
รูปที่ 3.3 Fluidized Bed Adsorber	3-4
รูปที่ 3.4 Packed Column	3-6
รูปที่ 3.5 Packed Column แบบ Cross Flow	3-6
รูปที่ 3.6 Plate Column	3-7
รูปที่ 4.1 วิถีจักรของการดูดซับ (ก) และการคายกลับ (ข)	4-1
รูปที่ 4.2 กลไกของกระบวนการ Adsorption	4-2
รูปที่ 4.3 แรงดึงดูดทางกายภาพระหว่าง Adsorbate และ Adsorbent	4-2
รูปที่ 4.4 กระบวนการ Adsorption และค่าความเข้มข้น VOCs ในอากาศขาออกที่ระยะเวลา ต่างๆ	4-4
รูปที่ 5.1 แผนผังโดยสังเขปของโรงงาน ก	5-3
รูปที่ 5.2 แผนผังโดยสังเขปของกระบวนการพิมพ์สีของโรงงาน ก	5-3
รูปที่ 5.3 แผนผังของโรงงาน ข โดยสังเขป (#1, #2,..., #7 หมายถึง เครื่องพิมพ์สีหมายเลข 1, 2,..., 7 ตามลำดับ	5-4
รูปที่ 5.4 แผนผังโดยสังเขปของกระบวนการพิมพ์สีของโรงงาน ข	5-4
รูปที่ 5.5 ส่วนประกอบของระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย	5-6
รูปที่ 5.6 ส่วนประกอบของระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย	5-15

นิยามศัพท์

BTA	Butyl Acetate
CHN	Cyclohexanone
MEK	Methyl Ethyl Ketone
TOL	Toluene
$D_{TOL,v}$	density of toluene vapor (pure)
$D_{MEK,v}$	density of MEK vapor (pure)
$D_{CHN,v}$	density of cyclohexanone vapor (pure)
$D_{BTA,v}$	density of butyl acetate vapor (pure)
D_{sv}	density of solvent vapor (mixed)
ER_{TOL}	evaporation rate of toluene
ER_{MEK}	evaporation rate of MEK
ER_{CHN}	evaporation rate of cyclohexanone
ER_{BTA}	evaporation rate of butyl acetate
Y_{sg}	mole fraction of solvent in gas
X_{sg}	density of solvent in gas
G_{sg}	mass flow rate of solvent in gas
F_g	gas volumetric flow rate
R	retention ratio of solvent adsorbed on activated carbon
HF	heel factor of solvent on adsorber
T_a	cycle time of operation
$M_{s,sat}$	mass of solvent saturated on adsorber (per one tank)
$M_{c,sat}$	mass of adsorber saturated with solvent (per one tank)
D_{cb}	bulk density of adsorber
$VOL_{cb,sat}$	bulk volume of adsorber saturated with solvent (per one tank)
MTZ	mass transfer zone (length)
Allowed PD_c	allowed pressure drop of gas across adsorber
Optimum A_c	optimum cross-sectional area of adsorption tank
Optimum V_g	optimum gas superficial velocity in adsorption tank
Optimum H_c	optimum height of adsorber
Minimum H_c	minimum height of adsorber
Optimum VOL_{cb}	optimum volume of adsorber (bulk)

นิยามศัพท์ (ต่อ)

Optimum M_c	optimum mass of adsorber
D_t	tank diameter
L_t	tank length (horizontal)
$(L/D)_t$	length-to-diameter ratio of tank (horizontal)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ในประเทศไทยมีการใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายในหลายประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งโดยมากจะถูกใช้เป็นตัวทำละลาย เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก สี ฟอกย้อม สิ่งทอ เทปกาว งานพิมพ์บรรจุภัณฑ์ และอื่น ๆ ตลอดจนคลังน้ำมัน และ สถานีเติมน้ำมันต่างๆ สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านี้สามารถระเหยออกสู่อากาศได้จากกระบวนการผลิต กระบวนการจัดเก็บ และการขนส่ง ในขณะเดียวกัน ราคาของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านี้มักมีราคาสูง การลดหรือเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่สูญเสียเหล่านี้ได้จะก่อให้เกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

- สามารถลดปริมาณการใช้สารเหล่านี้ในกระบวนการผลิต ซึ่งหมายถึงการลดต้นทุนในสถานประกอบการ
- ลดความเสี่ยงด้านสุขภาพเนื่องจากการสูดดมไอระเหยของสารอินทรีย์นี้
- ลดมลภาวะทางอากาศ เช่น การเกิดหมอกเนื่องจากไอของสารอินทรีย์ในบรรยากาศ

ในประเทศไทยยังมีบริษัทที่ยังไม่ได้ติดตั้งระบบเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านี้อีกมาก ซึ่งการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายออกสู่อากาศขึ้นอยู่กับกฎหมายข้อบังคับจากทางราชการเป็นสำคัญ ซึ่งทางราชการกำลังทยอยนำกฎหมายเหล่านี้ออกมาบังคับใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลังน้ำมันต่าง ๆ โดยมีมติคณะรัฐมนตรี คลังน้ำมันทุกแห่งจะต้องติดตั้งระบบ Vapor Recovery ซึ่งจะมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนมกราคม 2543 แต่ทางผู้ประกอบการยังไม่พร้อมจึงขอเลื่อนกำหนดเวลาออกไปอีก 1 ปี เพื่อเป็นการรองรับกฎหมายเหล่านั้น การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดหรือเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านี้จึงมีความสำคัญมาก นอกเหนือจากผลประโยชน์ที่ทางโรงงานจะได้รับโดยตรงและผลประโยชน์ในแง่สิ่งแวดล้อมแล้ว ยังนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีของตนเองและการเพิ่มศักยภาพในการวิจัยและพัฒนาในระดับประเทศอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาถึงชนิดของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่ใช้มากในประเทศ และ ประเภทอุตสาหกรรมที่ใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านั้น อัตราการใช้ อัตราการสูญเสียสู่อากาศ และ มูลค่าของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียไป
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายมาใช้ใหม่ โดยระบุชนิดของสารอินทรีย์เป้าหมาย
3. เพื่อหาเทคโนโลยีและวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสูญเสียและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์เป้าหมายแต่ละชนิด

4. เพื่อเสริมสร้างจิตสำนึกทางด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่สถานประกอบการในแง่ของการปล่อยสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศ
5. เพื่อจัดทำข้อเสนอโครงการโดยละเอียดของโครงการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศในโรงงานอุตสาหกรรม และ สร้างอุปกรณ์ต้นแบบของระบบการเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตและวิธีการศึกษา

1. ระบุชนิดของสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่ายที่ก่อให้เกิดปัญหาการสูญเสียออกสู่บรรยากาศ และปัญหาของมลภาวะทางอากาศ
2. ทำการสำรวจปริวรรต (Literature Survey) ตลอดจนศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่าย
3. สืบหาข้อมูลจากอุตสาหกรรมที่ใช้สารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่าย (อย่างน้อย 2 โรงงาน)
4. ศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศเพื่อกลับมาใช้ใหม่ด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม (รวมการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์)
5. ออกแบบเบื้องต้นสำหรับสารอินทรีย์แต่ละชนิดเป็นกรณีๆ ไป ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และ ลักษณะการวางเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ของโรงงาน
6. วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

บทที่ 2

อันตรายจาก VOCs และการสำรวจอันตรายการระบาย VOCs

2.1 อันตรายจาก VOCs

สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย หรือ VOCs หมายถึงสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดที่สามารถระเหยสู่บรรยากาศ ณ สภาพปกติที่ใช้งาน VOCs เหล่านี้ทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของไนโตรเจนในขณะที่มีแสงแดด และเกิดเป็นโอโซนในชั้นบรรยากาศระดับล่าง (Low Level Ozone) เกิดเป็นชั้นหมอกซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แหล่งกำเนิดของ VOCs เหล่านี้ได้แก่

- ยานพาหนะ
- อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น ระบบเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการผลิตยูทิลิตี้ต่างๆ ฯลฯ
- อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก เช่น สถานีบริการน้ำมัน โรงพิมพ์ อุตสาหกรรมไม้ ฯลฯ
- อุตสาหกรรมผลิตเครื่องอุปโภค บริโภคต่างๆ เช่น สี น้ำยาล้างอุปกรณ์ ฯลฯ

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาถึงผลกระทบของโอโซนต่อสุขภาพของมนุษย์มาเป็นเวลาหลายปี และได้พบว่าโอโซนในระดับล่างที่มาจาก VOCs สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ดังนี้

- การระคายเคืองต่อระบบหายใจ: เมื่อเกิดการระคายเคืองขึ้น จะเริ่มมีอาการไอ รู้สึกมีการระคายเคืองที่ลำคอ อาการนี้จะเกิดขึ้นประมาณ 2-3 ชั่วโมงหลังได้รับโอโซน และอาจมีอาการหนักขึ้นจนเกิดอาการปวด
- โอโซนสามารถลดการทำงานของปอด: โอโซนจะทำให้หายใจลำบากขึ้น ไม่สามารถหายใจได้ลึก และแรงตามปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาออกกำลังกาย หรือทำงานในที่โล่ง
- โอโซนทำลายเซลล์ซึ่งหุ้มโพรงอากาศในปอด: การทำลายนี้จะคล้ายกับการที่ผิวหนังไหม้เมื่อโดนแสงแดด ถ้าหากเกิดการทำลายอย่างต่อเนื่อง ปอดอาจจะเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร
- โอโซนจะทำให้ภูมิคุ้มกันของร่างกายลดลง: นักวิทยาศาสตร์พบว่าโอโซนสามารถลดภูมิคุ้มกันของระบบหายใจในสัตว์ทดลองได้ ซึ่งอาจเกิดผลกระทบในลักษณะคล้ายๆ กันในมนุษย์ได้

2.2 อุตสาหกรรมที่มีการใช้ VOCs

กระบวนการเคลือบ/พิมพ์

การเคลือบมีวัตถุประสงค์เพื่อตกแต่งผิวของวัสดุ หรือป้องกันความเสียหายหรือการกัดกร่อนต่อผิววัสดุ วัสดุที่ใช้เคลือบโดยทั่วไปจะเป็นตัวทำละลาย แลกเกอร์ น้ำมันเคลือบเงา กระบวนการเคลือบที่ใช้กันมีหลายชนิด เช่น Brushing, Rolling, Spraying, Dipping, Flow Coating หลังจากการเคลือบ จะผ่านผิวหน้าของชิ้นงานด้วยลมหรือใช้ความร้อนเพื่อระเหย VOCs ออก

วัสดุที่ใช้เคลือบ (Coatings) แบ่งตามชนิดของตัวทำละลายได้ 2 ชนิด คือ ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Waterborne Coatings) และใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย (Solventborne Coatings) ซึ่งจะเคลือบลงบนพื้นผิวของวัสดุเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ โดยมีส่วนประกอบเป็น วัสดุที่ทำให้เกิดฟิล์ม (Film-Forming Materials) พลาสติคไซเซอร์ (Plasticizer) สี และตัวทำละลาย วัสดุที่ทำให้เกิดฟิล์มที่ใช้กันมากได้แก่ อีพอกซี (Epoxies) อะคริลิก (Acrylics) ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbons) โพลีเอสเตอร์ (Polyesters) ยูรีเทน (Urethanes) โพลีเอไมด์ (Polyamides) พลาสติคไซเซอร์ที่ใช้เช่น ไดออกทิล พทาเลต (Dioctyl Phthalate) ไตรครีซิล ฟอสเฟต (Tricresyl Phosphate) คาสเตอร์ ออยล์ (Castor Oil) ตัวทำละลายสารอินทรีย์ที่ใช้ เช่น มิเนอรัล สปิริต หรือ รีบเบอร์ โซลเวนท์ (Mineral Spirits หรือ Rubber Solvent) โทลูอีน (Toluene) เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl Ethyl Ketone, MEK) ไกซีน (Xylene) ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol) เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) เป็นต้น

ปริมาณตัวทำละลายที่ผสมจะมีประมาณอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการเคลือบ/พิมพ์ โดยทั่วไปแล้วจะมีตัวทำละลายประมาณ 70-85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนการเคลือบที่ใช้ตัวทำละลายน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่าเป็นการเคลือบที่ใช้ของแข็งสูง

กระบวนการเคลือบที่ใช้กันโดยทั่วไป มีดังนี้

การเคลือบโดยใช้ลูกกลิ้ง (Roller Coatings) เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับการเคลือบหรือพิมพ์สีลงบนพื้นผิวเรียบแบน ลวดลายที่ใช้พิมพ์จะแกะสลักอยู่บนตัวลูกกลิ้ง ชิ้นงานที่จะนำมาพิมพ์/เคลือบ จะป้อนเข้าระหว่างลูกกลิ้ง แรงดันที่อัดจากลูกกลิ้งจะกดให้ลวดลายติดลงไปในเนื้อวัสดุ เนื่องจากการพิมพ์แบบนี้ สามารถพิมพ์ได้ลวดลายที่ละเอียดและสวยงาม จึงเป็นที่นิยมใช้กัน

Screen Printing เป็นการพิมพ์ลวดลายลงบนบางส่วนของชิ้นงาน โดยวิธีสีผ่านลงไปในสกรีนที่ปรุลวดลายไว้แล้ว สีก็จะผ่านรอยปรุของสกรีนลงไปที่ชิ้นงาน สีที่เหลือก็จะถูกปาดออกไป

Rotary Screen Printing สกรีนชนิดท่อ (Tubular Screen) จะหมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของวัสดุที่จะพิมพ์ ลวดลายจะพิมพ์ติดลงบนชิ้นงานเมื่อชิ้นงานถูกกดอยู่ระหว่างสกรีนกับแผ่นรอง

Rotogravure Printing ใช้กันมากกับการพิมพ์/เคลือบ ในหนังสือพิมพ์ วอลล์เปเปอร์ ลวดลายจะสลักลึกบนลูกกลิ้งซึ่งทำจากทองแดง หมึกพิมพ์จะถูกดึงขึ้นมาบางส่วนติดอยู่ในร่องของลาย บางส่วนติดอยู่ที่ผิวของลูกกลิ้ง สีส่วนเกินที่ติดอยู่บนลูกกลิ้งจะถูกรีดออกด้วย Doctor Blade หลังจากนั้นลวดลายก็จะถูกพิมพ์ลงบนชิ้นงานด้วยแรงกดจากลูกกลิ้ง

2.3 การสำรวจอัตราการประกอบการวัตถุดิบทราย

ศูนย์ข้อมูลวัตถุดิบทราย สำนักควบคุมวัตถุดิบทราย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้รวบรวมสถิติการนำเข้าและส่งออกวัตถุดิบทรายในประเทศไทย [2,3] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบทรายเหล่านั้น ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ได้กำหนดนิยามวัตถุดิบทรายและจัดแบ่งชนิดวัตถุอันตรายตามความจำเป็นแก่การควบคุมดังนี้

วัตถุอันตราย หมายความว่า วัตถุดังต่อไปนี้

- (1) วัตถุระเบิดได้
- (2) วัตถุไวไฟ
- (3) วัตถุออกซิไดซ์และวัตถุเปอร์ออกไซด์
- (4) วัตถุมีพิษ
- (5) วัตถุที่ทำให้เกิดโรค
- (6) วัตถุกัมมันตรังสี
- (7) วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม
- (8) วัตถุกัดกร่อน
- (9) วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง
- (10) วัตถุอย่างอื่น ไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม

และได้แบ่งวัตถุอันตรายตามความจำเป็นแก่การควบคุมเป็น 4 ชนิด คือ

- (1) วัตถุอันตรายชนิดที่ 1 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด มีจำนวนทั้งสิ้น 59 ชนิด
- (2) วัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด มีจำนวนทั้งสิ้น 28 ชนิด
- (3) วัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับใบอนุญาต มีจำนวนทั้งสิ้น 158 ชนิด
- (4) วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้มีการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง มีจำนวนทั้งสิ้น 6 ชนิด

สถิติการประกอบการวัตถุอันตราย และสถิติวัตถุอันตรายที่มีการนำเข้า ส่งออกสูงสุด 10 อันดับ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 – พ.ศ. 2542 แสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ จากสถิติดังกล่าว ถึงแม้ว่าวัตถุอันตรายทั้ง 4 ชนิดจะไม่ใช่อันตรายทั้งหมดยกเว้น แต่จำนวนกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุอันตรายดังกล่าวเป็นสารอันตรายที่ระเหยง่าย หรือ VOCs ซึ่ง VOCs สามารถระเหยได้ง่ายจากการจัดเก็บ การขนส่ง และในที่สุดก็ระเหยออกสู่อากาศทั้งหมดจากการนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 2.1 สถิติการประกอบการวัตถุดิบทราย

รายการ	ปีประกอบการ					
	2539	2540	2541	2542		
				นำเข้า	ส่งออก	รวม
จำนวนผู้ประกอบการ (ราย)	743	868	793	837	46	843
จำนวนผู้ประกอบการรายใหญ่ (มากกว่า 10,000 ตันต่อปี)	27	29	27	35	6	41
จำนวนชนิดวัตถุดิบทราย (ชนิด)	135	127	139	130	39	132
ปริมาณวัตถุดิบทราย (ตันต่อปี)	963,795	1,400,756	1,058,747	1,211,757	322,341	1,534,098

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม 2542 [3]

หมายเหตุ : การประกอบการ = การนำเข้าและการส่งออกสารเคมี

ตารางที่ 2.2 วัตถุดิบทรายที่การประกอบการสูงสุด 10 อันดับ ปี พ.ศ. 2539-2542

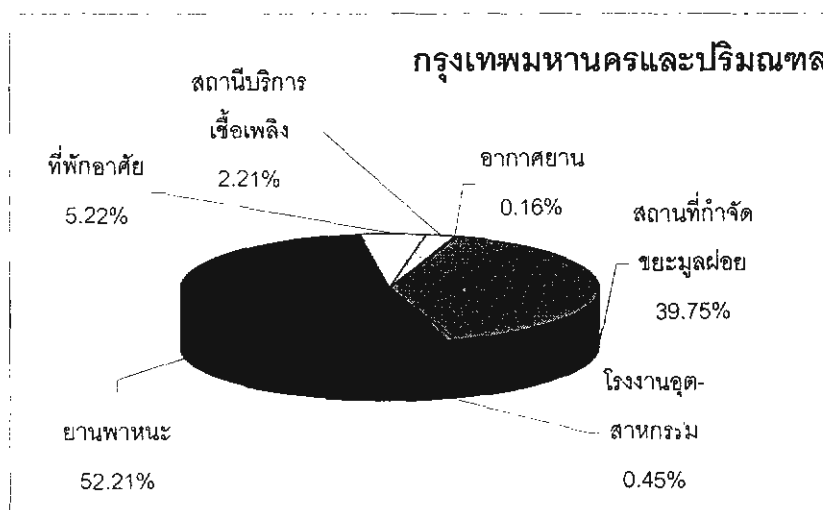
ชื่อสารเคมี	ลำดับที่ / ปริมาณ (ตัน)			
	2539	2540	2541	2542
Acetic Acid	10 23,403	-	-	-
Acrylonitrile	7 37,951	8 60,335	4 79,054	7 82,186
Ammonia Anhydrous	5 55,094	2 139,882	1 149,028	1 209,659
Asbestos-Chrysotile	2 141,593	3 136,648	8 58,032	5 100,161
Benzene	-	6 80,754	5 76,229	3 163,005
Methanol	8 33,755	5 82,677	3 109,310	2 178,461
Methyl Methacrylate	-	-	-	9 62,828
o-Phosphoric Acid	9 25,522	9 56,893	7 69,430	8 65,759
Sodium Hydroxide	6 39,357	7 78,252	9 30,858	10 52,715
Styrene Monomer	1 181,282	4 82,667	6 72,667	6 86,415
Toluene	4 58,602	10 48,446	2 115,625	4 160,014
Vinyl Chloride Monomer	3 129,267	1 188,093	10 30,739	-

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม 2542 [3]

หมายเหตุ : การประกอบการ = การนำเข้าและการส่งออกสารเคมี

2.4 การสำรวจอัตราการระบาย VOCs

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม [1] ได้ศึกษาการปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ของ ในปี พ.ศ. 2540 โดยพิจารณาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ 3 ประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดเฉพาะแหล่ง (ได้แก่ โรงงานจำพวกที่ 3 ซึ่งเป็นโรงงานที่มีเครื่องจักรตั้งแต่ 50 แรงม้า หรือคนงาน 50 คนขึ้นไป และเป็นโรงงานที่มีการใช้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนในกระบวนการผลิต) แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ (ได้แก่ รถยนต์ขนาดใหญ่ รถยนต์ดีเซล รถยนต์ขนาดเล็ก รถยนต์เบนซิน และ รถจักรยานยนต์) และแหล่งกำเนิดชนิดพื้นที่ (ได้แก่ ที่อยู่อาศัย สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ท่าอากาศยาน และการกำจัดขยะมูลฝอย) จากนั้นจึงนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์และกำหนด Emission Factor ที่ใช้ในการหาอัตราการระบายสารมลพิษ พบว่า 52.21 เปอร์เซ็นต์ของการระบาย VOCs ออกสู่บรรยากาศมาจากยานพาหนะ 39.75 เปอร์เซ็นต์มาจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย 5.22 เปอร์เซ็นต์มาจากที่พักอาศัย 2.21 เปอร์เซ็นต์มาจากสถานีบริการเชื้อเพลิง 0.45 เปอร์เซ็นต์ที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม และ 0.16 เปอร์เซ็นต์มาจากอากาศยาน แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแยกรายละเอียดรายจังหวัดแสดงดังตารางที่ 2.3 และ รูปที่ 2.2



ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ

รูปที่ 2.1 การระบาย VOCs จากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในปี พ.ศ. 2540

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมระบาย VOCs ออกสู่บรรยากาศ 2,004 ตันต่อปี หรือคิดเป็น 0.45 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการระบาย VOCs ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนโรงงานในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 อัตราการระบาย VOCs ออกสู่บรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในปี พ.ศ. 2540

จังหวัด	อัตราการระบาย VOCs (ตันต่อปี)						
	โรงงานอุตสาหกรรม	ยานพาหนะ ¹	ที่พักอาศัย	สถานีบริการเชื้อเพลิง	อากาศยาน ²	สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ³	รวม
กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรสาคร นครปฐม	382	171,086	245	7,496	728	100,436	208,370
	743	24,141	138	783	-	7,395	33,200
	145	8,566	57	645	-	5,701	15,114
	92	13,256	61	491	-	15,820	29,721
	82	6,111	14,420	195	-	2,510	23,319
	537	9,814	8,373	271	-	45,508	64,503
นิคมอุตสาหกรรม ⁴	23	-	-	-	-	-	23
รวม	2,004	232,974	23,294	9,882	728	177,370	446,251

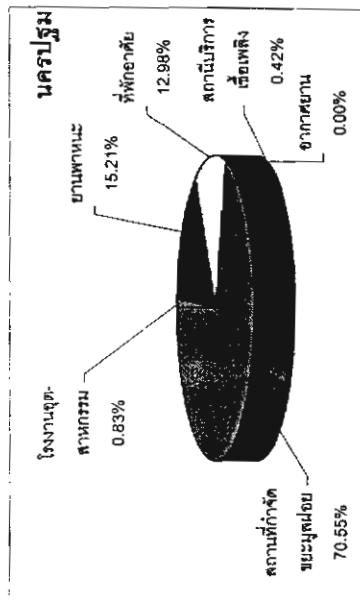
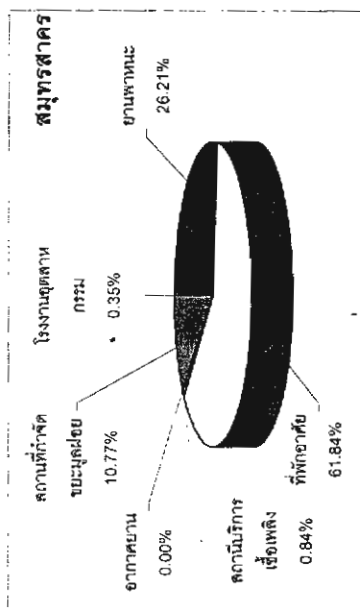
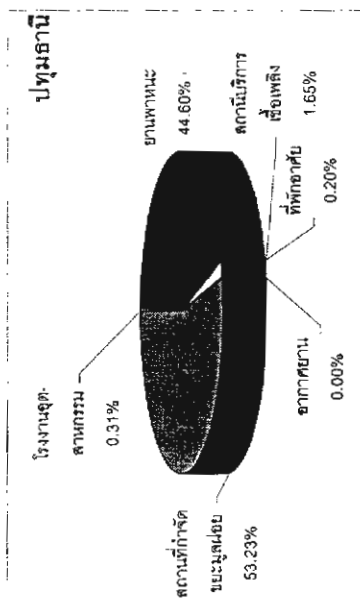
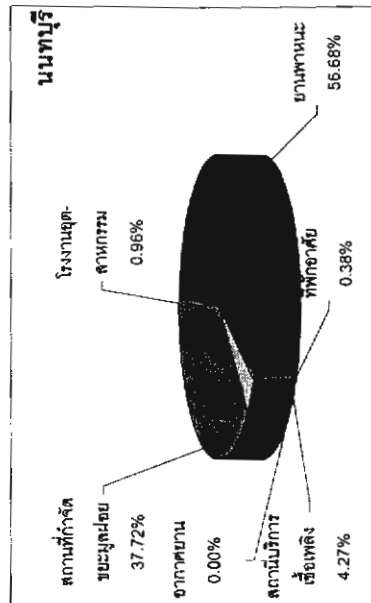
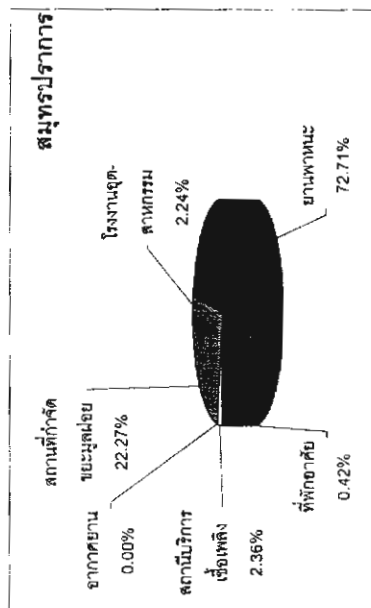
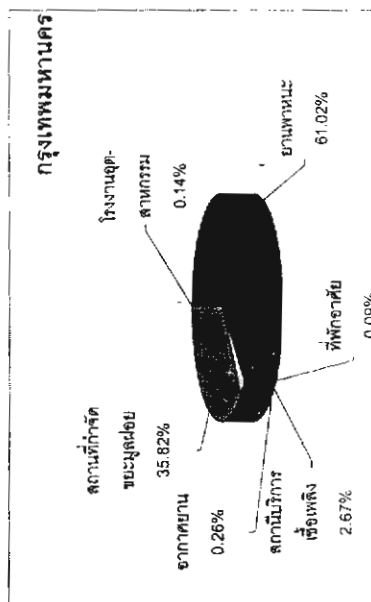
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ [1]

¹ ยานพาหนะระบาย VOCs ในรูปของสารไฮโดรคาร์บอน

² หมวกของอากาศยานคิดอัตราการระบาย VOCs จากท่าอากาศยานนานาชาติกรุงเทพ

³ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยระบาย VOCs ในรูปของก๊าซมีเทน

⁴ นิคมอุตสาหกรรมที่สำรวจได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมบางชัน (กรุงเทพฯ) นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง (กรุงเทพฯ) นิคมอุตสาหกรรมอู่ธานี (กรุงเทพฯ) นิคมอุตสาหกรรมบางปู (สมุทรปราการ) บางพลี (สมุทรปราการ) สมุทรสาคร (สมุทรสาคร)



ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ [1]

รูปที่ 2.2 การกระจาย VOCs จากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในปี พ.ศ. 2540

ตารางที่ 2.4 จำนวนโรงงานจำพวกที่ 3 ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่มีปัญหามลพิษทางอากาศ ปี พ.ศ. 2540

จังหวัด	จำนวนโรงงาน (แห่ง)	
	โรงงานจำพวกที่ 3	โรงงานที่มีปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ
กรุงเทพมหานคร	7,557	1,984
สมุทรปราการ	4,524	1,856
นนทบุรี	834	376
ปทุมธานี	1,405	661
สมุทรสาคร	2,297	953
นครปฐม	1,670	721
นิคมอุตสาหกรรม	655	463
รวม	18,287	7,014

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม [1]

จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษในครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดสารมลพิษจากปล่องโรงงานจำนวน 30 ปล่อง และได้ทำแบบสอบถามทั้งสิ้น 7,014 ชุด มีโรงงานตอบแบบสอบถามกลับมาร้อยละ 6.44 โรงงานที่เหลืออีกร้อยละ 93.56 จึงถูกประเมินอัตราการระบายมลพิษโดยใช้ Emission Factor ดังนั้นค่าอัตราการระบาย VOCs ที่ได้จากการประเมินจึงน่าจะน้อยกว่าความเป็นจริง

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์อัตราการระบายสารมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้ Emission Factor พบว่า การศึกษานี้ได้ทำการประเมินอัตราการระบาย VOCs จากปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Oil) น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และฟีน ซึ่งยังไม่ครอบคลุม VOCs ทั้งหมด ทั้งนี้ VOCs ยังมีแหล่งกำเนิดจากตัวทำลายซึ่งมีใช้กันมากในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าอัตราการระบาย VOCs ที่ได้จากการประเมินน่าจะน้อยกว่าความเป็นจริง

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์และการจัดการ VOCs ในประเทศไทย [16] เมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยเน้นด้านอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์จากยาง (Manufacture of Rubber Products) อุตสาหกรรมพลาสติก (Manufacture of Plastic Products) อุตสาหกรรมผลิตโลหะขั้นมูลฐาน (Iron and Steel Basic Industries) อุตสาหกรรมอลูมิเนียม (Non-ferrous Metal Basic Industries) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ (Manufacture of Fabricated Metal Products) อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล (Manufacture of Machinery) อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ (Manufacture of Electrical Machinery, Apparatus, Appliances and Supplies) และอุตสาหกรรมผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์ รวมทั้งการซ่อมยานพาหนะและ

อุปกรณ์ (Manufacture of Transport Equipment) ซึ่งตั้งอยู่ทั้งในนิคมอุตสาหกรรม และ นอกนิคมอุตสาหกรรมทั่วประเทศ จากการสำรวจ 476 โรงงาน จาก 1,506 โรงงาน พบว่ามี 165 โรงงาน หรือ 35 เปอร์เซ็นต์ของโรงงานที่สำรวจมีการใช้ VOCs นอกจากนี้ การสำรวจครั้งนี้ได้สำรวจปริมาณการใช้ VOCs ชนิดต่างๆ 5 ชนิด ได้แก่ ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เพอคลอโรเอทิลีน (Perchloroethylene) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) และ เมทิลีนคลอไรด์ (Methylene Chloride) ปริมาณการใช้แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณการใช้ VOCs 5 ชนิดในอุตสาหกรรมต่างๆ

ประเภทอุตสาหกรรม	ปริมาณ VOCs ที่ใช้ (ลิตรต่อวัน)				
	TCE	PCE	MC	DIC	CH
อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์จากยาง	21.00	30.00	30.00	0.00	90.00
อุตสาหกรรมพลาสติก	275.53	0.75	0.00	117.50	337.42
อุตสาหกรรมผลิตโลหะขั้นมูลฐาน	298.00	0.00	20.00	0.10	20.05
อุตสาหกรรมโลหะ	120.00	0.00	1.50	0.00	0.00
อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ	371.70	20.00	30.00	17.00	77.80
อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	15.00	0.00	31.00	10.00	40.00
อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	1,297.50	0.34	44.00	419.00	1180.40
อุตสาหกรรมผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์	165.83	40.00	66.05	0.00	80.85
รวม	2,564.6	91.10	222.60	563.60	1,826.50

ที่มา : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย [16]

หมายเหตุ : TCE = Trichloroethylene, PCE = Perchloroethylene,
MD = 1,1,1-Trichloroethane, DIC = 1,2-Dichloroethane,
CH = Methylene Chloride

ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ได้สำรวจปริมาณ VOCs ในอากาศ [9] โดยทำการสำรวจอากาศในเมือง (กรุงเทพมหานคร) ในเขตอุตสาหกรรม (นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด) เมื่อปี พ.ศ. 2542 ในการสำรวจนี้ได้ทำการวัดปริมาณ VOCs ในอากาศจำนวน 23 ชนิด ผลของการสำรวจแหล่งอากาศในเมือง และในเขตอุตสาหกรรม แสดงในตารางที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 ผลของการตรวจวัดปริมาณ VOCs ในเขตอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2542

ชนิดของ VOCs	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
	โรงเรียน มาบตาพุด		วัดตากวน		ใกล้ บ.ปุยแห่ง ชาติ		ใกล้ บ. ทุนเทักษ์		ห้วยโป่ง		ใกล้โรงแยกก๊าซ ปตท.	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
Benzene	2.4	ND	1.8	ND	18	2	12	3.6	3.7	2.2	3.2	3.6
1,2-Dichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Trichloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dichloropropane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cis,1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	ND	1.9	ND	2.1	23	8.3	6.9	3.4	3.8	ND	2.9	4.8
Trans-1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	ND	ND	ND	ND	5.8	3.4	7.8	4.2	ND	ND	ND	1.2
Tetrachloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dibromomethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	ND	ND	ND	1.3	ND	16	ND	1.3	ND	2.9	ND	ND
Ethylbenzene	ND	ND	ND	ND	4.2	ND	3.8	ND	ND	ND	ND	ND
1,4+1,3-Xylene	ND	2.6	5.4	1.8	11	10	14	2.6	8.2	2.6	ND	5.8
1,2-Xylene	ND	ND	ND	1.2	4	4.8	7.9	ND	6.1	ND	ND	3.6
Styrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2,2-Tetrachloroethane	4.8	3.3	1.7	1.9	12	16	11	6.8	6.8	ND	ND	ND
1,3,5-Trimethylbenzene	ND	ND	ND	ND	7.8	3.2	ND	ND	ND	ND	ND	3.6
1,2,4-Trimethylbenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,3-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,4-Trichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexachloro-1,3-Butadiene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ที่มา : ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยสิ่งแวดล้อม [9]

หมายเหตุ : ND - ไม่สามารถวัดปริมาณได้

ตารางที่ 2.7 ผลของการตรวจวัดปริมาณ VOCs ในเขตเมือง ในปี พ.ศ. 2542

ชนิดของ VOCs	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	สนง.นโยบายและ แผนสิ่งแวดล้อม		กระทรวงศึกษา วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม		ประจวบคีรีขันธ์		ดินแดง		ราษฎร์บูรณะ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
Benzene	3.6	1.5	61	29	157	197	60	25	10	8.5
1,2-Dichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Trichloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dichloropropane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cis,1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	11	9.3	535	615	1,947	2,164	1,347	2,344	75	60
Trans-1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dibromomethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	ND	2.2	122	41	210	257	128	251	28	12
1,4+1,3-Xylene	49	8.5	547	172	930	1,041	555	1,024	31	46
1,2-Xylene	26	6.8	451	129	746	888	445	852	25	38
Styrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2,2-Tetrachloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,3,5-Trimethylbenzene	ND	1.6	55	21	105	112	62	108	8.2	9.6
1,2,4-Trimethylbenzene	ND	ND	94	28	209	206	120	221	6.9	5
1,2-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	96	88	ND	ND	ND	ND
1,3-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,4-Trichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexachloro-1,3-Butadiene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ที่มา : ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยสิ่งแวดล้อม [9]

หมายเหตุ : ND - ไม่สามารถวัดปริมาณได้

ตารางที่ 2.7 ผลของการตรวจวัดปริมาณ VOCs ในเขตเมือง ในปี พ.ศ. 2542 (ต่อ)

ชนิดของ VOCs	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	ราชภัฏจันทรเกษม รัชดาภิเษก		ลาดพร้าว		รามคำแหง		สุขาภิบาล มีนบุรี		โรงพยาบาล จุฬาลงกรณ์	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
Benzene	11	15	25	70	15	15	5.3	15	39	23
1,2-Dichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Trichloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dichloropropane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cis,1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	101	174	497	961	86	186	19	27	269	147
Trans-1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dibromomethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	9.5	15	52	101	11	34	3	6.8	59	27
1,4+1,3-Xylene	29	47	218	407	18	84	4.1	8.4	278	120
1,2-Xylene	23	40	184	321	16	3.7	2.9	3.6	211	93
Styrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2,2-Tetrachloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,3,5-Trimethylbenzene	7.3	9.7	25	43	ND	14	ND	ND	16	16
1,2,4-Trimethylbenzene	ND	ND	10	17	ND	8.8	ND	ND	34	5.1
1,2-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,3-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,4-Trichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexachloro-1,3-Butadiene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ที่มา : ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยสิ่งแวดล้อม [9]

หมายเหตุ : ND - ไม่สามารถวัดปริมาณได้

ตารางที่ 2.7 ผลของการตรวจวัดปริมาณ VOCs ในเขตเมือง ในปี พ.ศ. 2542

ชนิดของ VOCs	ความเข้มข้น (ไม่โครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
	บ้านสมเด็จ		เยาวราช		หลักสี่		หมู่บ้าน การเคหะใหม่		กระทรวงคมนาคม		มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
Benzene	24	16.2	138	99	24	24	8.8	14	47	61	24	27
1,2-Dichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Trichloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dichloropropane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cis,1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	167	92	3,444	2,683	299	580	122	169	543	1,493	299	474
Trans-1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-Dibromomethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	21	14.5	344	253	30	27	ND	1.5	57	160	7.7	31
1,4+1,3-Xylene	39	17	1,630	1,173	113	93	41	47	243	761	ND	110
1,2-Xylene	35	12	1,350	1,048	92	75	31	38	198	605	ND	15
Styrene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2,2-Tetrachloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,3,5-Trimethylbenzene	27	7.4	118	129	12	14	10	9.6	39	ND	17	ND
1,2,4-Trimethylbenzene	4.6	ND	243	282	4.2	3	5	1.3	145	73	3.5	15
1,2-Dichlorobenzene	ND	ND	104	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.8
1,3-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	147	ND	ND
1,2,4-Trichlorobenzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexachloro-1,3-Butadiene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ที่มา : ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยสิ่งแวดล้อม [9]

หมายเหตุ : ND - ไม่สามารถวัดปริมาณได้

ตารางที่ 2.8 ผลการตรวจวัดปริมาณ VOCs ณ พื้นที่สะอาด เขตอุตสาหกรรม และ บนถนนในเขตเมือง

ชนิดของ VOCs	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, mg/m ³)									
	พื้นที่สะอาด		วัดไผ่กวน (นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด)		มาบตาพุด		ถนนในเขตกรุงเทพมหานคร		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
cis-1,2-Dichloroethane	ND	6.509-16.795	0.93-2.44	2.354-5.899	ND	2.785-9.527	1.59-6.89	109.570-146.163		
Chloroform	ND	ND	ND	ND	ND	1.126-2.115	0.74-5.19	2.575-9.530		
1,1,1-Trichloroethane	ND	0.720-0.783	ND	0.633-0.713	ND-0.60	0.581-0.946	ND-0.47	ND		
Benzene	ND	1.210-1.282	ND-0.650	0.875-1.167	ND	0.910-1.868	0.70-0.91	3.654-5.224		
1,2-Dichloroethane	ND	ND	3.330-7.540	6.239-10.439	8.41-13.21	11.247-33.910	2.96-87.64	3.651-24.150		
Trichloroethene	ND	0.608-0.959	0.010-2.190	0.877-4.385	ND-57.43	0.120-99.258	ND-0.67	ND		
Trichloroethene	ND	ND	ND	ND	ND	0.517-0.742	0.30-1.08	4.120-4.352		
1,2-Dichloropropane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
Bromodichloromethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
cis-1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
Toluene	0.14-2.13	ND	6.550-10.240	4.433-29.426	0.04-15.99	0.647-70.570	94.53-397.32	77.757-172.957		
Trans-1,3-Dichloropropene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1,1,2-Trichloroethene	ND	ND	ND-0.030	ND	ND	0.618-0.836	0.39-1.35	ND		
Tetrachloromethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.43-17.84	1.093-1.285		
Dibromochloromethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
m,p-Xylene	0.23-0.78	ND	1.560-3.410	2.675-7.117	0.92-1.65	0.504-18.233	22.50-101.36	16.728-45.789		
o-Xylene	0.17-0.58	0.503-0.841	1.050-2.330	1.278-5.124	0.23-0.41	0.644-10.0	17.67-78.56	12.492-33.793		
Bromoform	ND	0.480-0.737	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
p-Dichlorobenzene	ND	ND	ND	0.318-0.331	ND	0.329-0.380	ND	ND		

ที่มา : ศูนย์เฝ้าระวังสิ่งแวดล้อม [8]

หมายเหตุ : ND - ไม่สามารถวัดปริมาณได้

ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้สำรวจปริมาณ VOCs ในเขตชนบท เขตเมือง และ เขตอุตสาหกรรม [8] โดยในเขตเมืองได้ตรวจวัด VOCs ที่สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม ถนนพระราม 6 ส่วนในเขตชนบทได้ตรวจวัดที่เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี และในเขตอุตสาหกรรมได้ตรวจวัดที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด โดยมีจุดตรวจ 2 จุด คือ ดึกที่ทำการนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และ วัดโสภณ ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด 2 กิโลเมตรทางทิศตะวันออก ในการศึกษานี้ ได้ทำการตรวจวัด 2 ครั้ง ครั้งแรก ในช่วงเดือน กันยายน ถึงตุลาคม พ.ศ. 2541 (ช่วงฤดูฝน) และครั้งที่ 2 ในช่วงเดือน พฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2541 (ช่วงฤดูหนาว) ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ VOCs แสดงในตารางที่ 2.8

2.5 การคาดการณ์ปริมาณ VOCs ที่ระบายจากอุตสาหกรรมเป้าหมาย

จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2 อุตสาหกรรมที่มีการระบาย VOCs เป็นจำนวนมากได้แก่อุตสาหกรรมเคลือบ/พิมพ์ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก สี ฟอยล์ สิ่งทอ เทปกาวยานพิมพ์บรรจุภัณฑ์ ซึ่งโดยมาก VOCs จะถูกใช้เป็นตัวทำละลาย และใช้เป็นตัวกลางในการพ่นสี ตลอดจนวัสดุที่ใช้เคลือบผิวหน้าไปเคลือบติดบนผิวชิ้นงาน นอกจากนี้ ในประเทศไทยมีการใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายในหลายประเภทอุตสาหกรรม ตลอดจนคลังน้ำมัน และ สถานีเติมน้ำมันต่างๆ สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านี้สามารถระเหยออกสู่บรรยากาศได้จากกระบวนการผลิต กระบวนการจัดเก็บ และการขนส่ง ในขณะที่เดียวกัน ราคาของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านี้มักมีราคาสูง ตัวอย่างปริมาณการใช้และการสูญเสียสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายในอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างประเภทของอุตสาหกรรมที่ใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย จำนวนโรงงาน ชนิดของตัวทำละลาย การคาดการณ์ปริมาณการใช้ และการคาดการณ์ปริมาณการสูญเสีย

ประเภทอุตสาหกรรม	ขั้นตอน	จำนวนโรงงาน	ชนิดของตัวทำละลาย	ปริมาณการใช้ (ล้านลิตร/ปี)	ปริมาณการสูญเสีย (ล้านลิตร/ปี)	มูลค่าการสูญเสีย (ล้านบาท/ปี)
ผลิต V-Belt	เคลือบผ้า	3	Rubber Solvent	3	3	30
ผลิตเทปกาวยานพิมพ์	เคลือบเทป	10	Toluene	2	2	28
ตกแต่งแผ่นพีวีซี	พิมพ์เคลือบ	10	Toluene MEK	4 2	4 2	56 70
ตกแต่งสิ่งทอ (ผ้าผืน)	เคลือบผ้า	3	Toluene	0.6	0.6	8.4
คลังน้ำมัน	การเก็บ การเติม		Gasoline	7,000	3.2 ¹	51

¹ คลังน้ำมันมีการสูญเสียในรูปของไอน้ำมันระหว่างการเติมน้ำมันประมาณ 0.0016 ลิตรต่อลิตรน้ำมันที่เติม

² มูลค่าของตัวทำละลายคิดที่ โทลูอีน 14 บาทต่อลิตร MEK 35 บาทต่อลิตร Rubber Solvent 10 บาทต่อลิตร และ Gasoline 16 บาทต่อลิตร

บทที่ 3

เทคนิคการเก็บกลับคืน VOCs

3.1 เทคนิคการเก็บกลับคืน VOCs

เทคนิคการเก็บกลับคืนที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ การดูดซับ (Adsorption) การดูดกลืน (Absorption) และ การควบแน่น (Condensation) การเลือกใช้เทคนิคใดขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ เช่น มลภาวะที่เกิดขึ้นเป็นชนิดใด สารชนิดใดที่ต้องการเก็บกลับคืน ลักษณะเฉพาะตัวของสาร ประสิทธิภาพของการเก็บกลับคืนที่ต้องการ ข้อกำหนดของสถานที่ เงินลงทุนสำหรับการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และระบบต่างๆ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) อายุการใช้งานของระบบ เป็นต้น

3.1.1 การดูดซับ (Adsorption)

กระบวนการเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายโดยวิธี Adsorption ทำได้โดยการผ่านก๊าซผสมเข้าไปใน Packed Column ที่มีสารดูดซับ (Adsorbent) สารอินทรีย์ที่ต้องการแยกออกจากก๊าซผสมจะถูกดูดซับอยู่ภายในรูเล็กๆ ภายในสารดูดซับ ถึงแม้ว่าสารอินทรีย์จะมีความเข้มข้นต่ำมากๆ ก็สามารถถูกแยกออกมาได้ สารที่ถูกดูดซับอยู่ในสารดูดซับเรียกว่า Adsorbate กระบวนการดูดซับที่เกี่ยวข้องได้แก่ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption หรือ Physisorption) และ การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption หรือ Chemisorption)

เมื่อโมเลกุลของ Adsorbate สัมผัสกับพื้นผิวของ Adsorbent และเกาะอยู่บนพื้นผิวโดยที่ไม่มีปฏิกิริยาเคมี ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การดูดซับทางกายภาพ กระบวนการดังกล่าวอาจเกิดเนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์ หรือ แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ เกิดจากลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของ Adsorbent เช่น ลักษณะของรูเล็กๆ ภายใน Adsorbent โดยส่วนใหญ่ การดูดซับทางกายภาพต้องการพื้นที่ผิวมาก ความสามารถในการดูดซับนี้สามารถเพิ่มขึ้นได้โดย

- เพิ่มความเข้มข้นของ Adsorbate
- เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของ Adsorbate
- เลือก Adsorbent ที่เหมาะสมกับสารที่ต้องการดูดซับ
- แยกสารปนเปื้อนที่ติดมากับก๊าซผสมเข้ามาก่อนเข้ากระบวนการดูดซับ
- ลดอุณหภูมิของการดูดซับ
- เพิ่มเวลาสัมผัสระหว่าง Adsorbate และ Adsorbent
- Regenerate หรือเปลี่ยน Adsorbent สมำเสมอ

กระบวนการ Regeneration ของการดูดซับทางกายภาพสามารถทำได้ 3 แบบ ได้แก่ การเปลี่ยนอุณหภูมิ (Temperature Swing) การเปลี่ยนความดัน (Pressure Swing) และ การเปลี่ยนความเข้มข้น (Concentration Swing) ในทางทฤษฎี Adsorbent ใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานจะสามารถแยก

สารที่ต้องการแยกออกจากก๊าซผสมเข้าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และจะถูกดูดซับอยู่ภายใน Adsorbent จนกระทั่งอยู่ในสภาวะอิ่มตัว สภาวะอิ่มตัวจะค่อยๆ ขยายเพิ่มขึ้นตามทิศทางการเคลื่อนที่ของก๊าซผสม จนกระทั่งเริ่มมีสารที่ต้องการแยกออกจากก๊าซผสมหลุดออกมาจากคอลัมน์ เรียกว่าจุด Breakthrough โดยทั่วไประบบนี้จะถูกออกแบบให้มีอย่างน้อย 2 คอลัมน์ โดยคอลัมน์หนึ่งทำการดูดซับ ส่วนอีกคอลัมน์หนึ่งทำการ Regenerate

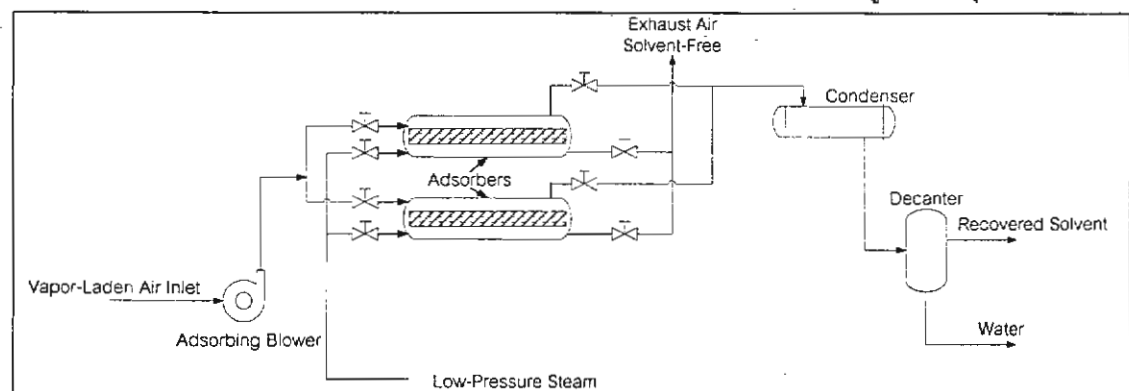
เมื่อโมเลกุลของ Adsorbate สัมผัสกับพื้นผิวของ Adsorbent และเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นและเกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุล ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การดูดซับทางเคมี ความร้อนที่คายออกมาเนื่องจากการดูดซับชนิดนี้มีค่าประมาณ 100 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพ กระบวนการ Regeneration ในการดูดซับทางเคมีทำได้ยากมากหรือไม่สามารถทำได้เลย

วิธีการดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ การดูดซับชนิดสารดูดซับอยู่นิ่ง (Fixed Bed Adsorber) การดูดซับชนิดสารดูดซับเคลื่อนที่ (Moving Bed Adsorber) และการดูดซับชนิดฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Adsorber) การดูดซับที่นิยมมากที่สุดระบบ Fixed Bed

Fixed Bed Adsorber

ระบบ Fixed Bed Adsorber จะประกอบด้วยคอลัมน์ดูดซับหลายคอลัมน์ เมื่อคอลัมน์หนึ่งทำการดูดซับ อีกคอลัมน์หนึ่งจะทำการ Regeneration หรือ ถูกทำให้เย็น สายอากาศที่มี VOCs ผสมมักจะถูกบ่อนเข้าด้านบนของคอลัมน์ การออกแบบมักจะหลีกเลี่ยงการบ่อนสายอากาศผสมเข้าด้านล่าง (ยกเว้นในกรณีที่ต้องทำการไหลของอากาศน้อยกว่า 500 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) เพื่อลดปัญหาการพา Activated Carbon ติดขึ้นไปกับสายอากาศที่ผ่านการดูดซับแล้ว (Exhaust Air) เมื่อ Activated Carbon อิ่มตัว คอลัมน์นั้นจะเข้าสู่กระบวนการ Regeneration โดยใช้ไอน้ำ ไอน้ำและ VOCs ที่ถูก Regenerate จะผ่านเข้าไปที่เครื่องควบแน่น หลังจากนั้น VOCs ที่ไม่ละลายน้ำจะถูกแยกออกจากน้ำที่ Decanter ดังแสดงในรูปที่ 3.1

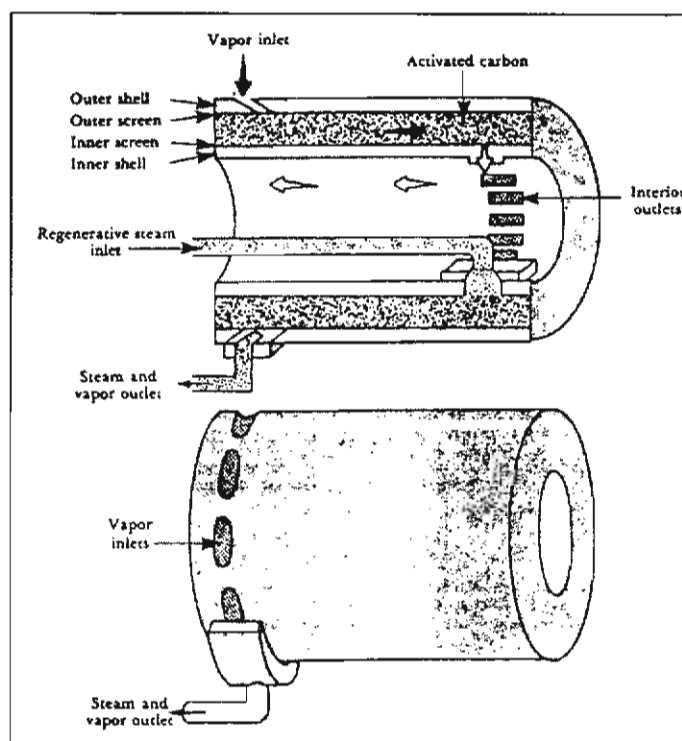
Fixed Bed Adsorber แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามทิศทางการสัมผัสกับการไหลของอากาศ ได้แก่ คอลัมน์ดูดซับแนวตั้ง (Vertical Flow Adsorber) และ คอลัมน์ดูดซับแนวนอน (Horizontal Flow Adsorber) ชนิดแรกเหมาะสำหรับอากาศเข้าที่มีอัตราการไหลน้อยกว่า 3,000 – 4,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ส่วนชนิดที่สองสามารถออกแบบให้รับอัตราการไหลได้มากถึง 40,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการดูดซับชนิด Fixed Bed Adsorber

Moving Bed Adsorber

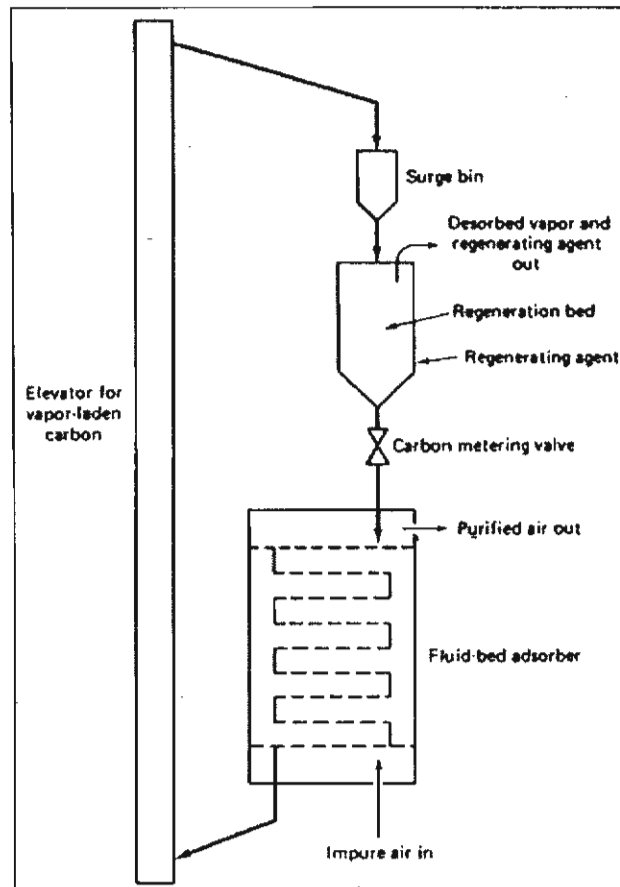
จากระบบ Fixed Bed Adsorber ซึ่งมีกระบวนการ Regeneration แบบเป็นคาบ (ได้แก่ ขั้นตอนการดูดซับ ขั้นตอนการ Regeneration และขั้นตอนการทำแห้งและทำให้เย็น) กระบวนการเหล่านี้สามารถกระทำในแบบอัตโนมัติได้โดยการทำให้ Bed เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศผสม VOCs หลังจากนั้นจึงเคลื่อน Bed ที่อิ่มตัวผ่านไปยังสายไอน้ำเพื่อทำการ Regeneration แล้วจึงเคลื่อน Bed ที่ผ่านการ Regeneration แล้วไปยังสายอากาศเย็นเพื่อทำแห้งและลดอุณหภูมิ ระบบนี้เรียกว่า Moving Bed Adsorber ระบบนี้นิยมออกแบบเป็นถังทรงกระบอกที่หมุนรอบแกนในแนวนอน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Moving Bed Adsorber (ชนิด Rotary Bed)

Fluidized Bed Adsorber

ระบบ Fluidized Bed Adsorber มีลักษณะคล้ายหอกกลั่นชนิด Tray โดยมี Activated Carbon เคลื่อนที่จาก Tray ด้านบนลงมายัง Tray ที่อยู่ด้านล่าง สายอากาศผสม VOCs จะถูกป้อนเข้ามาที่ด้านล่างของคอลัมน์และไหลขึ้นด้านบนและทำให้ Activated Carbon เกิดการฟลูอิดไดซ์จาก Tray หนึ่งสู่อีก Tray หนึ่ง หลังจากนั้น Activated Carbon จะตกลงมาและถูกดูดเข้า Elevator เพื่อวน Activated Carbon ไปเข้ากระบวนการ Regeneration ซึ่ง Activated Carbon จะไหลลงและสวนทางกับไอน้ำ เมื่อ Activated Carbon ถูก Regenerate แล้วก็จะวนกลับเข้าไปดูดซับ VOCs จากสายอากาศผสมต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 Fluidized Bed Adsorber

3.1.2 การดูดกลืน (Absorption)

กระบวนการดูดกลืนเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสระหว่างสายอากาศที่มีก๊าซที่ต้องการเก็บกลับคืนกับสายของเหลวที่ใช้เป็นสารดูดกลืน (Absorbent) โดยก๊าซจะละลายในของเหลว อุปกรณ์ที่ใช้โดยทั่วไปได้แก่ หอดูดกลืน ซึ่งสามารถออกแบบได้ทั้งแบบ Packed หรือ แบบ Plate

ในการออกแบบกระบวนการดูดกลืน พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ควรพิจารณา มีดังนี้

ความสามารถในการละลายของก๊าซในสารดูดกลืน

อัตราการถ่ายเทของก๊าซที่ต้องการเข้าไปในของเหลวสามารถคำนวณได้จากการแพร่ของก๊าซจากชั้นอากาศสู่ผิวของของเหลว และจากผิวของของเหลวสู่ภายในของเหลว เช่น กระบวนการถ่ายเทไอของกรดไฮโดรคลอริกในน้ำ เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกละลายน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อโมเลกุลของกรดสัมผัสกับน้ำจะละลายทันที อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของกรดจะเริ่มแพร่กระจายชั้นแรกในชั้นของก๊าซด้วยกระบวนการแพร่โดยผ่านชั้นของอากาศ และเมื่อโมเลกุลของกรดสัมผัสกับผิวของน้ำก็จะละลายเข้าไปในผิวของน้ำ จากนั้นจึงจะแพร่กระจายจากผิวลงไปชั้นของน้ำด้วยกระบวนการแพร่ชั้นที่สอง

ภาวะสมดุลระหว่างก๊าซและสารดูดกลืน

ภาวะสมดุลระหว่างก๊าซและสารดูดกลืนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมระบบดูดกลืน อัตราการแพร่ของก๊าซลงสู่สารดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับผลต่างของความเข้มข้นของก๊าซจากค่าความเข้มข้นที่ภาวะสมดุลระหว่างก๊าซกับสารดูดกลืน ค่าคงที่ของการถ่ายเทมวล อัตราการแพร่ของก๊าซในชั้นอากาศ และการแพร่ของก๊าซในชั้นของเหลว

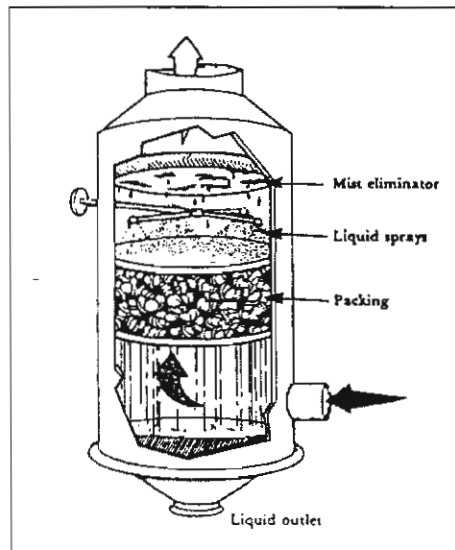
การเลือกชนิดของสารดูดกลืนจะต้องพิจารณาดังนี้

1. ค่าความสามารถในการละลายของก๊าซในสารดูดกลืน (Gas Solubility) : ค่าความสามารถในการละลายของก๊าซในสารดูดกลืนควรสูง เนื่องจากเมื่อค่านี้สูงขึ้น อัตราการดูดกลืนจะสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ปริมาณสารดูดกลืนที่ใช้ลดลง โดยทั่วไป สารเคมีที่นำมาใช้เป็นสารดูดกลืนจะต้องมีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีคล้ายๆ กันกับก๊าซที่ต้องการเก็บกลับคืน
2. ความสามารถในการระเหย (Volatility) : สารดูดกลืนที่ใช้ควรมีค่าความดันไอต่ำ
3. ความสามารถในการผุกร่อน (Corrosiveness) : ความสามารถในการผุกร่อนจะมีผลต่อการเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้สร้าง
4. ราคาของสารดูดซับ : ควรมีราคาถูก
5. ความหนืด : สารดูดซับควรมีค่าความหนืดต่ำ เพื่อให้มีอัตราการดูดกลืนสูง ลดค่าความต่างของความดัน และทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนดี
6. ความเสถียรทางเคมี (Chemical Stability) : สารดูดกลืนควรจะไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีน้อย และถ้าเป็นไปได้ควรเป็นสารไม่ไวไฟ
7. จุดเยือกแข็ง : ถ้าเป็นไปได้ สารดูดกลืนควรมีจุดเยือกแข็งต่ำ เนื่องจาก ถ้าเกิดการแข็งตัวของดูดกลืนระหว่างการดำเนินงาน จะทำให้เกิดความเสียหายในคอลัมน์อย่างมาก

หลังจากเลือกสารดูดกลืนได้แล้ว ลำดับต่อไปจะเป็นการเลือกชนิดของระบบดูดกลืน ชนิดของระบบดูดซับที่ใช้มี 2 แบบ ได้แก่ Packed Column และ Plate Column ระบบที่นิยมใช้กันมากในการดูดกลืนก๊าซคือ Packed Column ซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์

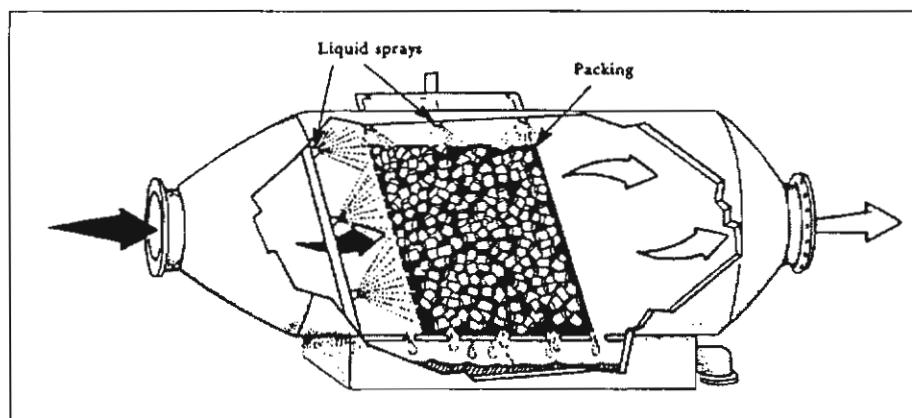
Packed Column

Packed Column ใช้สำหรับการดำเนินงานแบบต่อเนื่อง สารดูดกลืนและก๊าซมีการสัมผัสกันตลอดเวลา โดยมากจะเป็นคอลัมน์ชนิดตั้ง ซึ่งบรรจุด้วย Packing ไว้ภายในเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัส สารดูดซับที่เป็นของเหลวจะถูกทำให้กระจายทั่วพื้นผิวของ Packing และไหลลงด้านล่างของคอลัมน์ ส่วนก๊าซผสมจะถูกป้อนเข้าคอลัมน์ได้ทั้งด้านบนและด้านล่าง ถ้าสารดูดกลืนและก๊าซผสมไหลสวนทางกันจะเรียกว่าการไหลแบบ Countercurrent ถ้าเป็นการไหลทางเดียวกันจะเรียกว่าการไหลแบบ Cocurrent ประสิทธิภาพของระบบ Countercurrent จะสูงกว่า เนื่องจาก Driving Force ของระบบมีค่าสูงกว่า กล่าวคือ เมื่อก๊าซผสมเข้าไปในคอลัมน์ ก๊าซจะสัมผัสกับสารดูดกลืนและละลายเข้าไปในสารดูดกลืน ความเข้มข้นของก๊าซผสมจะค่อยๆ ลดลงเมื่อไหลขึ้นด้านบนของคอลัมน์ ในขณะเดียวกันก็สัมผัสกับสารดูดกลืนที่ใหม่ (Fresh Absorbent) ที่ไหลลงมาจากด้านบนของคอลัมน์



รูปที่ 3.4 Packed Column

การไหลแบบ Cocurrent มีการใช้บ้างเมื่อต้องการระบบที่มีความต่างของความดันต่ำ (Pressure Drop) ระบบนี้ทั้งสารดูดกลืนและก๊าซผสมจะถูกป้อนเข้าที่ด้านบนของคอลัมน์ เมื่อเริ่มต้นระบบนี้จะมีอัตราการดูดกลืนสูงมาก และค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุล ระบบนี้สามารถออกแบบให้ความเร็วของทั้งก๊าซผสมและของสารดูดกลืนสูงมากๆ ได้ เนื่องจากค่าความต่างของความดันต่ำ อย่างไรก็ตาม ระบบนี้เหมาะสำหรับระบบที่มีค่า Driving Force สูงมาก เช่นการดูดกลืนโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดและเบส หรือในระบบที่ไม่ต้องการให้เกิดปัญหาน้ำท่วมคอลัมน์ซึ่งสามารถเกิดได้ในระบบ Countercurrent



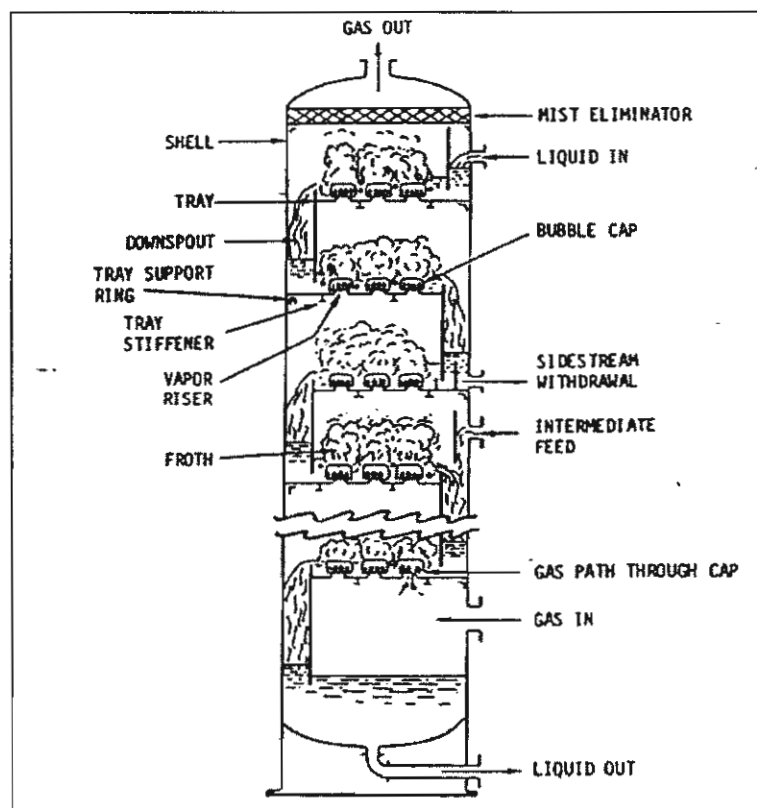
รูปที่ 3.5 Packed Column แบบ Cross Flow

นอกจากนี้ Packed Column ยังสามารถออกแบบให้มีการไหลแบบ Cross Flow ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ก๊าซผสมจะไหลในแนวนอน ในขณะที่สารดูดกลืนไหลลงจากด้านบน การออกแบบโดยใช้

Cross Flow มีจุดเด่นที่อัตราการใช้สารดูดกลืนต่ำ และ ใช้ความเร็วของก๊าซผสมค่อนข้างสูง ในขณะที่ค่าความต่างของความดันต่ำ ในกรณีที่ก๊าซที่ต้องการเก็บกลับคืนมีความสามารถในการละลายสูง ระบบ Cross Flow จะเด่นกว่าระบบ Countercurrent Flow เมื่อใช้สารดูดกลืนชนิดเดียวกัน และความเร็วของก๊าซเท่ากัน Cross Flow จะมีค่าความต่างของความดันต่ำกว่า ใช้สารดูดกลืนน้อยกว่า ปัญหาการอุดตันเนื่องจากของแข็งน้อยกว่า และยังใช้ปั๊ม หรือ พัดลมดูดอากาศที่ขนาดเล็กกว่าระบบ Countercurrent Flow ในทางกลับกัน Cross Flow มีปัญหาในเรื่องของการที่ของเหลวถูกดึงขึ้นด้านบน (Liquid Entrainment) และปัญหาของการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงของก๊าซกับของเหลว เนื่องจากเกิดการบายพาสของก๊าซ

Plate Column

Plate Column จะออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกในแนวตั้งและมี Plate หรือ Tray กันเป็นชั้นๆ เพื่อให้ก๊าซสัมผัสกับสารดูดกลืนมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 สารดูดกลืนจะถูกป้อนเข้าทางด้านบนของคอลัมน์และไหลลงด้วยแรงโน้มถ่วงโลก ในระหว่างที่ไหลลงนั้นก็จะไหลสลับฟันปลาเพื่อลงสู่ Plate หรือ Tray ที่อยู่ถัดไปทางด้านล่าง ก๊าซจะถูกป้อนเข้าด้านล่างและไหลขึ้นตามช่องของ Plate หรือ Tray และแตกตัวเป็นฟองผ่านชั้นของของเหลว จำนวนของชั้นที่ใช้ในการดูดกลืนก๊าซเข้าสู่สารดูดกลืนคำนวณได้จากการทำสมดุลมวลและความสัมพันธ์ของความเข้มข้นที่ภาวะสมดุล ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารดูดกลืนและปริมาณของก๊าซที่ป้อนเข้าคอลัมน์



รูปที่ 3.6 Plate Column

3.1.3 การควบแน่น (Condensation)

การควบแน่นเป็นกระบวนการเปลี่ยนไอระเหยของ VOCs จากสถานะก๊าซให้เป็นสถานะของเหลว โดยทั่วไปกระทำได้ 2 วิธี คือ การลดอุณหภูมิ หรือ การเพิ่มความดัน วิธีที่นิยมใช้กันมากกว่าคือการลดอุณหภูมิ เนื่องจากวิธีเพิ่มความดันมีค่าลงทุนและค่าดำเนินการสูง

เครื่องควบแน่น (Condenser) เป็นอุปกรณ์ที่ง่ายและราคาค่อนข้างถูกและเป็นที่นิยมใช้กันในการควบแน่นก๊าซ สารที่นิยมใช้ในการลดอุณหภูมิคือน้ำหรืออากาศเนื่องจากมีราคาถูก ดังนั้นจึงไม่สามารถจะลดอุณหภูมิของก๊าซให้มีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ ได้ (ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส) ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเก็บกลับคืนต่ำ โดยทั่วไปจะใช้การควบแน่นเป็นวิธีการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) เพื่อลดปริมาณของก๊าซในเบื้องต้นก่อนส่งเข้าระบบอื่นต่อไป

เมื่อก๊าซร้อนสัมผัสกับสารที่ใช้ลดอุณหภูมิ ความร้อนจะถ่ายเทจากก๊าซร้อนไปยังสารที่ใช้ลดอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของก๊าซลดลง พลังงานจลน์ของก๊าซก็ลดลง โมเลกุลของก๊าซก็จะเคลื่อนที่ช้าลงและเคลื่อนตัวเข้าใกล้กันมากขึ้นจนกระทั่งแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (แรงแวนเดอร์วาลส์) ทำให้โมเลกุลของก๊าซควบแน่นเป็นของเหลว ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นของก๊าซได้แก่สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซที่ต้องการควบแน่น

3.2 ข้อเปรียบเทียบเทคนิคการเก็บกลับคืน VOCs

ข้อเด่นและข้อด้อย โดยทั่วไปของเทคนิคการเก็บกลับคืนชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.3

ตารางที่ 3.1 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคนิคการดูดซับ

ข้อเด่น

1. สามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 90+ เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ 200-300 พีพีเอ็ม และที่ความเข้มข้นมากกว่า 1,000 พีพีเอ็ม สามารถเก็บกลับคืนได้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์
2. สามารถควบคุมและตอบสนองต่อสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดี
3. ไม่มีปัญหาเรื่องการกำจัดสารเคมีที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเก็บกลับคืน
4. สามารถติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติได้

ข้อด้อย

1. ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับน้อยลงเมื่อถูกใช้งาน ดังนั้นจะต้องเปลี่ยนสารดูดซับตามกำหนดเวลา
2. ในการ Regeneration จะต้องใช้ไอน้ำ หรือ ระบบสุญญากาศ
3. เงินลงทุนในการติดตั้งระบบค่อนข้างสูง
4. อาจจำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ในการดักของแข็งที่ติดมากับสายอากาศขาเข้า เพื่อป้องกันการอุดตันในคอลัมน์ดูดซับ
5. อาจจำเป็นที่จะต้องลดอุณหภูมิของสายอากาศขาเข้าเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินการ
6. ไม่เหมาะสมสำหรับสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ
7. ในกรณีที่มีสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ จะต้องใช้ไอน้ำปริมาณมากเพื่อ Regenerate

ตารางที่ 3.2 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคนิคการดูดกลืน

ข้อเด่น

1. สามารถใช้ได้กับสารที่มีความสามารถในการกักความร้อนสูงได้เมื่อเลือกใช้ Packing ที่เหมาะสม
2. มีค่าความต่างของความดันต่ำ (Low Pressure Drop)
3. เงินลงทุนต่ำกว่า
4. ใช้เนื้อที่น้อย

ข้อด้อย

1. อาจเกิดของเสียลำดับที่สองถ้าไม่สามารถ Regenerate และนำกลับมาใช้ใหม่ได้
2. ฝุ่นหรือของแข็งที่ติดเข้าไปในคอลัมน์อาจก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันได้
3. Packing บางชนิดไม่ทนต่อความร้อน
4. ค่าซ่อมบำรุงค่อนข้างสูง
5. ในกรณีที่มี VOCs หลายชนิด การหาสารดูดกลืนที่เหมาะสมจะค่อนข้างยาก

ตารางที่ 3.3 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคนิคการควบแน่น

ข้อเด่น

1. สารที่เก็บกลับคืนได้มีความบริสุทธิ์สูง (ในกรณีที่เป็นการสัมผัสโดยอ้อม)
2. สารที่ไหลเวียนจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารที่ต้องการเก็บกลับคืนโดยการสัมผัสทางอ้อม ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
3. เหมาะสมกับระบบที่ความเข้มข้นของสารที่ต้องการเก็บกลับคืนสูง (มากกว่า 3,000 พีพีเอ็มโดยปริมาตร) ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพ 80+ เปอร์เซ็นต์

ข้อด้อย

1. ในกรณีที่เป็นก๊าซ ประสิทธิภาพในการเก็บกลับคืนจะต่ำ
2. ในกรณีที่ต้องการประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนสูงๆ จะต้องใช้อุณหภูมิต่ำมากๆ สารหล่อเย็นที่ใช้ อาจจะมีราคาแพง เช่น ไนโตรเจนเหลว

จากตารางที่ 3.3 พบว่าเทคนิคการควบแน่นไม่เหมาะสำหรับการเก็บกลับคืนก๊าซ เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำ และหากต้องการประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนสูงๆ จะต้องใช้อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและสารหล่อเย็นที่ใช้อาจมีราคาแพง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่พิจารณาเทคนิคนี้

เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการดูดซับและการดูดกลืน เนื่องจาก VOCs จากกระบวนการผลิตของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการมีหลายชนิด การที่จะหาสารดูดกลืนที่เหมาะสมจะค่อนข้างยาก ตลอดจนเทคนิคการดูดซับให้ประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนสูงกว่า ดังนั้นในการศึกษานี้จึงพิจารณาเฉพาะเทคนิคการดูดซับ

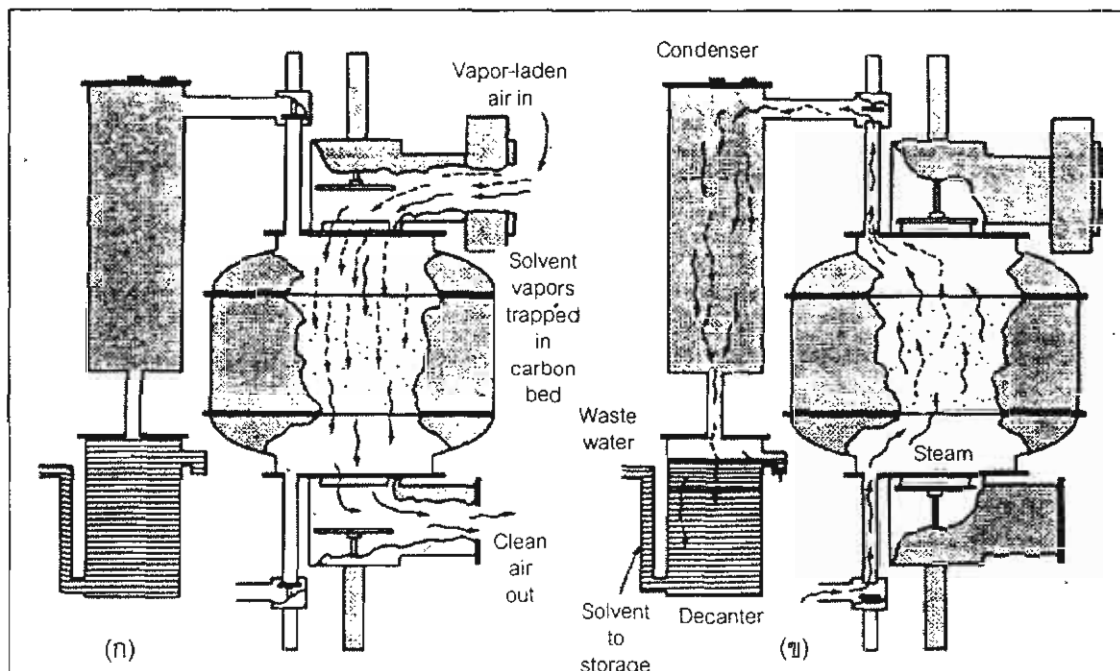
ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบเทคนิคการดูดซับ และ เทคนิคการดูดกลืน

รายละเอียด	การดูดซับ	การดูดกลืน
ความสามารถในการเก็บกลับคืน	➢ 90+ เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ 200-300 พีพีเอ็ม ➢ สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นมากกว่า 1,000 พีพีเอ็ม	90-95%
ความสามารถในการรับ load ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากัน	ต่ำกว่า	สูงกว่า
สารที่ใช้ดูดซับหรือดูดกลืน	ถ่านกัมมันต์	สารอินทรีย์ที่ระเหยยาก (Non Volatile Organic Matter)
กระบวนการที่ใช้ regenerate	Stripping Process, ระบบสูญญากาศ	Stripping Process, ระบบสูญญากาศ
ลักษณะของอุปกรณ์	Packed Column, Fixed Bed	Packed Column, Tray Column
ขนาด	ใหญ่	เล็ก
การดำเนินงาน (Operation)	ง่าย	ซับซ้อน
หมายเหตุ	การทำงานของระบบเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Type)	ไม่สามารถดูดกลืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่ความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากค่าความแตกต่างของความเข้มข้นมีน้อยเกินไป ซึ่งทำให้ความสูงของคอลัมน์มาก นอกจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารอาจจะต่ำ

บทที่ 4

หลักการออกแบบระบบเก็บกลับคืน

ดังได้กล่าวแล้วว่าการเก็บกลับคืนมีหลายวิธี แต่ที่เราสนใจคือวิธีการดูดซับ (Adsorption) และ Regeneration ซึ่งสามารถเก็บกลับคืน VOCs ที่มีความเข้มข้นต่ำ (น้อยกว่า 5,000 พีพีเอ็ม) โดยทำการดูดซับสาร VOCs ในอากาศด้วย Activated Carbon จนกระทั่งอิ่มตัว (ด้วยสาร VOCs) จากนั้นจึงทำการ Regenerate โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำเพื่อไล่ VOCs ออกจาก Activated Carbon ไอของ VOCs ซึ่งมีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูง จะผ่านต่อไปยัง Condenser เพื่อลดอุณหภูมิ ไอของ VOCs รวมทั้งไอน้ำ ซึ่งจะควบแน่นกลับเป็นแบบเหลว จากนั้นจึงทำการแยกน้ำและของเหลว โดยใช้ Decanter จะได้สาร VOCs เหลวกลับมา ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ส่วน Activated Carbon ก็สามารถนำมาใช้ดูดซับใหม่ได้



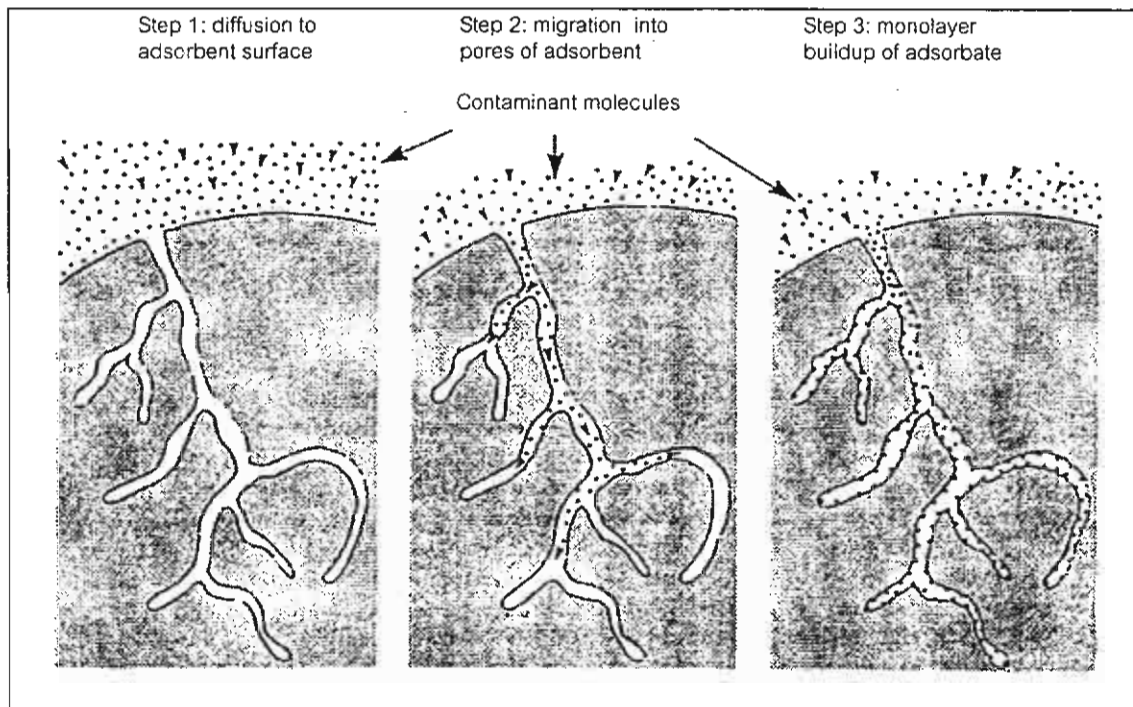
รูปที่ 4.1 วิถีการของการดูดซับ (ก) และการคายกลับ (ข)

จะเห็นว่ากระบวนการดังกล่าว ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ Adsorption เป็นการดูดซับเพื่อแยกสาร VOCs ออกจากอากาศ และ Regeneration หรือ Stripping เป็นการไล่สาร VOCs ออกจาก Activated Carbon ซึ่งจะกล่าวโดยสังเขปของแต่ละกระบวนการ ดังต่อไปนี้

4.1 หลักการของการดูดซับ (Adsorption)

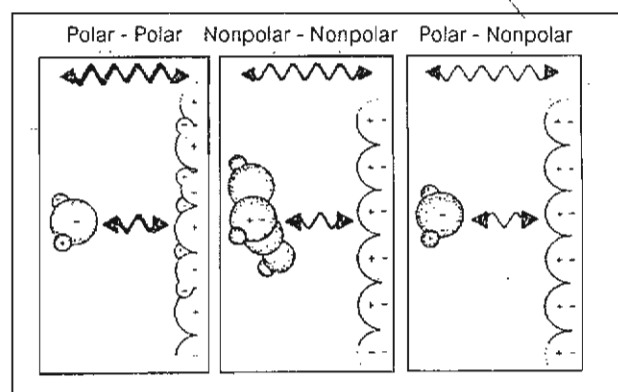
การดูดซับเป็นการแยกสาร (มลพิษ หรือ VOCs) ที่อยู่ในสถานะก๊าซออกจากอากาศ หรือสาร (มลพิษ หรือ VOCs) ที่อยู่ในสถานะของเหลวออกจากน้ำ โดยใช้ของแข็งที่มีรูพรุนหรือพื้นที่ผิวสูง เช่น

Activated Carbon สารที่ถูกดูดซับ (มลพิษ หรือ VOCs) เรียกว่า Adsorbate ส่วนสารที่ใช้ดูดซับเรียกว่า Adsorbent กลไกของกระบวนการดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กลไกของกระบวนการ Adsorption

การดูดซับเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่าง Adsorbate และ Adsorbent ซึ่งเป็นแรงดึงดูดทางกายภาพลักษณะเดียวกันกับแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waal's Force) และสามารถเกิดขึ้นได้กับวัตถุทุกชนิด ลักษณะการดูดซับดังกล่าว เรียกว่า การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) แสดงดังรูปที่ 4.3 นอกจากนี้แล้วยังมีการดูดซับที่เป็นลักษณะของปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)



รูปที่ 4.3 แรงดึงดูดทางกายภาพระหว่าง Adsorbate และ Adsorbent

4.2 ชนิดของสารดูดซับ

สารดูดซับที่ดีต้องมีพื้นผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับขนาดของตัวดูดซับ มีสารหลายชนิดที่สามารถใช้เป็นสารดูดซับได้ แต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ Activated Carbon, Molecular Sieve, Silica Gel เป็นต้น ในที่นี้จะสนใจพิจารณาเฉพาะ Activated Carbon เท่านั้น ซึ่งใช้ดูดซับสาร VOCs

Activated Carbon

Activated Carbon เป็น Adsorbent ที่นิยมใช้กัน กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นใน Activated Carbon จะเป็นกระบวนการดูดซับทางกายภาพ Activated Carbon สามารถผลิตได้จากสารคาร์บอนหลายชนิด เช่น ถ่านไม้ ถ่านหิน ฯลฯ โดยเริ่มจากกระบวนการ carbonization ซึ่งเป็นการไล่สารอินทรีย์ (Volatile Material) ออกไป โดยการเผาในที่อับอากาศ ซึ่งทำให้เหลือแต่ Carbon ล้วนๆ จากนั้นจึงผ่านเข้าสู่กระบวนการ Activation ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มีรูพรุนมากขึ้นโดยใช้ไอน้ำ หรือก๊าซ CO_2 ฯลฯ ที่อุณหภูมิสูง

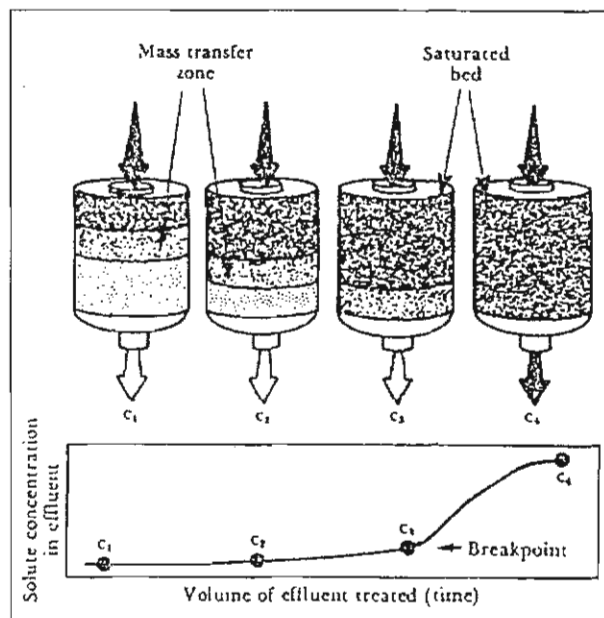
พื้นที่ผิวภายในของ Activated Carbon มีค่าสูงมากเนื่องจากรูขนาดเล็กภายใน Activated Carbon พื้นที่ผิวทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 450-1,800 ตารางเมตรต่อกรัม และมีรูพรุนอยู่ระหว่าง 150-200 นาโนเมตร เนื่องจากเป็นสารไม่มีขั้ว (Non-Polar Matter) จึงถูกใช้ในการดูดซับสารไม่มีขั้วด้วยกัน เช่น VOCs, กลิ่น หรือก๊าซพิษที่เป็นสารไม่มีขั้ว รูปร่างโดยทั่วไปได้แก่ ชนิดเม็ดกลมขนาดเล็ก (Granular หรือ Natural Grains) ชนิดก้อนกลม (Pellets) และ ชนิดผง (Powders) ชนิดเม็ดกลมขนาดเล็กมีลักษณะเป็นเม็ดแข็งและแน่น นิยมใช้กันในการดูดซับก๊าซ โดยหลักแล้วใช้ในกระบวนการเก็บกลับคืนตัวทำละลาย และในกระบวนการแยกก๊าซออกจากก๊าซผสม ส่วน Activated Carbon อีกสองแบบที่เลือนิยมใช้กันในการดูดซับของเหลว เช่น ในการลดสีในของเหลว การทำของเหลวให้บริสุทธิ์ขึ้น เป็นต้น

4.3 วิธีการ Regeneration

การดูดซับโดยทั่วไป มักกระทำใน Column แบบ Fixed Bed กล่าวคือ ใช้ผง Activated Carbon บรรจุเป็นความหนาที่เหมาะสมใน Column แล้วให้ก๊าซหรืออากาศที่มีสาร VOCs ไหลผ่าน Activated Carbon จะดูดซับสาร VOCs นั้น อากาศที่ไหลออกมาก็จะไม่มีสาร VOCs จากลักษณะดังกล่าวทำให้ Activated Carbon บริเวณส่วนต้นๆ ของคอลัมน์สัมผัสกับอากาศและ VOCs ทันที ซึ่ง Activated Carbon จะดูดซับสาร VOCs จนกระทั่งอิ่มตัว ส่วน Activated Carbon ที่อยู่ในบริเวณถัดลงมาจะค่อยๆ อิ่มตัวด้วย VOCs เรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป ชั้นความหนาของคอลัมน์ ที่ Activated Carbon อิ่มตัวมากขึ้น จนกระทั่งเกือบเต็มคอลัมน์ ความสามารถในการดูดซับสารจะลดลง อากาศที่ออกไปจะมีความเข้มข้นของสาร VOCs สูงขึ้น จนถึงระดับหนึ่งที่กำหนดไว้ เรียกว่า Break Point โดยทั่วไปจะกำหนดที่ 1% หรือ 0.5% ของความเข้มข้นเริ่มต้น แสดงดังรูปที่ 4.4

เมื่อความเข้มข้นของ VOCs ถึง Breakpoint จะต้องทำการเปลี่ยน Activated Carbon ใหม่เพื่อ ดูดซับสาร VOCs มิให้ออกไปกับอากาศ ระยะเวลาของ Break point โดยทั่วไปจะลดลงถ้าความยาวของ bed ลดลง หรือขนาดของเม็ด Activated carbon ใหญ่ขึ้น หรือความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน bed เร็วขึ้น หรือความเข้มข้นของ VOCs เริ่มต้นมีค่าสูงขึ้น

โดยทั่วไปแล้ว Break through Curve มักได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการที่สภาวะหนึ่งแล้ว ทำการ Scale up เพื่อทำนาย Break point time ที่ condition เดียวกัน รายละเอียดสามารถอ่านได้จาก ตำราทางด้านวิศวกรรมเคมี



รูปที่ 4.4 กระบวนการ Adsorption และค่าความเข้มข้น VOCs ในอากาศขาออกที่ระยะเวลาต่างๆ

เมื่อ Activated Carbon อิ่มตัวแล้ว ก็จะต้องทำการ Regeneration เพื่อ recover สาร VOCs และขณะเดียวกัน ก็จะได้ Activated Carbon กลับไปใช้ในกระบวนการดูดซับใหม่ต่อไป การ Regeneration สามารถกระทำโดยหลายวิธีเช่น

- Thermal Swing cycle โดยใช้ความร้อนเพื่อไล่สาร VOCs ออกจาก Activated Carbon
- Pressure Swing โดยการลดความดัน สาร VOCs ก็จะแยกตัวออกจาก Activated Carbon
- Purge Gas Stripping Cycle เป็นการให้ก๊าซที่ไม่ถูกดูดซับ ไล่สาร VOCs โดย อาศัยหลักของการ ลด Partial Pressure ของสาร VOCs เนื่องจากก๊าซดังกล่าว

สำหรับในการศึกษานี้ เราจะสนใจพิจารณาเฉพาะการ Regeneration ด้วยความร้อนจากไอน้ำ ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการ Regeneration ค่อนข้างสูง และสะดวกในการเดินเครื่อง

ข้อควรพิจารณาสำหรับการ Regeneration มีดังนี้

1. ระยะเวลาในการ Regeneration ควรจะสั้นเท่าที่ทำได้ ถ้าหากเดินเครื่องส่วน Adsorption และ Regeneration เป็นแบบต่อเนื่องแล้ว ต้องติดตั้งอุปกรณ์หลายชุด
2. ถ้าระยะเวลาในการ Regeneration สั้นเกินไปจะต้องใช้ไอน้ำเป็นจำนวนมาก และเป็น การเพิ่ม Heat Duty ที่ Condenser ด้วย
3. ขณะทำการ Regeneration ควรจัดให้ทิศทางการไหลของไอน้ำสวนทางกับทิศทางการ ไหลของอากาศ (ในขณะ Adsorption) เพื่อลดการสะสมของสาร VOCs บางตัวที่สามารถ polymerize ได้
4. ขณะทำการ Regeneration ควรกำจัดก๊าซเฉื่อย (ในที่นี้ก็คืออากาศ) เพื่อเพิ่มประสิทธิ ภาพในการถ่ายเทความร้อน
5. ปริมาณความร้อนส่วนใหญ่จากไอน้ำจะถูกใช้ในการทำให้ Adsorbent (Activated Carbon ที่อิ่มตัวด้วย VOCs) และ Adsorber ร้อนขึ้น ซึ่งไอน้ำจะควบแน่นอย่างรวดเร็วใน Bed ดังนั้นไอน้ำที่ใช้ควรเป็น Super Heated Steam เล็กน้อย เนื่องจากสามารถควบแน่นได้ง่าย
6. ควรใช้ Activated Carbon ที่มีค่า Retention (ความสามารถในการดูดซับ) ต่ำ เพื่อจะ ได้ทำการ Regeneration ได้ง่าย

ขณะทำการ Regeneration โดยใช้ไอน้ำจะมีการควบแน่นและดูดซับเกิดขึ้นใน Bed ทำให้ ความชื้นใน Bed สูง นอกจากนี้แล้ว VOCs บางส่วนไม่สามารถที่จะออกมาจาก Activated Carbon ได้ หมด ส่วนที่เหลือดังกล่าวเรียกว่า "Heel" เพื่อมิให้ประสิทธิภาพในการ Adsorption (ภายหลัง steaming) ลดลง จะต้องทำการลดอุณหภูมิและไล่ความชื้นออกจาก Bed อย่างไรก็ตามถ้าความเข้มข้น ของ VOCs ค่อนข้างสูง การมีความชื้นบ้างใน Bed จะช่วยลดอุณหภูมิ (ขณะที่มีการ Adsorption) ของ Bed มิให้สูงเกินไปซึ่งจะไปลดประสิทธิภาพในการดูดซับ

4.4 ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกชนิด, ขนาดของ Adsorbent (ในที่นี้คือ Activated Carbon)
2. กำหนด Cycle Time, คำนวณระยะเวลาในการ Regeneration แล้วให้ระยะเวลาใน การ Adsorption มีค่าเท่ากับระยะเวลาในการ Regeneration ดังนั้น Cycle time จะมีค่าเป็น 2 เท่าของ Regeneration Time โดยทั่วไปแล้ว ควรให้ Regeneration Time น้อยที่สุด
3. กำหนดความเร็วของอากาศ โดยทั่วไปควรมีค่าระหว่าง 80-100 fpm.
4. กำหนดอัตราส่วนของ Steam / Solvent (VOCs)
5. คำนวณค่า WC (Working Capacity) จาก

$$WC = (f) (CAP)$$

$$CAP = \text{ความสามารถดูดซับสาร VOCs ของ Activated Carbon ที่ Equilibrium}$$

$$f = \text{ค่าสัดส่วนระหว่าง 0-1}$$

6. คำนวณปริมาณ VOCs ที่ถูก Adsorp ภายในระยะเวลา $\frac{1}{2}$ ของ Cycle time (Ms)

7. คำนวณปริมาณ Activated Carbon ที่ต้องใช้ (M_{AC})

$$M_{AC} = M_s / WC$$

8. คำนวณปริมาตร ของ Bed (V_{AC})

$$V_{AC} = M_{AC} / \rho_B$$

$$\rho_B = \text{Bulk Density ของ Activated Carbon}$$

9. คำนวณ Surface Area ของ Bed (A_{AC})

$$A_{AC} = Q / V_{ac}$$

$$Q = \text{Air Flowrate}$$

10. คำนวณความสูงของ Bed (H)

$$H = V_{AC} / A_{AC}$$

11. กำหนด L/D Ratio

12. คำนวณค่า L/D จาก $A = LD$ โดยมีเงื่อนไข

$$3 < L/D < 4 \quad \text{เมื่อ} \quad \text{ความเร็วของอากาศ} < 30 \text{ fpm.}$$

$$L < 30, D < 10 \text{ ft}$$

13. ออกแบบ structure ของระบบโดยคิดว่าระบบเป็นน้ำไหล

14. ถ้าอัตราการไหล $Q < 2,500 \text{ acfm}$ ออกแบบเป็น Vertical Column

บทที่ 5

ผลการศึกษาความเป็นไปได้จากโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ

5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ

โรงงานที่เข้าร่วมโครงการเป็นโรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์จากพีวีซีเรซิน โดยรายละเอียดของโรงงานทั้งสองมีดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ

รายละเอียด	โรงงาน ก	โรงงาน ข
1. สถานที่ตั้ง	กิ่งอำเภอนิคมนพัฒนา จังหวัดระยอง	ตำบลบ้านเกาะ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร
2. ประเภทผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์แปรรูปจาก พีวีซี เช่น Sheet ใส, ผ้าพลาสติก, หนัง เทียม, ฯลฯ	ผลิตภัณฑ์แปรรูปจาก พีวีซี เช่น Sheet ใส, เสื่อน้ำมัน, ผ้า พลาสติก, หนังเทียม, ฯลฯ
3. ปริมาณผลิตภัณฑ์		เสื่อน้ำมัน 14,752 ตันต่อปี ผ้าปูโต๊ะ 844 ตันต่อปี เสื่อโฟม 470 ตันต่อปี
4. จำนวนเครื่องเคลือบ/เครื่อง พิมพ์	เครื่องพิมพ์สี 2 เครื่อง เครื่องเคลือบหนังเทียม 1 เครื่อง	เครื่องพิมพ์สี 7 เครื่อง
5. ตัวทำละลายที่ซื้อ	โทลูอิน 55 ตันต่อปี MEK 66 ตันต่อปี ไซโคลเฮกซะโนน 24 ตันต่อปี	โทลูอิน 140 ตันต่อปี MEK 140 ตันต่อปี ไซโคลเฮกซะโนน 5.5 ตันต่อปี บิวทิล อะซิเตท 4 ตันต่อปี
6. มูลค่าของตัวทำละลายที่ซื้อ	5.15 ล้านบาทต่อปี	9.36 ล้านบาทต่อปี
7. ลักษณะของสีที่ใช้ และ ปริมาณการใช้	สีที่ใช้เป็นของแข็ง เมื่อนำมาใช้ จะผสมกับตัวทำละลาย โดยมี ปริมาณการใช้เฉลี่ย 3,700 กิโลกรัมต่อปี	สีที่ใช้เป็นของเหลว มีปริมาณ ของแข็ง 15% โดยมีปริมาณการ ใช้เฉลี่ย 370 ตันต่อปี

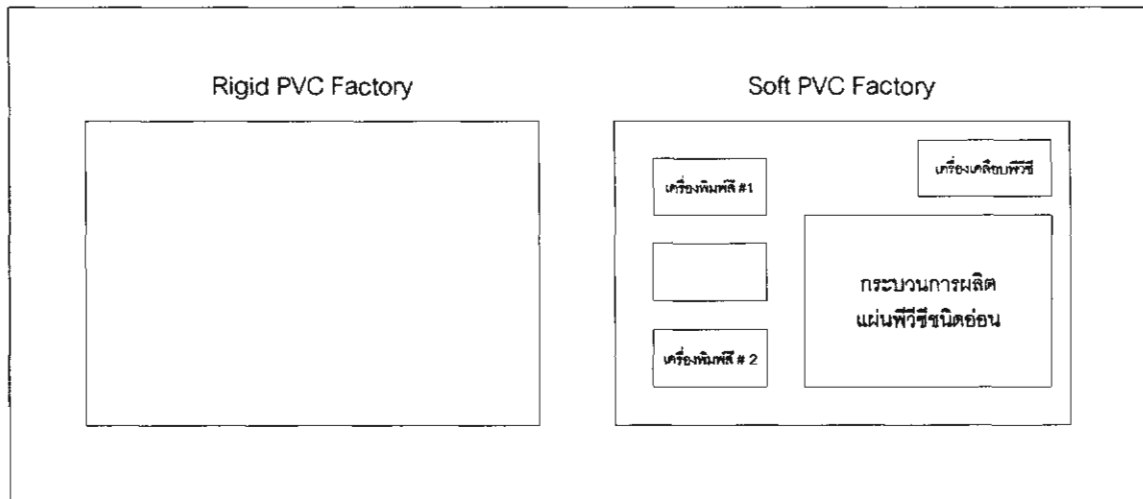
ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ (ต่อ)

รายละเอียด	โรงงาน ก	โรงงาน ข*
8. การกำจัดของเสียทางอากาศ	➢ ระบายอากาศโดยใช้พัดลมดูดอากาศออกด้านล่างของเครื่องเคลือบ/เครื่องพิมพ์ และระบายออกทางปล่องออกสู่ด้านนอกอาคารผลิต ด้านบนของอาคารไม่มีช่องระบายอากาศ ➢ ยังไม่มีระบบเก็บกลับคืน	➢ ระบายอากาศโดยใช้พัดลมดูดอากาศออกด้านบนของเครื่องเคลือบ/เครื่องพิมพ์ และระบายออกสู่ด้านนอกอาคารผลิต ➢ ยังไม่มีระบบเก็บกลับคืน
9. การกำจัดของเสียจำพวกสีและแล็กเกอร์	➢ ใช้วิธีนำสี/แล็กเกอร์กลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ➢ ส่งให้บริษัทที่รับกำจัดของเสียเป็นครั้งคราว	➢ ใช้วิธีนำสี/แล็กเกอร์กลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ➢ ไม่มีการส่งของเสียให้บริษัทที่รับกำจัดของเสีย
10. การทำงานในแต่ละกะ	2 กะต่อวัน วันละ 18 ชั่วโมง	2 กะต่อวัน วันละ 20 ชั่วโมง

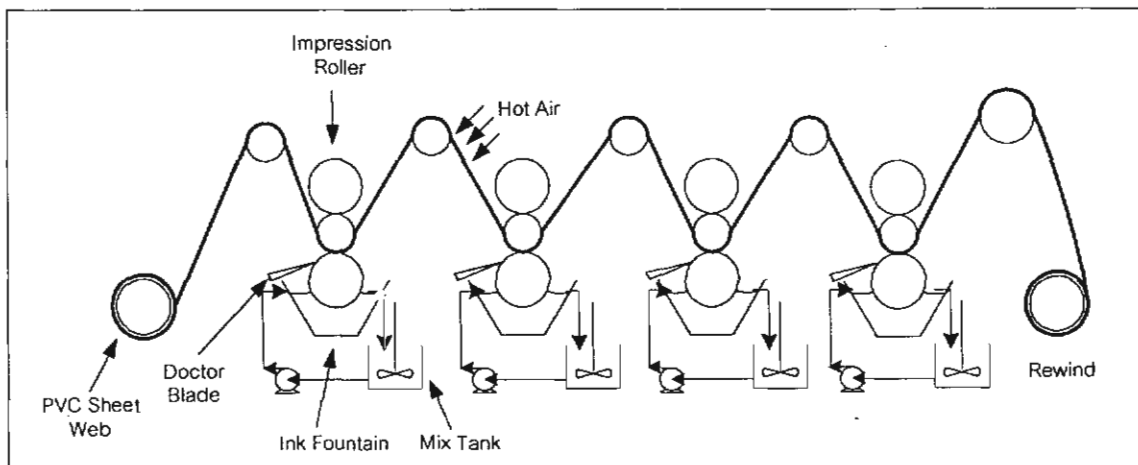
หมายเหตุ : - ข้อมูลในข้อ 3, 5, 6 และ 7 ของโรงงาน ข เป็นข้อมูลที่ได้จากเครื่องพิมพ์สีจำนวน 2 เครื่อง
 - มูลค่าของตัวทำละลายคิดที่ โทลูอิน 19 บาทต่อกิโลกรัม MEK 45 บาทต่อกิโลกรัม ไสโคลเฮกซะโนน 47 บาทต่อกิโลกรัม และ บิวทิล อะซิเตท 35 บาทต่อกิโลกรัม

โรงงานที่เข้าร่วมโครงการทั้งสองโรงงานเป็นโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากพีวีซีเรซิน กระบวนการที่มีการใช้ตัวทำละลาย ได้แก่ กระบวนการพิมพ์สี กระบวนการเคลือบหนังเทียม และการล้างอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl Ethyl Ketone, MEK) โทลูอิน (Toluene) ไสโคลเฮกซะโนน (Cyclohexanone) และ บิวทิลอะซิเตท (Butyl Acetate).

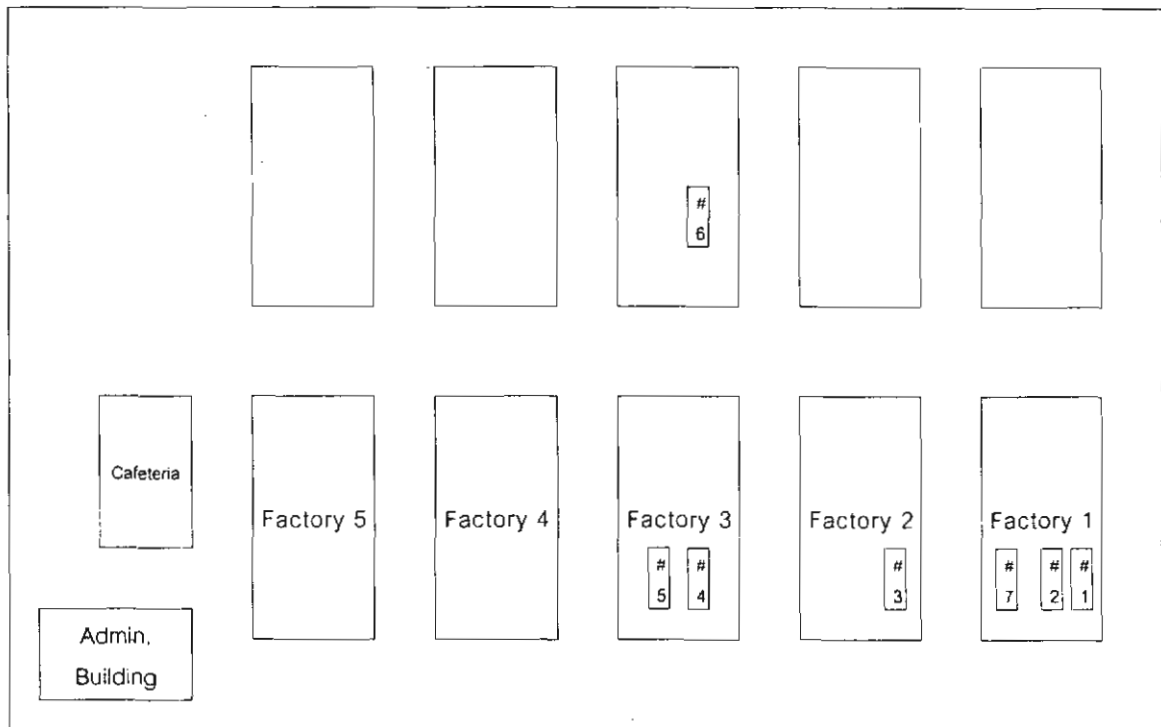
ในกระบวนการพิมพ์สี การพิมพ์เป็นระบบกราเวียร์ (Gravure Printing) ดังแสดงในรูปที่ 5.2 และ 5.4 แผ่นพีวีซีจะถูกป้อนเข้าเครื่องพิมพ์โดยใช้ลูกกลิ้งดึง เมื่อแผ่นพีวีซีผ่านเข้าไปบนลูกกลิ้งซึ่งมีลวดลายสลักอยู่ หมึกพิมพ์และลวดลายต่างๆ จะพิมพ์ติดลงบนเนื้อพีวีซีโดยใช้แรงกดจากลูกกลิ้ง เมื่อลูกกลิ้งหมุน หมึกพิมพ์จะถูกดึงขึ้นมาบางส่วนติดอยู่ในร่องของลาย บางส่วนติดอยู่ที่ผิวของลูกกลิ้ง สีส่วนเกินที่ติดอยู่บนลูกกลิ้งจะถูกปาดออกด้วย Doctor Blade หลังจากนั้นลวดลายก็就会被พิมพ์ลงบนชิ้นงานด้วยแรงกดจากลูกกลิ้ง หลังจากนั้นแผ่นพีวีซีจะถูกเป่าให้แห้งด้วยลมร้อนและผ่านเข้าลูกกลิ้งชุดต่อไปเพื่อพิมพ์สีและลวดลายแบบอื่น จำนวนครั้งที่พิมพ์จะขึ้นอยู่กับชนิดของลวดลายและจำนวนสีที่ใช้ของลายนั้นๆ โดยทั่วไป จำนวนชุดลูกกลิ้งที่ใช้จะมีประมาณ 3-4 ชุด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการพิมพ์ สีที่ใช้แล้วจะถูกเก็บในภาชนะปิดเพื่อรอการนำกลับมาใช้ใหม่ในการพิมพ์ครั้งต่อไป



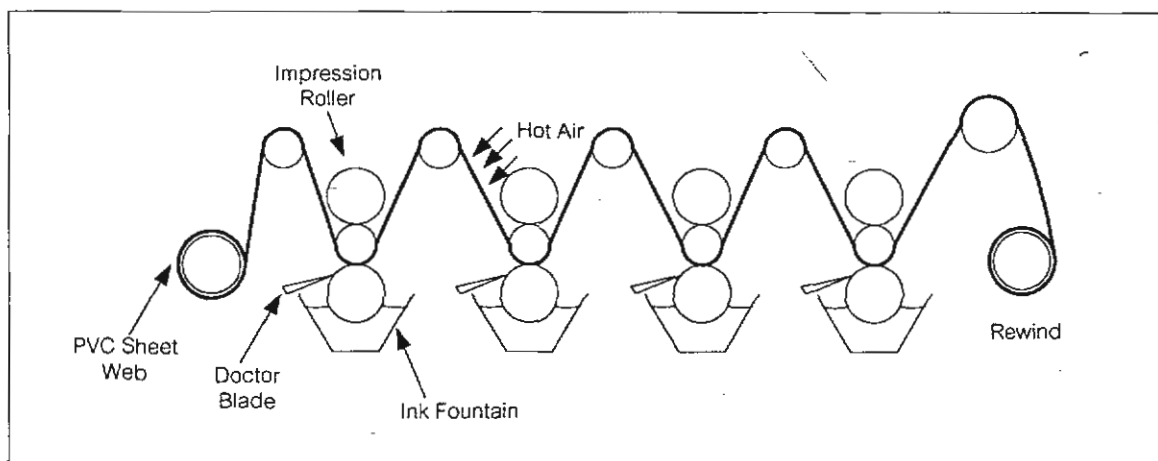
รูปที่ 5.1 แผนผังโดยสังเขปของโรงงาน ก



รูปที่ 5.2 แผนผังโดยสังเขปของกระบวนการพิมพ์สีของโรงงาน ก



รูปที่ 5.3 แผนผังของโรงงาน ข โดยสังเขป (#1, #2,..., #7 หมายถึง เครื่องพิมพ์สีหมายเลข 1, 2,..., 7 ตามลำดับ



รูปที่ 5.4 แผนผังโดยสังเขปของกระบวนการพิมพ์สีของโรงงาน ข

การสูญเสียตัวทำละลายที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการพิมพ์สี จะเกิดขึ้นขณะที่แผ่นพีวีซีที่ผ่านกระบวนการพิมพ์ถูกทำให้แห้งก่อนเข้ากระบวนการพิมพ์สีที่ลูกกลิ้งชุดถัดไป ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าตัวทำละลายที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการพิมพ์สีถูกระเหยออกทั้งหมด โดยส่วนที่ยังคงติดอยู่ในแผ่นพีวีซี คือ เรซินและเนื้อหมึกพิมพ์

ในกระบวนการเคลือบหนังเทียม วัสดุที่ใช้เคลือบจะเป็นตัวทำละลาย แล็กเกอร์ น้ำมันเคลือบเงา กระบวนการเคลือบที่ใช้ก็จะเป็นการเคลือบโดยใช้ลูกกลิ้ง หลังจากนั้น แผ่นพีวีซีจะถูกเป่าให้แห้งด้วยลมร้อน เช่นเดียวกับกระบวนการพิมพ์สี ตัวทำละลายสูญเสียไปจากขั้นตอนการเป่าแห้ง

นอกเหนือจากการสูญเสียตัวทำละลายจากการเป่าแห้งในกระบวนการพิมพ์สีและกระบวนการเคลือบหนังเทียมแล้ว ตัวทำละลายยังสูญเสียในขั้นตอนการล้างต่างๆ เช่น การล้างลูกกลิ้ง และการล้างภาชนะบรรจุต่างๆ จากการสำรวจโรงงานที่เข้าร่วมโครงการทั้งสอง พบว่า ตัวทำละลายที่ใช้ล้างจะถูกนำไปใช้ใหม่ด้วยการผสมลงไปในสีหรือตัวเคลือบเช่นเดียวกับในกระบวนการเคลือบ/พิมพ์ ซึ่งในที่สุด จะถูกระเหยออกในขั้นตอนการเป่าแห้งเช่นเดียวกัน

5.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้

5.2.1 โรงงาน ก

5.2.1.1 ข้อมูลปริมาณการใช้ตัวทำละลาย

ข้อมูลอากาศ

จากการสำรวจโรงงาน ก พบว่า ไม่สามารถเก็บตัวอย่างอากาศได้ เนื่องจากโรงงานมีเพียงพัดลมดูดอากาศออกทางด้านล่าง ไม่มี Hood ดูดอากาศ ดังนั้น ถ้ามีการเก็บตัวอย่างอากาศ ตัวอย่างจะไม่สามารถแสดงค่าความเข้มข้นของตัวทำละลายที่แท้จริงได้ เนื่องจากมีการสูญเสียออกจากกระบวนการผลิตทางอื่น ดังนั้นในการออกแบบหน่วยเก็บกลับคืนจึงใช้ข้อมูลปริมาณการใช้เฉลี่ยรายปีแทน

ข้อมูลตัวทำละลาย

เนื่องจากโรงงานใช้สีที่เป็นของแข็งผสมกับตัวทำละลาย ดังนั้นตัวทำละลายที่ระเหยออกจากกระบวนการผลิตจึงมาจากตัวทำละลายที่โรงงานซื้อมาผสมกับสีเพียงอย่างเดียว ตัวทำละลายที่ซื้อได้แก่

- > โทลูอิน 55 ตันต่อปี
- > MEK 66 ตันต่อปี
- > ไซโคลเฮกซะโนน 24 ตันต่อปี

จากข้อมูลการใช้ตัวทำละลายของโรงงานต่อปี สามารถนำมาคำนวณอัตราการใช้ตัวทำละลายในการเคลือบ/พิมพ์ (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) ดังนี้

- > อัตราการใช้ตัวทำละลายในการเคลือบ (เฉลี่ย) = 26.89 ก.ก./ช.ม.
- > อัตราการใช้โทลูอินในการเคลือบ (เฉลี่ย) = 10.22 ก.ก./ช.ม.
- > อัตราการใช้ MEK ในการเคลือบ (เฉลี่ย) = 12.22 ก.ก./ช.ม.
- > อัตราการใช้ไซโคลเฮกซะโนนในการเคลือบ (เฉลี่ย) = 4.44 ก.ก./ช.ม.

5.2.1.2 การออกแบบกระบวนการเก็บกลับคืน

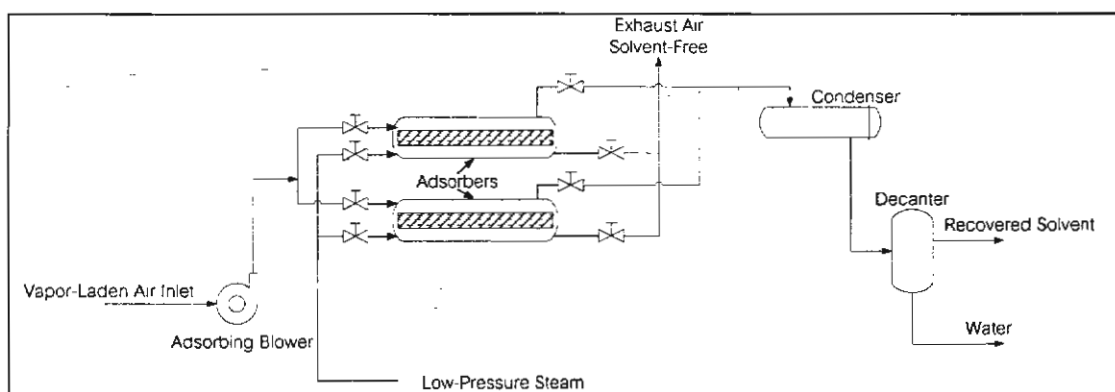
ข้อมูลเบื้องต้น

- ก. ประเภทของอากาศ: อากาศที่มีไอของตัวทำละลายประเภทสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย
 - ข. ต้นกำเนิดของอากาศ: เครื่องพิมพ์แผ่นพีวีซี และ เครื่องเคลือบหนังเทียม
 - ค. พารามิเตอร์ในอากาศ: ไอของโทลูอีน, ไอของ MEK, ไอของไซโคลเฮกซะโนน
 - ง. ความเข้มข้นรวมของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่ใช้ในการออกแบบ 2,500 พีพีเอ็ม
 - จ. การดำเนินงานของระบบเก็บกลับคืนเป็นแบบกะ
 - ฉ. ช่วงเวลาดำเนินงานในกะ
 - เวลาในการดูดซับด้วย Activated Carbon 1 ชั่วโมง
 - เวลาในการ Regenerate 0.50 ชั่วโมง
 - ช. จำนวนชุดของหอดูดซับ 2 ชุด
- ทำงานสลับกัน กล่าวคือ หอหนึ่งทำการดูดซับ อีกหอหนึ่งทำการ Regenerate

รายละเอียดการการออกแบบระบบ Adsorption และ Distillation แสดงในภาคผนวก ค

5.2.1.3 ส่วนประกอบในการสร้างระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย

1. ระบบดูดซับด้วย ACTIVATED CARBON
2. ระบบน้ำหล่อเย็น
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4. ระบบพัดลมดูดไอตัวทำละลายและอากาศ
5. ระบบไฟฟ้า
6. ระบบท่อ/วาล์วและอุปกรณ์ในท่อ
7. การปรับปรุง HOOD ส่วนบนเครื่องเคลือบเพื่อรวบรวมไอตัวทำละลาย
8. ระบบฐานรากและพื้น



รูปที่ 5.5 ส่วนประกอบของระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย

5.2.1.4 การประเมินราคา

ตารางที่ 5.2 ขนาดของอุปกรณ์และราคาประเมินระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก

รายการ	ขนาด		จำนวน		ราคาต่อ หน่วย	ราคารวม
					(บาท/หน่วย)	(บาท)
ADSORPTION TANK 1(horizontal)	1.1 x 3.2	m(Dia) x m	1	set	280,000	280,000
ADSORPTION TANK 2 (horizontal)	1.1 x 3.2	m(Dia) x m	1	set	280,000	280,000
ACTIVATED CARBON	4-6	mesh	1,080	kg	70	75,600
COOLING TOWER	21,500	kcal/h	1	set	25,000	25,000
C.T. PUMP 1	10.0	cu.m/h	1	set	25,000	25,000
C.T. PUMP 2	10.0	cu.m/h	1	set	25,000	25,000
WATER SUPPLY UNIT	0.15	cu.m/h	1	set	4,000	4,000
AIR COMPRESSOR	100	l/h	1	set	15,000	15,000
BLOWER 1(adsorption)	8,000	cu.m/h	1	set	150,000	150,000
BLOWER 2(drying adsorber)	2,000	cu.m/h	1	set	50,000	50,000
HEAT EXCHANGER 1(condensation)	21,500	kcal/h	1	set	120,000	120,000
HEAT EXCHANGER 2 (evaporation)	21,500	kcal/h	1	set	120,000	120,000
PLATFORM	9	sq.m.	1	set	60,000	60,000
AIR FILTER 1	8,000	cu.m/h	1	set	25,000	25,000
AIR FILTER 2	2,000	cu.m/h	1	set	20,000	20,000
L/G SEPARATOR(H.E.)			1	set	5,000	5,000
L/G SEPARATOR(T1)			1	set	10,000	10,000
L/G SEPARATOR(T2)			1	set	10,000	10,000
GAS BLOCK TANK			1	set	3,000	3,000
S/W SEPN TANK			1	set	10,000	10,000
DEMISTER			1	set	3,000	3,000
SOLVENT METER	100	l/h	1	set	35,000	35,000
SOLVENT HOLDING TANK	1.0	cu.m.	1	set	50,000	50,000
VAPOR COLLECTING HOODS (3 Sets)	18	sq.m.	3	set	150,000	450,000
MEASURING INSTR.			1	set	30,000	30,000
CONTROL INSTR.(PLC)			1	set	150,000	120,000

ตารางที่ 5.2 ขนาดของอุปกรณ์และราคาประเมินระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก (ต่อ)

รายการ	ขนาด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคารวม
			(บาท/หน่วย)	(บาท)
ELECTRICAL SYSTEM		1 set	350,000	350,000
AUTO. VALVE		1 set	400,000	400,000
MANUAL VALVE		1 set	40,000	40,000
PIPING & SUPPORT(OUTSIDE)		1 set	150,000	150,000
PIPING & SUPPORT(INSIDE)		1 set	300,000	300,000
SUB TOTAL 1				3,240,600
CONTINGENCY(10 %)				324,060
SUB TOTAL 2				3,564,660
CONSULTING FEE				800,000
TOTAL				4,364,660

5.2.1.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ก. เงินลงทุน

ค่าลงทุนรวม 4,365,000 บาท

ข. ค่าใช้จ่ายดำเนินการ

ตารางที่ 5.3 ค่าใช้จ่ายดำเนินการของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก

รายการ	ขนาด	อัตรา	เวลา	ปริมาณ	ค่าไฟฟ้า	ค่า	ค่าใช้จ่าย
	มอเตอร์	ใช้ไฟฟ้า	ใช้ไฟฟ้า	การใช้		DEMAND	รวม
	(kw)	(kw)	(ชม./วัน)	(หน่วย/ปี)	(บาท)	(บาท)	(บาท/ปี)
ค่าไฟฟ้า							78,803
- COOLING TOWER	0.5	0.4	20.0	2,400	2,448	845	3,293
- C.T. PUMP 1	1.5	1.2	20.0	7,200	7,344	2,534	9,878
- C.T. PUMP 2	1.5	1.2	20.0	7,200	7,344	2,534	9,878
- WATER SUPPLY PUMP	0.2	0.2	4.0	192	196	338	534
- BLOWER 1	7.5	6.0	20.0	36,000	36,720	12,672	49,392
- BLOWER 2	2.0	1.6	5.0	2,400	2,448	3,379	5,827

ตารางที่ 5.3 ค่าใช้จ่ายดำเนินการของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก (ต่อ)

			หน่วย	จำนวน	อัตรา		ค่าใช้จ่าย
			นับ	(หน่วย)	(บาท/หน่วย)		(บาท/ปี)
ค่าน้ำมันเตา							
- ใช้น้ำ(Regenerate)	-	-	ก.ก.	257,114	0.70		179,980
ค่าน้ำประปา							
- ใช้น้ำ	-	-	ลบ.ม.	257	5.00		1,286
- COOLING TOWER	-	-	ลบ.ม.	39	5.00		194
ค่าบำรุงรักษา	-	-	-	-	-		109,950
ค่าแรงพนักงาน	-	-	-	-	-		168,000
รวม							538,212

ค. การคำนวณกระแสเงินสด

ตารางที่ 5.4 การคำนวณกระแสเงินสดของระบบกับกลับคืนตัวทำละลายโรงงาน ก

รายการ	ปีที่1 (บาท)	ปีที่2 (บาท)	ปีที่3 (บาท)	ปีที่4 (บาท)	ปีที่5 (บาท)	ปีที่6 (บาท)	ปีที่7 (บาท)	ปีที่8 (บาท)	ปีที่9 (บาท)	ปีที่10 (บาท)
- ค่า SOLVENT ที่ประหยัดได้	4,374,780	4,374,780	4,374,780	4,374,780	4,374,780	4,374,780	4,374,780	4,374,780	4,374,780	4,374,780
- ค่าใช้จ่ายดำเนินการ	538,212	538,212	538,212	538,212	613,812	588,212	588,212	588,212	588,212	588,212
- เงินที่ประหยัดได้	3,836,568	3,836,568	3,836,568	3,836,568	3,760,968	3,786,568	3,786,568	3,786,568	3,786,568	3,786,568
- ค่าเสื่อมราคา	873,000	873,000	873,000	873,000	873,000	0	0	0	0	0
- รายได้ส่วนที่เพิ่มขึ้น	2,963,568	2,963,568	2,963,568	2,963,568	2,887,968	3,786,568	3,786,568	3,786,568	3,786,568	3,786,568
ก่อนหักภาษี										
- ภาษี (30%)	889,070	889,070	889,070	889,070	866,390	1,135,970	1,135,970	1,135,970	1,135,970	1,135,970
- รายได้ส่วนที่เพิ่มขึ้น	2,074,498	2,074,498	2,074,498	2,074,498	2,021,578	2,650,598	2,650,598	2,650,598	2,650,598	2,650,598
หลังหักภาษี										
- กระแสเงินสดสุทธิ	2,947,498	2,947,498	2,947,498	2,947,498	2,894,578	2,650,598	2,650,598	2,650,598	2,650,598	2,650,598
(บวกกลับค่าเสื่อมราคา)										

หมายเหตุ: 1) ค่าใช้จ่ายดำเนินการในปีที่ 6-10 มีจำนวนมากกว่าในปีแรกๆ เนื่องจากค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น
2) ปลายปีที่ 5 มีการเปลี่ยน Activated Carbon ใหม่เนื่องจากการเสื่อมสภาพหลังจากที่ใช้เป็นเวลานาน

ง. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned}
 \text{กระแสเงินสดสุทธิ} &= \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \\
 &= \frac{4,365,000}{2,947,498} \\
 &= 1.5 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

จ. ผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return - IRR)

จากการคำนวณ ค่าผลการตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 66.56 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดของกระแสเงินสดสุทธิต่อปีที่ปีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return – IRR) ของโรงงาน ก

ปีที่	กระแสเงินสดสุทธิต่อปี (บาท)	อัตราดอกเบี้ย (%)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)
0	-4,365,000	66.56	-4,365,000
1	2,947,498	66.56	1,769,602
2	2,947,498	66.56	1,062,424
3	2,947,498	66.56	637,852
4	2,947,498	66.56	382,950
5	2,894,578	66.56	225,785
6	2,650,598	66.56	124,130
7	2,650,598	66.56	74,524
8	2,650,598	66.56	44,743
9	2,650,598	66.56	26,862
10	2,650,598	66.56	16,127
NPV			0

5.2.2 โรงงาน ข

5.2.2.1 ข้อมูลปริมาณการใช้ตัวทำละลาย

ข้อมูลอากาศ

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| ➢ วันที่เก็บตัวอย่าง | 22 กันยายน 2543 |
| ➢ สถานที่เก็บตัวอย่าง | เครื่องพิมพ์สี 1 |
| ➢ อุณหภูมิอากาศในปล่อง | 29°C |
| ➢ อุณหภูมิบรรยากาศ | 30°C |
| ➢ ความดันในปล่อง | 759 มิลลิเมตรปรอท |
| ➢ ความเร็วอากาศ | 3.39 เมตรต่อวินาที |
| ➢ วิธีการจัดเก็บ | EPA Method 18 |
| ➢ วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง | Gas Chromatography (Frame Ionization) |

ความเข้มข้นของ VOCs ที่ได้จากการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 5.6 จากผลของการตรวจวัดพบว่าค่าความเข้มข้นที่ได้มีความแปรผันมาก ถึงแม้ว่าจะควบคุมวิธีการจัดเก็บและวิเคราะห์ตามมาตรฐาน สาเหตุที่ค่าความเข้มข้นมีความผันแปรเนื่องจาก

1.) ระบบดูดอากาศไม่ดีพอ (พิจารณาจุดแสดงใน ภาคผนวก ข)

- พัดลมดูดอากาศเป็นชนิด Axial Flow ไม่เหมาะสำหรับการดูดอากาศ เนื่องจากพัดลมชนิดนี้ดูดลมได้ความเร็วสูงแต่ไม่สามารถทำให้เกิด Head ที่มากพอที่จะดูดอากาศได้
- พัดลมดูดอากาศเป็นชนิด Axial Flow จำนวน 2 ชุดที่ด้านต้นและด้านปลายของปล่องระบายอากาศ ถึงแม้ว่าในขณะที่จัดเก็บตัวอย่างได้ปิดพัดลมที่ด้านปลายเพื่อลดการไหลวนของอากาศแบบ Turbulent แต่กระแสอากาศก็อาจยังคงไหลวนอยู่เนื่องจากด้านปลายของปล่องระบายอากาศมีพัดลมดูดอากาศขวางอยู่ ทำให้อากาศที่ถูกดูดผ่านมาจากพัดลมดูดอากาศชุดแรกวิ่งไปปะทะกับใบพัดของพัดลมทำให้เกิดการไหลกลับป้อนกลับมา
- ปล่องระบายอากาศมีขนาดกว้างเกินไป

2.) พนักงานดูแลเครื่องพิมพ์เดินเข้าออกเครื่องพิมพ์ตลอดเวลาเพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเติมสีในกระเบบบรรจุสี การเดินของพนักงานก่อให้เกิดการพา VOCs ที่ระเหยขึ้นมาจากชิ้นงานและจากกระเบบบรรจุสี VOCs จำนวนหนึ่งจึงติดไปกับตัวพนักงานและไม่ถูกดูดขึ้นไปโดยระบบระบายอากาศ

ดังนั้น ในศึกษาความเป็นไปได้ของการเก็บกลับคืน VOCs นี้จะใช้ข้อมูลตัวทำละลายที่ใช้จริงในกระบวนการผลิตของโรงงาน ก

ตารางที่ 5.6 ความเข้มข้นของ VOCs ที่เก็บได้จากปล่องดูดอากาศเครื่องพิมพ์ 1 และ 2 ของโรงงาน ข เมื่อวันที่ 22 กันยายน 2543

ชนิดของ VOCs	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าเฉลี่ย (พีพีเอ็ม)
MEK	1.36-11.81	7.28
โทลูอิน	18.43-58.35	40.22
ไซโคลเฮกซะโนน	2.86-61.59	22.54

ข้อมูลตัวทำละลาย

เนื่องจากโรงงานนี้ใช้สีที่เป็นของเหลวผสมกับตัวทำละลาย ดังนั้นตัวทำละลายที่ระเหยออกจากกระบวนการผลิตจึงมาจาก (1) ตัวทำละลายที่ผสมอยู่ในสีที่ซื้อมา (2) ตัวทำละลายที่เติมเพิ่มเข้าไปจากการเก็บตัวอย่าง องค์ประกอบในสีของโรงงาน ข แสดงดังตารางที่ 5.7 จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของตัวทำละลายที่เติมเข้าไปและที่ซื้อมาในตารางที่ 5.7 และข้อมูลปริมาณการซื้อตัวทำละลายเฉลี่ยต่อปีของโรงงาน ข (ตารางที่ 5.1 ข้อ 5) สามารถนำมาคำนวณปริมาณตัวทำละลายที่ระเหยออกจากกระบวนการผลิตทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.7 องค์ประกอบในสีของโรงงาน ข

องค์ประกอบในสี	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในสีที่ซื้อ ก่อนผสมตัวทำละลายเพิ่ม	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในสีที่ใช้พิมพ์ หลังจากผสมตัวทำละลายแล้ว
MEK	35.70%	44.36%
โทลูอิน	27.80%	41.88%
ตัวทำละลายชนิดอื่น	24.80%	7.80%
เรซิน	11.70%	5.96%
รวมตัวทำละลาย	88.30%	94.04%
รวม	100.00%	100.00%

ตารางที่ 5.8 ปริมาณของตัวทำละลายที่ระเหยออกจากกระบวนการผลิตของโรงงาน ข

ตัวทำละลาย	ปริมาณที่ซื้อ (ตันต่อปี)	ปริมาณที่มาจากสื้ที่ซื้อ (ตันต่อปี)	รวมปริมาณที่ระเหยออก จากกระบวนการผลิต (ตันต่อปี)
<u>เครื่องพิมพ์สี 1.2</u>			
MEK	140.0	50.0	190.0
โทลูอิน	140.0	40.0	180.0
ไซโคลเฮกซะโนน	5.5	36.0	41.5
บิวทิล อะซิเตท	4.0	-	4.0
รวม	289.5	126	415.5

5.2.2.2 การออกแบบกระบวนการเก็บกลับคืน

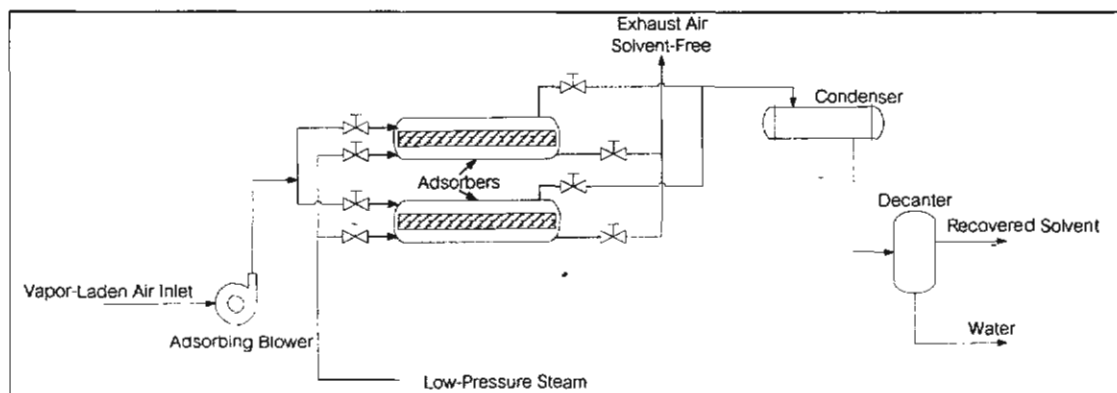
เนื่องจากโรงงาน ข ต้องการให้ออกแบบระบบเก็บกลับคืนสำหรับเครื่องพิมพ์สี 1 และ 2 เพราะเครื่องพิมพ์ 2 เครื่องนี้อยู่ใกล้กัน ดังนั้นในการออกแบบจึงนำข้อมูลเฉพาะ 2 เครื่องนี้มาออกแบบ ข้อมูลเบื้องต้น

- ก. ประเภทของอากาศ: อากาศที่มีไอของตัวทำละลายประเภทสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย
 - ข. ต้นกำเนิดของอากาศ: เครื่องพิมพ์สี 1 และ 2
 - ค. พารามิเตอร์ในอากาศ: ไอของโทลูอิน, ไอของ MEK, ไอของไซโคลเฮกซะโนน และ ไอของบิวทิล อะซิเตท
 - ง. ความเข้มข้นรวมของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่ใช้ในการออกแบบ 2,500 พีพีเอ็ม
 - จ. การดำเนินงานของระบบเก็บกลับคืนเป็นแบบกะ
 - ฉ. ช่วงเวลาดำเนินงานในกะ
 - เวลาในการดูดซับด้วย Activated Carbon 1 ชั่วโมง
 - เวลาในการ Regenerate 0.5 ชั่วโมง
 - ช. จำนวนชุดของหอดูดซับ 2 ชุด
- ทำงานสลับกัน กล่าวคือ หอหนึ่งทำการดูดซับ อีกหอหนึ่งทำการ Regenerate

รายละเอียดการออกแบบระบบ Adsorption และ Distillation แสดงในภาคผนวก ค

5.2.2.3 ส่วนประกอบในการสร้างระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย

1. ระบบดูดซับด้วย ACTIVATED CARBON
2. ระบบน้ำหล่อเย็น
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4. ระบบพัดลมดูดไอตัวทำละลายและอากาศ
5. ระบบกลั่นแยกตัวทำละลาย
6. ระบบไฟฟ้า
7. ระบบท่อ/วาล์วและอุปกรณ์ในท่อ
8. การปรับปรุง HOOD ส่วนบนเครื่องเคลือบเพื่อรวบรวมไอตัวทำละลาย
9. ระบบฐานรากและพื้น



รูปที่ 5.6 ส่วนประกอบของระบบการเก็บกลับตัวทำละลาย

5.2.2.4 การประเมินราคา

ตารางที่ 5.9 ขนาดของอุปกรณ์และราคาประเมินระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ข

รายการ	ขนาด		จำนวน		ราคาต่อหน่วย	ราคารวม
					(บาท/หน่วย)	(บาท)
ADSORPTION TANK 1(horizontal)	2.0 x 4.9	m(Dia) x m	1	set	550,000	550,000
ADSORPTION TANK 2 (horizontal)	2.0 x 4.9	m(Dia) x m	1	set	550,000	550,000
ACTIVATED CARBON	4-6	mesh	3,480	kg	70	243,600
COOLING TOWER	111,000	kcal/h	1	set	60,000	60,000
C.T. PUMP 1	40.0	cu.m/h	1	set	35,000	35,000
C.T. PUMP 2	40.0	cu.m/h	1	set	35,000	35,000
WATER SUPPLY UNIT	0.77	cu.m/h	1	set	6,000	6,000
AIR COMPRESSOR	300	l/h	1	set	25,000	25,000
BLOWER 1(adsorption)	20,700	cu.m/h	1	set	280,000	280,000
BLOWER 2(drying adsorber)	5,100	cu.m/h	1	set	110,000	110,000

ตารางที่ 5.9 ขนาดของอุปกรณ์และราคาประเมินระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ข (ต่อ)

รายการ	ขนาด		จำนวน		ราคาต่อหน่วย	ราคารวม
					(บาท/หน่วย)	(บาท)
HEAT EXCHANGER 1(condensation)	51,000	kcal/h	1	set	200,000	200,000
HEAT EXCHANGER 2 (evaporation)	51,000	kcal/h	1	set	200,000	200,000
PLATFORM	12	sq.m.	1	set	70,000	70,000
AIR FILTER 1	20,700	cu.m/h	1	set	25,000	25,000
AIR FILTER 2	5,100	cu.m/h	1	set	20,000	20,000
L/G SEPARATOR(H.E.)			1	set	5,000	5,000
L/G SEPARATOR(T1)			1	set	10,000	10,000
L/G SEPARATOR(T2)			1	set	10,000	10,000
GAS BLOCK TANK			1	set	3,000	3,000
S/W SEPN TANK			1	set	10,000	10,000
DEMISTER			1	set	3,000	3,000
SOLVENT METER	250	l/h	1	set	45,000	45,000
SOLVENT HOLDING TANK	2.5	cu.m.	1	set	120,000	120,000
VAPOR COLLECTING HOODS (3 Sets)	20	sq.m.	3	set	150,000	450,000
MEASURING INSTR.			1	set	30,000	30,000
CONTROL INSTR.(PLC)			1	set	120,000	120,000
ELECTRICAL SYSTEM			1	set	500,000	500,000
AUTO. VALVE			1	set	600,000	600,000
MANUAL VALVE			1	set	50,000	50,000
PIPING & SUPPORT(OUTSIDE)			1	set	200,000	200,000
PIPING & SUPPORT(INSIDE)			1	set	380,000	380,000
DISTILL.SYSTEM(&solvent storage tanks)	160	kg/h	1	set	900,000	900,000
SUB TOTAL 1						5,845,600
CONTINGENCY(10 %)						584,560
SUB TOTAL 2						6,430,160
CONSULTING FEE						1,200,000
TOTAL						7,630,160

5.2.2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ก. เงินลงทุน

ค่าลงทุนรวม 7,631,000 บาท

ข. ค่าใช้จ่ายดำเนินการ

ตารางที่ 5.10 ค่าใช้จ่ายดำเนินการของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ข

รายการ	ขนาด	อัตรา	เวลา	ปริมาณ	ค่าไฟฟ้า	ค่า	ค่าใช้จ่าย
	มอเตอร์	ใช้ไฟฟ้า	ใช้ไฟฟ้า	การใช้		DEMAND	รวม
	(kw)	(kw)	(ช.ม./วัน)	(หน่วย/ปี)	(บาท)	(บาท)	(บาท/ปี)
ค่าไฟฟ้า							301,224
- COOLING TOWER	1.0	0.8	22.0	5,280	5,386	1,690	7,075
- C.T. PUMP 1	3.5	2.8	22.0	18,480	18,850	5,914	24,763
- C.T. PUMP 2	3.5	2.8	22.0	18,480	18,850	5,914	24,763
- WATER SUPPLY PUMP	0.5	0.4	4.0	480	490	845	1,334
- BLOWER 1	30.0	24.0	22.0	158,400	161,568	50,688	212,256
- BLOWER 2	7.5	6.0	10.0	18,000	18,360	12,672	31,032
			หน่วย	จำนวน	อัตรา		ค่าใช้จ่าย
			นับ	(หน่วย)	(บาท/หน่วย)		(บาท/ปี)
ค่าน้ำมันเตา							
- ใช้น้ำ(Regenerate)	-	-	ก.ก.	806,686	0.70		564,680
- ใช้น้ำ(กลั่น)	-	-	ก.ก.	318,182	0.70		222,727
ค่าน้ำประปา							
- ใช้น้ำ	-	-	ลบ.ม.	1,125	5.00		5,624
- COOLING TOWER	-	-	ลบ.ม.	343	5.00		1,717
ค่าบำรุงรักษา	-	-	-	-	-		207,930
ค่าแรงพนักงาน	-	-	-	-	-		168,000
รวม							1,471,903

ค. การคำนวณกระแสเงินสด

ตารางที่ 5.11 การคำนวณกระแสเงินสดของระบบเก็บกลับดินตัวทำละลายโรงงาน ข

รายการ	ปีที่1 (บาท)	ปีที่2 (บาท)	ปีที่3 (บาท)	ปีที่4 (บาท)	ปีที่5 (บาท)	ปีที่6 (บาท)	ปีที่7 (บาท)	ปีที่8 (บาท)	ปีที่9 (บาท)	ปีที่10 (บาท)
- ค่า SOLVENT ที่ประหยัดได้	11,951,425	11,951,425	11,951,425	11,951,425	11,951,425	11,951,425	11,951,425	11,951,425	11,951,425	11,951,425
- ค่าใช้จ่ายดำเนินการ	1,471,903	1,471,903	1,471,903	1,471,903	1,715,503	1,521,903	1,521,903	1,521,903	1,521,903	1,521,903
- เงินที่ประหยัดได้	10,479,522	10,479,522	10,479,522	10,479,522	10,235,922	10,429,522	10,429,522	10,429,522	10,429,522	10,429,522
- ค่าเสื่อมราคา	1,526,200	1,526,200	1,526,200	1,526,200	1,526,200	0	0	0	0	0
- รายได้ส่วนที่เพิ่มขึ้น	8,953,322	8,953,322	8,953,322	8,953,322	8,709,722	10,429,522	10,429,522	10,429,522	10,429,522	10,429,522
ก่อนหักภาษี										
- ภาษี (30%)	2,685,997	2,685,997	2,685,997	2,685,997	2,612,917	3,128,857	3,128,857	3,128,857	3,128,857	3,128,857
- รายได้ส่วนที่เพิ่มขึ้น	6,267,325	6,267,325	6,267,325	6,267,325	6,096,805	7,300,665	7,300,665	7,300,665	7,300,665	7,300,665
หลังหักภาษี										
- กระแสเงินสดสุทธิ	7,793,525	7,793,525	7,793,525	7,793,525	7,623,005	7,300,665	7,300,665	7,300,665	7,300,665	7,300,665
(บวกกลับค่าเสื่อมราคา)										

หมายเหตุ : 1) ค่าใช้จ่ายดำเนินการในปีที่ 6-10 มีจำนวนมากกว่าในปีแรกๆ เนื่องจากค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น
2) ปลายปีที่ 5 มีการเปลี่ยน Activated Carbon ใหม่เนื่องจากการเสื่อมสภาพหลังจากที่ใช้เป็นเวลานาน

ง. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned}
 \text{กระแสเงินสดสุทธิ} &= \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \\
 &= \frac{7,631,000}{7,793,525} \\
 &= 0.98 \text{ ปี} \\
 &= 11.7 \text{ เดือน}
 \end{aligned}$$

จ. ผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return - IRR)

จากการคำนวณ ค่าผลการตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 101.78 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดของกระแสเงินสดสุทธิต่อปีที่ปีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return – IRR) ของโรงงาน ข

ปีที่	กระแสเงินสดสุทธิต่อปี	อัตราดอกเบี้ย	มูลค่าปัจจุบัน
	(บาท)	(%)	(บาท)
0	-7,631,000	101.78	-7,631,000
1	7,793,525	101.78	3,862,325
2	7,793,525	101.78	1,914,096
3	7,793,525	101.78	948,590
4	7,793,525	101.78	470,104
5	7,623,005	101.78	227,877
6	7,300,665	101.78	108,156
7	7,300,665	101.78	53,600
8	7,300,665	101.78	26,563
9	7,300,665	101.78	13,164
10	7,300,665	101.78	6,524
NPV			0

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

การศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศนี้ ได้ศึกษาโดยเน้นไปที่อุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าวัสดุและพิมพ์สี VOCs ที่นิยมใช้กันในกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ได้แก่ โทลูอีน เมทิล เอทิล คีโตน และไซโคลเฮกซะโนน เทคโนโลยีที่เลือกใช้คือ เทคโนโลยีการดูดซับโดยใช้ Activated Carbon ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเก็บกลับคืน VOCs ที่อยู่ในสถานะก๊าซ โดยสามารถเก็บกลับคืน VOCs ได้กว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 200-300 พีพีเอ็ม และที่ความเข้มข้นมากกว่า 1,000 พีพีเอ็ม สามารถเก็บกลับคืนได้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ในกระบวนการ Regeneration สามารถทำได้โดยใช้ไอน้ำ หรือ ระบบสุญญากาศ อายุการใช้งานของ Activated Carbon ประมาณ 3-5 ปี

จากการคาดการณ์ปริมาณการใช้ VOCs ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าวัสดุและพิมพ์สี เช่น อุตสาหกรรมผลิตสายพาน (V-Belt) อุตสาหกรรมผลิตเทปกาว อุตสาหกรรมตกแต่งแผ่นพีวีซี อุตสาหกรรมตกแต่งสิ่งทอ (ผ้าผืน) เป็นต้น พบว่ามีการใช้ VOCs เป็นจำนวนประมาณ 11.6 ล้านลิตรต่อปี (ประมาณ 9,500 ตันต่อปี) หรือคิดเป็นมูลค่า 192.4 ล้านบาทต่อปี VOCs เหล่านี้ถูกใช้ในกระบวนการเคลือบผิววัสดุ โดยผสมลงไปในสีหรือตัวเคลือบ เพื่อให้สีหรือสารที่ใช้เคลือบมีค่าความหนืดต่ำ ทำให้เคลือบผิวหน้าวัสดุได้ง่าย VOCs อีกจำนวนหนึ่งจะใช้ในขั้นตอนการล้างอุปกรณ์ต่างๆ โดยส่วนใหญ่แล้วอุตสาหกรรมเหล่านี้ยังไม่มีติดตั้งระบบเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้น VOCs จึงจะระเหยออกจากกระบวนการผลิต และถูกระบายออกสู่บรรยากาศในที่สุด

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการทั้ง 2 โรงงาน พบว่า โรงงาน ก มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 145.2 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 5.15 ล้านบาท โรงงาน ข มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 415.5 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 14.06 ล้านบาท (คิดเฉพาะเครื่องพิมพ์สี 2 เครื่อง จากจำนวนเครื่องพิมพ์สีทั้งหมด 7 เครื่อง) ทั้ง 2 โรงงานยังไม่มีระบบเก็บกลับคืน การติดตั้งระบบเก็บกลับคืนจะได้ประโยชน์อย่างมากทั้งในแง่การประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงงาน และในแง่ของสุขภาพพนักงานตลอดจนสภาพสิ่งแวดล้อมของชุมชน

จากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 2 โรงงาน พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งระบบเก็บกลับคืน เมื่อคิดประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนรวมเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ โรงงาน ก จะสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 123 ตันต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 4.37 ล้านบาท โดยราคาประเมินของอุปกรณ์และเครื่องมือของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก เท่ากับ 4.36 ล้านบาท มีค่า IRR ของการลงทุนเท่ากับ 66.56 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.5 ปี ส่วนโรงงาน ข จะสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 353.2 ตันต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 13.03 ล้านบาท ราคาประเมินของอุปกรณ์และเครื่องมือ

ของระบบเก็บกลับคืนของโรงงานเท่ากับ 7.6 ล้านบาท มีค่า IRR ของการลงทุนเท่ากับ 101.78 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 11.7 เดือน การที่โรงงาน ข มีค่า IRR สูงมากเนื่องจากโรงงาน ข ซื้อสีซึ่งเป็นของเหลวมาใช้ ในสีมีปริมาณตัวทำละลายจำนวนมากหนึ่ง ดังนั้น ตัวทำละลายที่เก็บกลับคืนได้จึงมีมากกว่าตัวทำละลายที่โรงงานซื้อ

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคจากการสำรวจข้อมูลโรงงานที่มีการใช้ VOCs

1. ข้อมูลโรงงานไม่ทันสมัย
2. ข้อมูลสำรวจการใช้สารเคมีในอุตสาหกรรมมีค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่เป็นการสำรวจจากองค์กรของภาครัฐ หรือ เอกชน ในหัวข้อที่เฉพาะเจาะจงสารเคมีบางชนิด หรือเป็นหัวข้อคุณภาพอากาศโดยทั่วไป แต่ยังไม่มีการสำรวจในภาพรวมของการใช้สารเคมีในโรงงานแต่ละประเภทอย่างชัดเจน

ปัญหาและอุปสรรคจากการหาโรงงานที่สนใจเข้าร่วมโครงการ

ในการสำรวจอุตสาหกรรมเพื่อหาโรงงานที่สนใจเข้าร่วมโครงการ พบว่าโรงงานส่วนใหญ่ไม่ให้ความร่วมมือการดำเนินงาน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. โรงงานส่วนใหญ่มีความเห็นว่า ยังไม่จำเป็นต้องดำเนินการลดผลกระทบจากมลภาวะทางอากาศอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย เนื่องจากยังไม่มีกฎหมายบังคับใช้
2. โรงงานที่มีปริมาณการใช้สารอินทรีย์ไม่มากพอ ไม่มีแรงจูงใจที่จะติดตั้งระบบเก็บกลับคืนเนื่องจากระบบมีราคาสูง
3. โรงงานยังไม่เชื่อมั่นในมหาวิทยาลัยฯ เนื่องจากมหาวิทยาลัยฯ ยังมีประสบการณ์ค่อนข้างน้อยในการออกแบบเชิงพาณิชย์ ถึงแม้ว่าจะมีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขา และมีงานวิจัยในเทคโนโลยีนี้ในระดับหนึ่ง

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. ภาครัฐควรมีหน่วยงานที่จัดทำฐานข้อมูลอุตสาหกรรมที่ทันสมัยและมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีในปัจจุบันของโรงงาน โดยอาจจัดทำในลักษณะแบบสอบถามให้แต่ละโรงงานกรอกข้อมูลในช่วงของการต่ออายุโรงงาน หรือการขออนุญาตตั้งโรงงาน
2. จากการสำรวจอุตสาหกรรมที่มีการใช้ตัวทำละลายในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในโรงงานที่มีกระบวนการพินท์สี หรือ เคลือบผิวหน้าวัสดุ พบว่า โดยส่วนใหญ่จะไม่มีระบบเก็บกลับคืน เนื่องจากผู้ประกอบการยังไม่มีแรงจูงใจมากพอที่จะติดตั้งระบบ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้ นอกเหนือจากการกระทบต่อผู้ทำงานในพื้นที่ที่มีการใช้ตัวทำละลายแล้ว ยังเป็นการสะสมปัญหาสิ่งแวดล้อมให้กับชุมชนในภาพรวม ดังนั้น มาตรการใด ๆ ที่ทางภาครัฐจะดำเนินการในอนาคต จึงควรมีทั้งการบังคับในแง่กฎหมาย ในขณะเดียวกันก็ต้องสร้างแรงจูงใจ หรือ ให้ความช่วยเหลือด้านการลงทุนกับผู้ประกอบการ

3. ในส่วนของมหาวิทยาลัยฯ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตบุคลากรและองค์ความรู้วิชา เห็นสมควรอย่างยิ่งที่ประเทศไทยควรที่จะพัฒนางานวิจัยและเทคโนโลยีต่างๆ ในประเทศ สำหรับเทคโนโลยีการเก็บกลับคืนนั้น เป็นเทคโนโลยีที่มีการค้นคว้าวิจัยมานานในต่างประเทศ ส่วนประเทศไทยมีการค้นคว้าวิจัยกระจัดกระจายอยู่ตามมหาวิทยาลัยต่างๆ แต่ก็มิได้ลงลึกลงไปทั้งในรายละเอียดต่างๆ และในส่วนของ การประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับมลภาวะทางอากาศ ดังนั้น มหาวิทยาลัยฯ จึงเห็นสมควรอย่างยิ่งที่ควรจะมีการรวบรวมงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยและองค์กรต่างๆ ที่มีงานวิจัยทาง ด้านนี้ โดยอาจจัดตั้งเป็นกลุ่มวิจัย (Consortium) ร่วมกับภาคเอกชน (บริษัทที่ปรึกษาและออกแบบ โรงงานที่จะนำเทคโนโลยีไปใช้) เพื่อพัฒนางานวิจัยและการประยุกต์ใช้ทางด้านนี้ให้แข็งแกร่งยิ่งขึ้น และ ยั่งยืนต่อไป

บรรณานุกรม

1. กรมควบคุมมลพิษ. "รายงานฉบับสมบูรณ์ การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล". กรมควบคุมมลพิษ,กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร. 2543.
2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. "รายงานการประกอบการวัดคุณภาพอากาศ พ.ศ. 2541". ศูนย์ข้อมูลวัดคุณภาพอากาศ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร. 2542.
3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. "รายงานการประกอบการวัดคุณภาพอากาศ พ.ศ. 2542". ศูนย์ข้อมูลวัดคุณภาพอากาศ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร. 2543.
4. Buonicore, A.J., Davis, W.T. "Air Pollution Engineering Manual". Van Nostrand Reinhold. NY. 1992
5. Cheremisinoff, N.P., Cheremisinoff, P.N. "Carbon Adsorption for Pollution Control". Prentice-Hall. New Jersey. 1993.
6. Cheremisinoff, P.N., Morresi, A.C. "Air Pollution Sampling & Analysis Deskbook". Ann Arbor Science Publishers. Michigan. 1978.
7. Cooper, H.B.H., Rossano, A.T. "Source Testing for Air Pollution Control". McGraw-Hill. NY. 1971.
8. Environmental Research and Training Center. "Final Report on VOCs and Aldehyde in Air". Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion. Pathumthani. 1999.
9. Environmental Research and Training Center. "Investigation of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Ambient Air at Industrial and Urban Area in Thailand". Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion. Pathumthani. 1999.
10. Higgins, T.E., "Pollution Prevention Handbook". CRC Press. Florida. 1995.
11. Johnson, L.D. "Methods 98: Status of Stationary Source Methods for Air Toxics". U.S. EPA. NC.
12. Mycock, J.C., McKenna J.D., Theodore, L. "Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology". CRC Press. NY. 1995.

13. Noll, K.E., Gounaris, V., Hou, W.S. "Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control". Lewis Publisher. Michigan. 1992.
14. Peavy, H.S., Rowe, D.R., Tchobanoglous, G. "Environmental Engineering". McGraw-Hill. NY. 1985.
15. Perry, R.H., Green, D., Maloney, J.M. "Perry's Chemical Engineers' Handbook". 6th Ed. McGraw-Hill. NY. 1984.
16. Thailand Environment Institute. "Study on Utilization and Management Situation of Volatile Organic Compounds in Thailand (Draft Report)". Thailand Environment Institute. Bangkok. 1998.
17. Theodore, L., Buonicore, A.J., "Air Pollution Control Equipment: Selection, Design, Operation, and Maintenance". Prentice-Hall. New Jersey. 1982.
18. U.S. EPA. "Compilation of Air Pollution Emission Factors AP-42, 5th Ed., Vol. 1: Stationary Point and Area Sources". <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42.html>.
19. U.S. EPA. "EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Printing and Publishing Industry". U.S. EPA. Washington DC. 1995.
20. U.S. EPA. "EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Textile Industry". U.S. EPA. Washington DC. 1997.
21. U.S. EPA. "Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Toluene". TRC Environmental Corporation. North Carolina. 1993.
22. U.S. EPA. "Multimedia Compliance/Pollution Prevention Assessment Guidance for Screen Printing Facilities". Science Applications International Corporation. VA. 1998.

ภาคผนวก ก

แบบสอบถาม

- п-3

ก.2 แบบสอบถาม โรงงาน ข

1. ชื่อกระบวนการผลิต : เครื่องพิมพ์สี #1,#2

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์	<u>สีน้ำมัน</u>	ปริมาณการผลิตต่อปี	<u>24,000</u>	ตันต่อปี
(2) ชื่อผลิตภัณฑ์	<u>ผ้าปูโต๊ะ</u>	ปริมาณการผลิตต่อปี	<u>280</u>	ตันต่อปี
(3) ชื่อผลิตภัณฑ์	<u>สีโป๊ว</u>	ปริมาณการผลิตต่อปี	<u>200</u>	ตันต่อปี

น้ำหนักสีที่เคลือบบนแผ่นพีวีซี - กรัม/ตารางเมตร

ความเร็วของแผ่นพีวีซีที่ผ่านเครื่องพิมพ์ 20 เมตรต่อนาที

ในกระบวนการผลิตมีการใช้ ☒ สี ☐ แล็กเกอร์

สี/แล็กเกอร์ ที่ชื่อมาเป็น ☐ ของแข็ง ☒ ของเหลว

ในกรณีที่เป็นของแข็ง : ปริมาณการใช้ต่อปี - ตันต่อปี

ในกรณีที่เป็นของเหลว : ปริมาณการใช้ต่อปี 150 ตันต่อปี

% ของแข็ง 15 %

ประกอบด้วย (1) ชื่อตัวทำละลาย MEK, Toluene, Cyclohexanone

(2) ปริมาณที่ประกอบในสี/แล็กเกอร์ 85 %

ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ (ตัวทำละลายที่เติมเข้าไปผสมกับ สี/แล็กเกอร์)

(1) ชื่อตัวทำละลาย :	<u>MEK</u>	
ปริมาณการใช้ต่อปี	<u>140</u>	ตันต่อปี
ราคา	<u>45.00</u>	บาทต่อกิโลกรัม
(2) ชื่อตัวทำละลาย :	<u>Toluene</u>	
ปริมาณการใช้ต่อปี	<u>140</u>	ตันต่อปี
ราคา	<u>19.00</u>	บาทต่อกิโลกรัม
(3) ชื่อตัวทำละลาย :	<u>Cyclohexanone</u>	
ปริมาณการใช้ต่อปี	<u>5.5</u>	ตันต่อปี
ราคา	<u>47.00</u>	บาทต่อกิโลกรัม
(4) ชื่อตัวทำละลาย :	<u>Bytyl Acetate</u>	
ปริมาณการใช้ต่อปี	<u>4.0</u>	ตันต่อปี
ราคา	<u>35.00</u>	บาทต่อกิโลกรัม

บริษัทมีการส่งของเสียจากกระบวนการผลิตที่ระบุข้างต้นไปยังแหล่งอื่นเพื่อกำจัดหรือไม่

☐ มี

☒ ไม่มี

ถ้ามี ราคาค่ากำจัดของเสีย _____ บาทต่อตัน

เปอร์เซ็นต์ของแข็ง _____ %

บริษัทมีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตหรือไม่

☒ มี

☐ ไม่มี

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการเก็บตัวอย่าง โรงงาน ข

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการเก็บตัวอย่าง โรงงาน ข

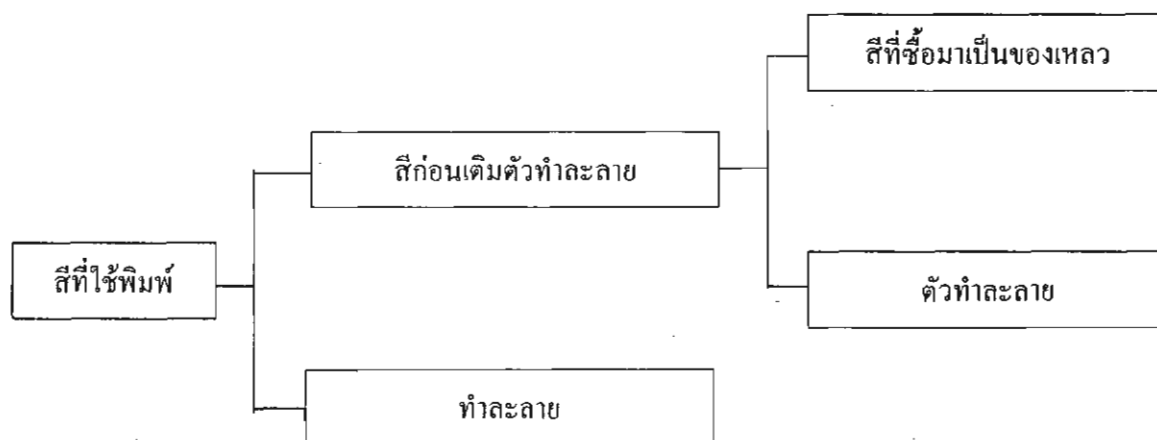
ข.1 การวัดอัตราการระเหยของ Solvents ในขั้นตอนการเคลือบ PVC Sheet

บริษัท : _____ โรงงาน ข
การวัดครั้งที่ : _____ 1
วันที่ทำการวัด : _____ 22 กันยายน 2543
เครื่องเคลือบหมายเลข : _____ 1
ประเภทการเคลือบ : _____ เลื่อน้ำมัน

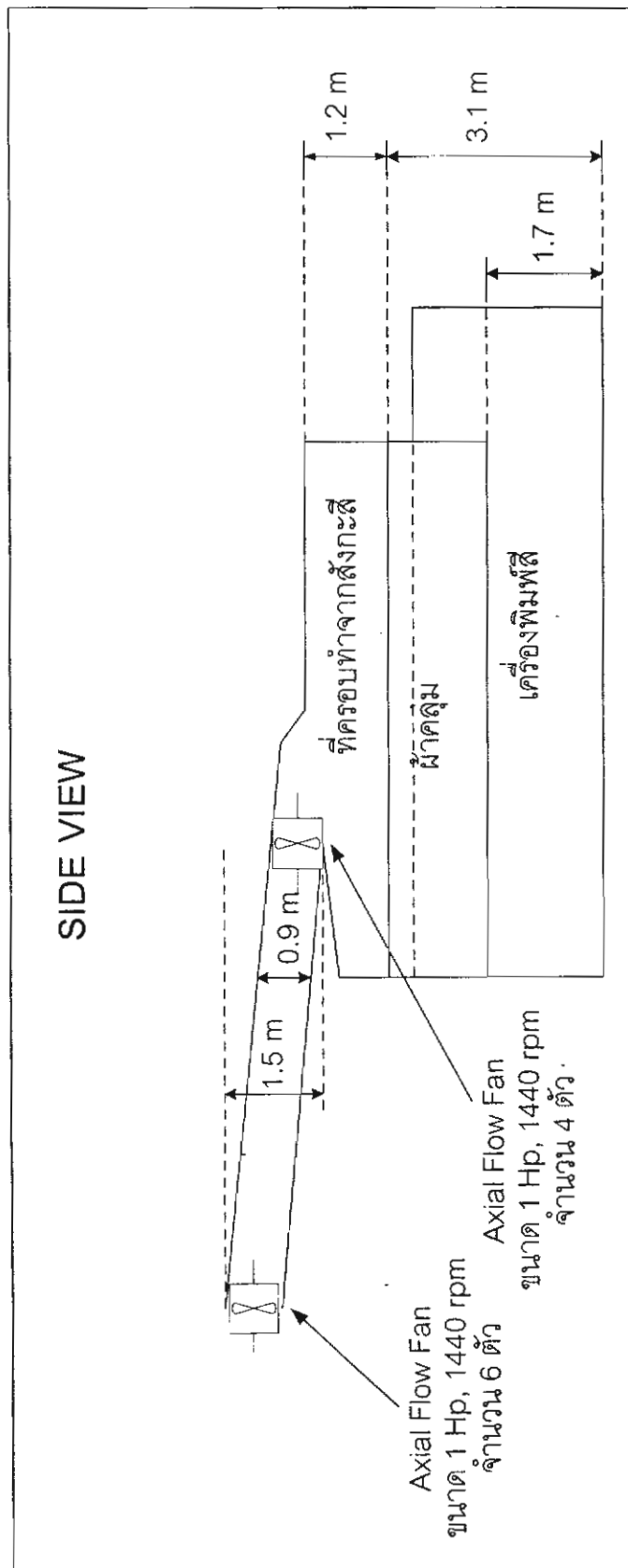
PVC Sheet			
- ชนิด	เลื่อน้ำมัน		
- ความกว้าง	67.5	นิ้ว	
- ความยาว	6,686	หลา	
- น้ำหนักก่อนเคลือบ	918.6	กิโลกรัม	
- น้ำหนักหลังเคลือบ	924.1	กิโลกรัม	
- ผลต่างของน้ำหนัก ก่อน-หลัง การเคลือบ	5.5	กิโลกรัม	
เวลาที่ใช้ในการเคลือบ			
- เวลาเริ่ม	11.30 น		
- เวลาเสร็จ	14.20 น		
- รวมเวลาที่ใช้	170	นาที	
- ระดับ Speed ที่ใช้ (เบอร์)	38.44	เมตร/นาที	
Vapor ที่ออกจากปล่องดูดซับ (ควรเก็บตัวอย่างในช่วงกลางๆ ของการเคลือบ)			
รายการวัด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
- เวลาที่เก็บตัวอย่าง	13.40	13.50	14.00
- อัตราการไหล (ลบ.ม./นาที)	3.39	3.39	3.39
- อุณหภูมิ (°C)	29	29	29
- ความดันสัมบูรณ์ (kPa)	759	759	759
- MEK Concentration (ppm)	11.81	1.36	8.67
- Toluene Concentration (ppm)	58.35	14.43	43.89
- Cyclohexanone Concentration (ppm)	3.16	2.86	61.59
อุณหภูมิอากาศบริเวณลูกกลิ้งเคลือบ (°C)	30.5	30.5	30.5
อุณหภูมิสีในกระเบ (กระเบที่ 3)	27.5	27.5	27.5

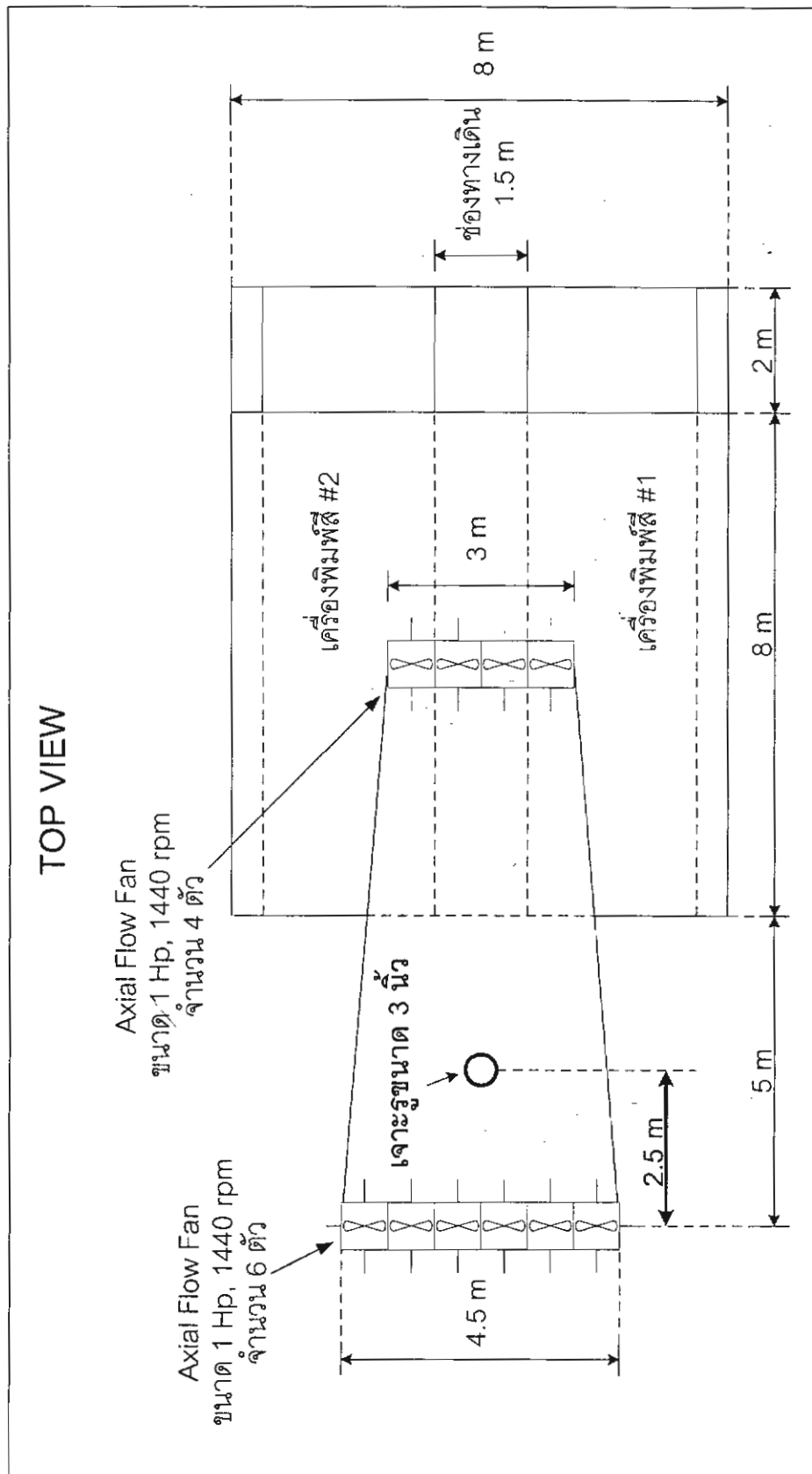
แล็กเกอร์/สี (ก่อนเติม Solvents)			
- ชนิด			
- % Resin	11.7	% (w/w)	
- % MEK	35.7	% (w/w)	
- % Toluene	27.8	% (w/w)	
- % Solvents อื่นๆ			
- ชนิด Unknown	24.8		% (w/w)
- ชนิด			% (w/w)

ข.2 แผนผังแสดงการผสมตัวทำละลายลงในสีของโรงงาน ข



ข.3 แผนผังระบบระบายอากาศของโรงงาน ข





ภาคผนวก ค

รายละเอียดการคำนวณ

ภาคผนวก ค
รายละเอียดการคำนวณ

ค.1 โรงงาน ก

ค.1.1 การคำนวณอัตราการใช้ตัวทำละลายในการเคลือบ/พิมพ์

ปริมาณการใช้ TOLUENE ต่อเดือน	=	4,600	ก.ก./เดือน
ปริมาณการใช้ MEK ต่อเดือน	=	5,500	ก.ก./เดือน
ปริมาณการใช้ CYCLOHEXANONE ต่อเดือน	=	2,000	ก.ก./เดือน
รวมปริมาณการใช้ SOLVENT ต่อเดือน	=	12,100	ก.ก./เดือน
รวมปริมาณการใช้ SOLVENT ต่อปี	=	145,200	ก.ก./ปี
ราคา TOLUENE ต่อหน่วย	=	19	บาท/ก.ก.
ราคา MEK ต่อหน่วย	=	45	บาท/ก.ก.
ราคา CYCLOHEXANONE ต่อหน่วย	=	47	บาท/ก.ก.
มูลค่า TOLUENE ที่ใช้ต่อปี	=	1,048,800	บาท/ปี
มูลค่า MEK ที่ใช้ต่อปี	=	2,970,000	บาท/ปี
มูลค่า CYCLOHEXANONE ที่ใช้ต่อปี	=	1,128,000	บาท/ปี
รวมมูลค่าการใช้ SOLVENT ต่อปี	=	5,146,800	บาท/ปี
% การเก็บกลับ SOLVENT	=	85	%
ปริมาณการเก็บกลับ SOLVENT ต่อปี	=	123,420	ก.ก./ปี
มูลค่า SOLVENT ที่เก็บกลับได้ต่อปี	=	4,374,780	บาท/ปี
จำนวนชั่วโมงเคลือบต่อวัน(เฉลี่ย)	=	18	ช.ม./วัน
จำนวนวันทำงานต่อปี	=	300	วัน/ปี
อัตราการใช้ Solvent ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	26.89	ก.ก./ช.ม.
อัตราการใช้ Toluene ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	10.22	ก.ก./ช.ม.
อัตราการใช้ MEK ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	12.22	ก.ก./ช.ม.
อัตราการใช้ Cyclohexanone ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	4.44	ก.ก./ช.ม.

หมายเหตุ : ในการออกแบบจะต้องเผื่อกรณี peak load ซึ่งมีอัตราการใช้ตัวทำละลายในการเคลือบมากกว่าค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้นี้

ค.1.2 การออกแบบระบบ Adsorption และ Distillation

ค.1.2.1 การหาขนาด Adsorption Tank

กรณี 2,500 ppm

(สภาวะที่ใช้ในการคำนวณ - อุณหภูมิ 40 C)

$D_{TOL,v}$	=	3.5847	kg/m ³
$D_{MEK,v}$	=	2.8057	kg/m ³
$D_{CHN,v}$	=	3.8135	kg/m ³
ER_{TOL}	=	20.4444	kg/h
ER_{MEK}	=	24.4444	kg/h
ER_{CHN}	=	8.8889	kg/h
D_{sv}	=	$(ER_{TOL} + ER_{MEK} + ER_{CHN})$ $(ER_{TOL}/D_{TOL,v}) + (ER_{MEK}/D_{MEK,v}) + (ER_{CHN}/D_{CHN,v})$	
	=	3.2112	kg/m ³
Y_{sg}	=	0.0025	m ³ /m ³
X_{sg}	=	$Y_{sg} * D_{sv}$	
	=	0.008028	kg/m ³
G_{sg}	=	$ER_{TOL} + ER_{MEK} + ER_{CHN}$	
	=	53.78	kg/h
F_g	=	G_{sg} / X_{sg}	
	=	6,699	m ³ /h
R	=	0.3000	kg/kg
	(R = ปริมาณ solvent ที่อิ่มตัวใน adsorber)		
HF	=	0.0100	kg/kg
	(HF = ปริมาณ solvent ที่คงเหลือใน adsorber หลังจากการ Regeneration แล้ว)		
T_a	=	1.00	h
$M_{s,sat}$	=	$G_{sg} * T_a$	
	=	53.78	kg

$$\begin{aligned}
 M_{c,sat} &= M_{s,sat} / (R - HF) \\
 &= 185.44 \quad \text{kg} \\
 D_{cb} &= 496.00 \quad \text{kg/m}^3 \\
 VOL_{cb,sat} &= M_{c,sat} / D_{cb} \\
 &= 0.3739 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

การคำนวณเพื่อหาพื้นที่หน้าตัดของ adsorption tank ที่เหมาะสม

$$\begin{aligned}
 \text{Estimated MTZ} &= 0.15 \quad \text{m} \\
 \text{Allowed } PD_c &= 4.00 \quad \text{in H}_2\text{O}
 \end{aligned}$$

วิธีการ ทดลองสมมติค่า A_c จากนั้นคำนวณ V_g , PD_c/ft และ H_c แล้วนำ H_c นี้ไปเปรียบเทียบกับค่า H_c ต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum H_c) ซึ่งประกอบด้วยความสูงของ adsorber ส่วนที่อิ่มตัวด้วย solvent บวกกับความยาวของ mass transfer zone (MTZ) แล้วคูณด้วย safety factor หากผลลัพธ์ที่ได้มีค่าต่างกัน ให้ทดลองสมมติค่า A_c ใหม่จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน ซึ่งจะช่วยให้ทราบค่า A_c ที่เหมาะสม (Optimum A_c)

(ในการคำนวณต่อไปนี้ จะแสดงเฉพาะผลหลังจากที่ได้ทดลองสมมติค่าจนได้คำตอบแล้ว)

$$\begin{aligned}
 \text{ให้ } A_c &= 3.464 \quad \text{m}^2 \\
 V_g &= F_g / A_c \\
 &= 1,934 \quad \text{m/h} \\
 &= 107.43 \quad \text{ft/min} \\
 PD_c \text{ per ft} &= 10^c \cdot V_g^m \quad \text{in H}_2\text{O/ft} \\
 m &= 1.9800 \\
 c &= -3.5129 \\
 PD_c \text{ per ft} &= 3.227 \quad \text{in H}_2\text{O/ft}
 \end{aligned}$$

เผื่อค่า safety factor 1.20

$$\text{ดังนั้น } PD_c \text{ per ft} = 3.873 \quad \text{in H}_2\text{O/ft}$$

คำนวณค่า H_c

$$\begin{aligned}
 H_c &= \text{Allowed } PD_c \\
 &= PD_c \text{ per ft of adsorber} \\
 &= 1.033 \quad \text{ft}
 \end{aligned}$$

$$= 0.310 \quad \text{m}$$

คำนวณค่า Minimum H_c

$$\text{Minimum } H_c = (\text{MTZ} + \text{VOL}_{\text{cb,sat}} / A_c) * \text{safety factor}$$

เผื่อค่า safety factor 1.20

$$\text{Minimum } H_c = 0.310 \quad \text{m}$$

จากการเปรียบเทียบค่า H_c ทั้งสอง พบว่ามีค่าเท่ากัน

ดังนั้น A_c ที่สมมติขึ้น จึงเป็นค่าที่เหมาะสม

คำนวณค่า Optimum VOL_{cb} และ Optimum M_c

$$\begin{aligned} \text{Optimum } \text{VOL}_{\text{cb}} &= \text{Optimum } V_g * \text{Optimum } A_c \\ &= 1.073 \quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Optimum } M_c = \text{Optimum } \text{VOL}_{\text{cb}} * D_{\text{cb}}$$

$$D_{\text{cb}} = 496.00 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Optimum } M_c = 532 \quad \text{kg}$$

คำนวณขนาดของ adsorption tank

1) กรณี Vertical tank

$$\begin{aligned} D_t &= \text{SQR}(A_c / 0.7857) \\ &= 2.10 \quad \text{m} \end{aligned}$$

2) กรณี Horizontal tank

เลือก $D_t = 1.10 \quad \text{m}$

$$\begin{aligned} L_t &= A_c / D_t \\ &= 3.15 \quad \text{m} \end{aligned}$$

$$(L/D)_t = 2.86$$

ค.1.2.2 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอน Regeneration

$$\text{adsorption temp.} = 40.00 \quad \text{C}$$

$$\text{regeneration temp.} = 150.00 \quad \text{C}$$

regeneration time	=	0.50	h
1) Heat of adsorption			
TOL wt.	=	20.44	kg
MEK wt.	=	24.44	kg
CHN wt.	=	8.89	kg
TOL heat of adsorption	=	91.64	kcal/kg
MEK heat of adsorption	=	108.92	kcal/kg
CHN heat of adsorption	=	100.97	kcal/kg
Heat duty	=	5,433.53	kcal
2) Adsorbent			
activated carbon wt.	=	540.00	kg
specific heat	=	0.25	kcal/kg/C
Heat duty	=	14,850.00	kcal
3) Solvent			
TOL wt.	=	20.44	kg
MEK wt.	=	24.44	kg
CHN wt.	=	8.8889	kg
TOL specific heat	=	0.4400	kcal/kg/C
MEK specific heat	=	0.5490	kcal/kg/C
CHN specific heat	=	0.4310	kcal/kg/C
Heat duty	=	2,486.57	kcal
4) Adsorption tank material			
tank wt.	=	1,530.4	kg
specific heat	=	0.1220	kcal/kg/C
Heat duty	=	20,537.64	kcal
Total Regeneration heat	=	43,307.75	kcal
latent heat of steam at 150 C	=	505.26	kcal/kg
steam consumption for heating	=	85.71	kg
Sweeping steam			
steam leaving tank with solvent	=	0.30	kg steam/kg solvent
recovered solvent wt.	=	53.78	kg

sweeping steam wt.	=	16.13	kg
total steam usage	=	101.85	kg
steam consumption rate	=	203.69	kg/h
steam usage per kg of solvent	=	1.89	kg steam/kg solvent

ค.1.2.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำหล่อเย็นในขั้นตอนการลดอุณหภูมิของ Activated Carbon หลังจาก Regeneration

recovered solvent wt.	=	53.78	kg
sweeping steam wt.	=	16.13	kg
regeneration time	=	0.50	h
temp. of solvent vapor	=	150.00	C
temp. of recovered solvent vapor	=	35.00	C
TOL wt.	=	20.44	kg
MEK wt.	=	24.44	kg
CHN wt.	=	8.89	kg
TOL specific heat	=	0.44	kcal/kg/C
MEK specific heat	=	0.80	kcal/kg/C
CHN specific heat	=	0.80	kcal/kg/C
TOL heat of condensation	=	90.00	kcal/kg
MEK heat of condensation	=	90.00	kcal/kg
CHN heat of condensation	=	90.00	kcal/kg
cooling load of condensation	=	8,941	kcal/cycle
	=	17,882	kcal/h
	=	166	kcal/kg solvent

ค.1.3 การคำนวณราคา

ค.1.3.1 การคำนวณราคากังดูดูดซับ

วัสดุ เหล็กกล้าคาร์บอน

ถ.พ. ของวัสดุ 7.8426

สูตร	ราคากัง	=	มูลค่าวัสดุที่ใช้สร้างถัง x 3.00
	มูลค่าวัสดุที่ใช้สร้างถัง	=	น.น.วัสดุ x ราคาต่อหน่วยของวัสดุ
	ราคาต่อหน่วยของวัสดุ	=	35.00 บาท/ก.ก.

การคำนวณ น.น.ของวัสดุที่ใช้

น.น.รวมของวัสดุ	=	น.น.ถัง + น.น.ส่วนรองรับถัง + น.น.ส่วนประกอบอื่นๆภายใน
น.น.ถัง	=	น.น.ส่วนทรงกระบอก + น.น.หัวถัง + น.น.Manhole

การคำนวณ น.น.ถัง

ส่วนทรงกระบอก

$t = PR/(SE-0.6P)$		
t = ความหนาถัง (mm)		
P = ความดันสูงสุดที่ยอมให้ได้	= 8.00	kg/cm ²
R = รัศมีภายใน	= 550.00	mm
S = ค่าความเค้นของวัสดุ	= 1,225.00	kg/cm ²
E = ประสิทธิภาพรอยต่อ	= 0.85	
t	= 4.25	mm
ค่าเผื่อการกัดกร่อน	= 3.00	mm
ความหนาถังออกแบบ	= 7.25	mm
รัศมีภายนอก	= 557.25	mm
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	= 1,100.00	mm
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	= 1,114.49	mm
น.น.ส่วนทรงกระบอกต่อความยาว	= 197.73	kg/m
ความยาวส่วนทรงกระบอก	= 3.20	m
น.น.ส่วนทรงกระบอก	= 632.75	kg

ส่วนหัวถัง(ครึ่งทรงรี 2:1)

$t = PD/(2SE-0.2P)$		
t = ความหนาหัวถัง (mm)		
P = ความดันสูงสุดที่ยอมให้ได้	= 8.00	kg/cm ²
D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	= 1,100.00	mm

S = ค่าความดันของวัสดุ	=	1,225.00	kg/cm ²
E = ประสิทธิภาพรอยต่อ	=	1.00	
t	=	3.59	mm
ค่าเผื่อการกัดกร่อน	=	3.00	mm
ความหนาถึงออกแบบ	=	6.59	mm
น.น.หัวถึงต่อข้าง	=	145.00	kg
น.น.หัวถึง	=	290.00	kg

MANHOLE(150 Lb)

ขนาด Manhole	=	450.00	mm
น.น. Manhole	=	126.00	kg
น.น.ฝาปิดหน้าแปลน Manhole	=	95.00	kg
น.น. Manhole รวม	=	221.00	kg
	=		
น.น.รวมของถัง	=	1,143.75	kg

การคำนวณ น.น.ส่วนรองรับถัง(อานม้า)

มุมรอง	=	120.00	องศา
A	=	1,050.00	mm
B	=	750.00	mm
C	=	150.00	mm
D	=	275.00	mm
G	=	19.10	mm
H	=	9.50	mm
K	=	9.50	mm

น.น.แผ่นรอง

พื้นที่วัสดุ	=	0.34	m ²
ความหนา	=	9.50	mm
น.น.ต่อชิ้น	=	24.96	kg
จำนวนชิ้น	=	2.00	

น.น.รวม	=	49.93	kg
น.น.ฐาน	=		
พื้นที่วัสดุ	=	0.16	m ²
ความหนา	=	19.10	mm
น.น.ต่อชั้น	=	23.59	kg
จำนวนชั้น	=	2.00	
น.น.รวม	=	47.19	kg
น.น.โครงสร้าง			
ความสูง	=	471.38	mm
พื้นที่วัสดุ	=	0.10	m ²
ความหนา	=	9.50	mm
น.น.ต่อชั้น	=	7.46	kg
จำนวนชั้น	=	4.00	
น.น.รวม	=	29.85	kg
น.น.รวมของส่วนรองรับถึง	=	126.96	kg
น.น.ถึง	=	1,143.75	kg
น.น.ส่วนประกอบอื่นๆของถึง	=	300.00	kg
น.น.รวมของวัสดุที่ใช้	=	1,570.71	kg
บวกเผื่อ 6 %	=	94.24	kg
น.น.รวมของวัสดุหลังบวกเผื่อ	=	1,664.96	kg
ราคาถึงโดยประมาณ	=	175,000	บาท

ค.2 โรงงาน ข

ค.2.1 การคำนวณปริมาณตัวทำละลายที่ใช้และที่เก็บกลับได้ (เครื่องพิมพ์ 1 และ 2)

ปริมาณการใช้ TOLUENE	=	140,000	ก.ก./ปี
ปริมาณการใช้ MEK	=	140,000	ก.ก./ปี
ปริมาณการใช้ CYCLOHEXANONE	=	5,500	ก.ก./ปี
ปริมาณการใช้ BUTYL ACETATE	=	4,000	ก.ก./ปี
รวมปริมาณการใช้ SOLVENT(ซื้อ)	=	289,500	ก.ก./ปี

ปริมาณการใช้สี

ปริมาณการใช้สี	=	NA	ก.ก./ปี
% TOLUENE ในสี	=	35.7	%
% MEK ในสี	=	27.8	%
% CYCLOHEXANONE ในสี	=	24.8	%
TOLUENE ที่อยู่ในสีก่อนผสม SOLVENT	=	40,000	ก.ก./ปี
MEK ที่อยู่ในสีก่อนผสม SOLVENT	=	50,000	ก.ก./ปี
CYCLOHEXANONE ที่อยู่ในสีก่อนผสม SOLVENT	=	36,000	ก.ก./ปี
รวมปริมาณ SOLVENT ที่อยู่ในสี	=	126,000	ก.ก./ปี

ปริมาณ SOLVENT ที่ใช้ในการเคลือบ

ปริมาณ TOLUENE	=	180,000	ก.ก./ปี
ปริมาณ MEK	=	190,000	ก.ก./ปี
ปริมาณ CYCLOHEXANONE	=	41,500	ก.ก./ปี
ปริมาณ BUTYL ACETATE	=	4,000	ก.ก./ปี
รวมปริมาณ SOLVENT ที่ใช้ในการเคลือบ	=	415,500	ก.ก./ปี

มูลค่า SOLVENT ที่ซื้อต่อปี

ราคา TOLUENE ต่อหน่วย	=	19.00	บาท/ก.ก.
ราคา MEK ต่อหน่วย	=	45.00	บาท/ก.ก.
ราคา CYCLOHEXANONE ต่อหน่วย	=	47.00	บาท/ก.ก.
ราคา BUTYL ACETATE ต่อหน่วย	=	35.00	บาท/ก.ก.
มูลค่า TOLUENE ที่ซื้อต่อปี	=	2,660,000	บาท/ปี
มูลค่า MEK ที่ซื้อต่อปี	=	6,300,000	บาท/ปี
มูลค่า CYCLOHEXANONE ที่ซื้อต่อปี	=	258,500	บาท/ปี
มูลค่า BUTYL ACETATE ที่ซื้อต่อปี	=	140,000	บาท/ปี
รวมมูลค่าการซื้อ SOLVENT	=	9,358,500	บาท/ปี

ปริมาณ SOLVENT ที่เก็บกลับได้

% การเก็บกลับ SOLVENT	=	85	%
ปริมาณการเก็บกลับ TOLUENE ต่อปี	=	153,000	ก.ก./ปี
ปริมาณการเก็บกลับ MEK ต่อปี	=	161,500	ก.ก./ปี
ปริมาณการเก็บกลับ CYCLOHEXANONE ต่อปี	=	35,275	ก.ก./ปี
ปริมาณการเก็บกลับ BUTYL ACETATE ต่อปี	=	3,400	ก.ก./ปี
รวมปริมาณ SOLVENT ที่เก็บกลับได้	=	353,175	ก.ก./ปี

มูลค่า SOLVENT ที่เก็บกลับได้

มูลค่า TOLUENE ที่เก็บกลับได้	=	2,907,000	ก.ก./ปี
มูลค่า MEK ที่เก็บกลับได้	=	7,267,500	ก.ก./ปี
มูลค่า CYCLOHEXANONE ที่เก็บกลับได้	=	1,657,925	ก.ก./ปี
มูลค่า BUTYL ACETATE ที่เก็บกลับได้	=	119,000	ก.ก./ปี
รวมมูลค่า SOLVENT ที่เก็บกลับได้	=	11,951,425	บาท/ปี

อัตราการใช้ Solvent ในการเคลือบ(เฉลี่ย)

จำนวนชั่วโมงเคลือบต่อวัน(เฉลี่ย)	=	20	ชม./วัน
จำนวนวันทำงานต่อปี	=	300	วัน/ปี
อัตราการใช้ Toluene ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	30.00	ก.ก./ชม.
อัตราการใช้ MEK ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	31.67	ก.ก./ชม.
อัตราการใช้ Cyclohexanone ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	6.92	ก.ก./ชม.
อัตราการใช้ Butyl acetate ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	0.67	ก.ก./ชม.
อัตราการใช้ Solvent ในการเคลือบ(เฉลี่ย)	=	69.25	ก.ก./ชม.

หมายเหตุ : ในการออกแบบจะต้องเผื่อกรณี peak load ซึ่งมีอัตราการใช้ solvent ในการเคลือบมากกว่าค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้นี้

ค.2.2 การออกแบบระบบ Adsorption และ Distillation

ค.2.2.1. การหาขนาด Adsorption Tank

กรณี 2,500 ppm

(สภาวะที่ใช้ในการคำนวณ - อุณหภูมิ 40 C)

$D_{TOL,v}$	=	3.5847	kg/m ³
$D_{MEK,v}$	=	2.8057	kg/m ³
$D_{CHN,v}$	=	3.8135	kg/m ³
$D_{BTA,v}$	=	4.5140	kg/m ³

$$\begin{aligned}
 ER_{TOL} &= 60.0000 & \text{kg/h} \\
 ER_{MEK} &= 63.3333 & \text{kg/h} \\
 ER_{CHN} &= 13.8333 & \text{kg/h} \\
 ER_{BTA} &= 1.3333 & \text{kg/h} \\
 D_{sv} &= \frac{(ER_{TOL} + ER_{MEK} + ER_{CHN} + ER_{BTA})}{(ER_{TOL}/D_{TOL,V}) + (ER_{MEK}/D_{MEK,V}) + (ER_{CHN}/D_{CHN,V}) + (ER_{BTA}/D_{BTA,V})} \\
 &= 3.2035 & \text{kg/m}^3 \\
 Y_{sg} &= 0.0025 & \text{m}^3/\text{m}^3 \\
 X_{sg} &= Y_{sg} * D_{sv} \\
 &= 0.008009 & \text{kg/m}^3 \\
 G_{sg} &= ER_{TOL} + ER_{MEK} + ER_{CHN} + ER_{BTA} \\
 &= 138.50 & \text{kg/h} \\
 F_g &= G_{sg} / X_{sg} \\
 &= 17,294 & \text{m}^3/\text{h} \\
 R &= 0.3000 & \text{kg/kg} \\
 &(\text{R} = \text{ปริมาณ solvent ที่อิ่มตัวใน adsorber}) \\
 HF &= 0.0100 & \text{kg/kg} \\
 &(\text{HF} = \text{ปริมาณ solvent ที่คงเหลือใน adsorber หลังจากการ Regeneration แล้ว})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_a &= 1.00 & \text{h} \\
 M_{s,sat} &= G_{sg} * T_a \\
 &= 138.50 & \text{kg} \\
 M_{c,sat} &= M_{s,sat} / (R - HF) \\
 &= 477.59 & \text{kg} \\
 D_{cb} &= 496.00 & \text{kg/m}^3 \\
 VOL_{cb,sat} &= M_{c,sat} / D_{cb} \\
 &= 0.9629 & \text{m}^3
 \end{aligned}$$

การคำนวณเพื่อหาพื้นที่หน้าตัดของ adsorption tank ที่เหมาะสม

$$\text{Estimated} = 0.15 \quad \text{m}$$

MTZ

$$\text{Allowed } PD_c = 4.00 \quad \text{in } H_2O$$

วิธีการ ทดลองสมมติค่า A_c จากนั้นคำนวณ V_g , PD_c/ft และ H_c แล้วนำ H_c นี้ไปเปรียบเทียบกับค่า H_c ต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum H_c) ซึ่งประกอบด้วยความสูงของ adsorber ส่วนที่อิ่มตัวด้วย solvent บวกกับความยาวของ mass transfer zone (MTZ) แล้วคูณด้วย safety factor หากผลลัพธ์ที่ได้มีค่าต่างกัน ให้ทดลองสมมติค่า A_c ใหม่จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้ทราบค่า A_c ที่เหมาะสม (Optimum A_c)

(ในการคำนวณต่อไปนี้ จะแสดงเฉพาะผลหลังจากที่ได้ทดลองสมมติค่าจนได้คำตอบแล้ว)

$$\begin{aligned} \text{ให้ } A_c &= 9.670 \quad \text{m}^2 \\ V_g &= F_g / A_c \\ &= 1,788 \quad \text{m/h} \\ &= 99.35 \quad \text{ft/min} \end{aligned}$$

$$PD_c \text{ per ft} = 10^c \cdot V_g^m \quad \text{in } H_2O/\text{ft}$$

$$m = 1.9800$$

$$c = -3.5129$$

$$PD_c \text{ per ft} = 2.764 \quad \text{in } H_2O/\text{ft}$$

เพื่อค่า safety factor 1.20

$$\text{ดังนั้น } PD_c \text{ per ft} = 3.317 \quad \text{in } H_2O/\text{ft}$$

คำนวณค่า H_c

$$\begin{aligned} H_c &= \frac{\text{Allowed } PD_c}{PD_c \text{ per ft of adsorber}} \\ &= 1.206 \quad \text{ft} \\ &= 0.362 \quad \text{m} \end{aligned}$$

คำนวณค่า Minimum H_c

$$\text{Minimum } H_c = (MTZ + VOL_{cb, sat} / A_c) \cdot \text{safety factor}$$

เพื่อค่า safety factor 1.20

$$\text{Minimum } H_c = 0.299 \quad \text{m}$$

จากการเปรียบเทียบค่า H_c ทั้งสอง พบว่ามีค่าเท่ากัน
ดังนั้น A_c ที่สมมตินี้ จึงเป็นค่าที่เหมาะสม

คำนวณค่า Optimum VOL_{cb} และ Optimum M_c

$$\begin{aligned}\text{Optimum } VOL_{cb} &= \text{Optimum } V_g * \text{Optimum } A_c \\ &= 25.000 \quad m^3 \\ \text{Optimum } M_c &= \text{Optimum } VOL_{cb} * D_{cb} \\ D_{cb} &= 496.00 \quad kg/m^3 \\ \text{Optimum } M_c &= 1,735 \quad kg\end{aligned}$$

คำนวณขนาดของ adsorption tank

1) กรณี Vertical tank

$$\begin{aligned}D_t &= \text{SQR}(A_c / 0.7857) \\ &= 3.51 \quad m\end{aligned}$$

2) กรณี Horizontal tank

$$\begin{aligned}\text{เลือก } D_t &= 2.00 \quad m \\ L_t &= A_c / D_t \\ &= 4.84 \quad m \\ (L/D)_t &= 2.42\end{aligned}$$

ค.2.2.2 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอน Regeneration

$$\begin{aligned}\text{adsorption temp.} &= 40.00 \quad C \\ \text{regeneration temp.} &= 150.00 \quad C \\ \text{regeneration time} &= 0.50 \quad h\end{aligned}$$

1) Heat of adsorption

$$\begin{aligned}\text{TOL wt.} &= 60.00 \quad kg \\ \text{MEK wt.} &= 63.33 \quad kg \\ \text{CHN wt.} &= 13.83 \quad kg \\ \text{BTA wt} &= 1.33 \quad kg \\ \text{TOL heat of adsorption} &= 91.64 \quad kcal/kg \\ \text{MEK heat of adsorption} &= 108.92 \quad kcal/kg \\ \text{CHN heat of adsorption} &= 100.97 \quad kcal/kg\end{aligned}$$

BTA heat of adsorption	=	105.50	kcal/kg
Heat duty	=	13,934.13	kcal

2) Adsorbent

activated carbon wt.	=	1,740.00	kg
specific heat	=	0.25	kcal/kg/C
Heat duty	=	47,850.00	kcal

3) Solvent

TOL wt.	=	60.00	kg
MEK wt.	=	63.33	kg
CHN wt.	=	13.83	kg
BTA wt	=	1.33	kg
TOL specific heat	=	0.440	kcal/kg/C
MEK specific heat	=	0.549	kcal/kg/C
CHN specific heat	=	0.431	kcal/kg/C
BTA specific heat	=	0.440	kcal/kg/C
Heat duty	=	7,449.07	kcal

4) Adsorption tank material

tank wt.	=	4,104.3	kg
specific heat	=	0.12	kcal/kg/C
Heat duty	=	55,079.82	kcal

Total Regeneration heat	=	124,313.03	kcal
latent heat of steam at 150 C	=	505.26	kcal/kg
steam consumption for heating	=	246.04	kg

Sweeping steam

steam leaving tank with solvent	=	0.30	kg steam/kg solvent
recovered solvent wt.	=	138.50	kg
sweeping steam wt.	=	41.55	kg
total steam usage	=	287.59	kg
steam consumption rate	=	575.18	kg/h
steam usage per kg of solvent	=	2.08	kg steam/kg solvent

ค.2.2.3 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำในขั้นตอน Distillation

<u>Based Case</u> : Capacity	20.10	kg/h	
heat duty of reboiler	=	32,986	btu/h
	=	8,318	kcal/h
<u>Present Case</u> : Capacity	138.50	kg/h	
heat duty of reboiler	=	227,290	btu/h
	=	57,313	kcal/h
	=	413.81	kcal/kg solvent
latent heat of steam at 150 C	=	505.26	kcal/kg steam
steam consumption rate	=	113.43	kg/h
steam consumption for heating	=	0.82	kg steam/kg solvent

ค.2.2.4 การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ทั้งหมด

Total steam consumption rate	=	Steam consumption in Regeneration + Steam consumption Distillation
	=	575.18+ 113.43
	=	688.61 kg/h

ค.2.2.5 การคำนวณหาปริมาณน้ำหล่อเย็นในขั้นตอนการลดอุณหภูมิของ Activated Carbon หลัง จาก Regeneration

recovered solvent wt.	=	138.50	kg
sweeping steam wt.	=	41.55	kg
regeneration time	=	0.50	h
temp. of solvent vapor	=	150.00	C
temp. of recovered solvent vapor	=	35.00	C
TOL wt.	=	60.00	kg
MEK wt.	=	63.33	kg
CHN wt.	=	13.83	kg
BTA wt.	=	1.33	kg
TOL specific heat	=	0.440	kcal/kg/C

MEK specific heat	=	0.549	kcal/kg/C
CHN specific heat	=	0.431	kcal/kg/C
BTA specific heat	=	0.440	kcal/kg/C
TOL heat of condensation	=	86.80	kcal/kg
MEK heat of condensation	=	105.93	kcal/kg
CHN heat of condensation	=	90.00	kcal/kg
BTA heat of condensation	=	73.82	kcal/kg
cooling load of condensation	=	21,048	kcal/cycle
	=	42,096	kcal/h
	=	152	kcal/kg solvent

ค.2.2.6 การคำนวณหาปริมาณน้ำหล่อเย็นในขั้นตอนการควบแน่นใน Distillation

Based Case : Capacity	20.10	kg/h	
cooling load of condensation	=	28,822	btu/h
	=	7,268	kcal/h
Present Case : Capacity	138.50	kg/h	
cooling load of condensation	=	198,599	btu/h
	=	50,079	kcal/h
	=	361.58	kcal/kg solvent

ค.2.3 การคำนวณราคา

ค.2.3.1 การคำนวณราคาถึงจุดซื้อ

วัสดุ	เหล็กกล้าคาร์บอน		
ถ.พ. ของวัสดุ		7.8426	
สูตร	ราคาถัง	=	มูลค่าวัสดุที่ใช้สร้างถัง x 3.00
	มูลค่าวัสดุที่ใช้สร้างถัง	=	น.น.วัสดุ x ราคาต่อหน่วยของวัสดุ
	ราคาต่อหน่วยของวัสดุ	=	35.00 บาท/ก.ก.

การคำนวณ น.น.ของวัสดุที่ใช้

$$\begin{aligned} \text{น.น.รวมของวัสดุ} &= \text{น.น.ถัง} + \text{น.น.ส่วนรองรับถัง} + \text{น.น.ส่วนประกอบอื่นๆภายใน} \\ \text{น.น.ถัง} &= \text{น.น.ส่วนทรงกระบอก} + \text{น.น.หัวถัง} + \text{น.น.Manhole} \end{aligned}$$

การคำนวณ น.น.ถัง

ส่วนทรงกระบอก

$$t = PR/(SE-0.6P)$$

$$t = \text{ความหนาถัง (mm)}$$

$$P = \text{ความดันสูงสุดที่ยอมให้ได้} = 8.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$R = \text{รัศมีภายใน} = 1,000.00 \text{ mm}$$

$$S = \text{ค่าความเค้นของวัสดุ} = 1,225.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = \text{ประสิทธิภาพรอยต่อ} = 0.85$$

$$t = 7.72 \text{ mm}$$

$$\text{ค่าเผื่อการกัดกร่อน} = 3.00 \text{ mm}$$

$$\text{ความหนาถังออกแบบ} = 10.72 \text{ mm}$$

$$\text{รัศมีภายนอก} = 1,010.72 \text{ mm}$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน} = 2,000.00 \text{ mm}$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก} = 2,021.44 \text{ mm}$$

$$\text{น.น.ส่วนทรงกระบอกต่อความยาว} = 531.22 \text{ kg/m}$$

$$\text{ความยาวส่วนทรงกระบอก} = 4.90 \text{ m}$$

$$\text{น.น.ส่วนทรงกระบอก} = 2,602.99 \text{ kg}$$

ส่วนหัวถัง(ครึ่งทรงรี 2:1)

$$t = PD/(2SE-0.2P)$$

$$t = \text{ความหนาหัวถัง (mm)}$$

$$P = \text{ความดันสูงสุดที่ยอมให้ได้} = 8.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน} = 2,000.00 \text{ mm}$$

$$S = \text{ค่าความเค้นของวัสดุ} = 1,225.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = \text{ประสิทธิภาพรอยต่อ} = 1.00$$

$$t = 6.53 \text{ mm}$$

$$\text{ค่าเผื่อการกัดกร่อน} = 3.00 \text{ mm}$$

$$\text{ความหนาถังออกแบบ} = 9.53 \text{ mm}$$

น.น. หัวถังต่อข้าง	=	274.00	kg
น.น. หัวถัง	=	548.00	kg

MANHOLE(150 Lb)

ขนาด Manhole	=	450.00	mm
น.น. Manhole	=	126.00	kg
น.น.ฝาปิดหน้าแปลน Manhole	=	95.00	kg
น.น. Manhole รวม	=	221.00	kg
	=		
น.น.รวมของถัง	=	3,371.99	kg

การคำนวณ น.น.ส่วนรองรับถัง(อานม้า)

มุมรอง	=	120.00	องศา
A	=	1,825.00	mm
B	=	1,275.00	mm
C	=	225.00	mm
D	=	450.00	mm
G	=	19.10	mm
H	=	12.70	mm
K	=	9.50	mm

น.น.แผ่นรอง

พื้นที่วัสดุ	=	0.98	m ²
ความหนา	=	9.50	mm
น.น.ต่อชิ้น	=	72.70	kg
จำนวนชิ้น	=	2.00	
น.น.รวม	=	145.41	kg

น.น.ฐาน

	=		
พื้นที่วัสดุ	=	0.41	m ²
ความหนา	=	19.10	mm

น.น.ต่อชิ้น	=	61.51	kg
จำนวนชิ้น	=	2.00	
น.น.รวม	=	123.02	kg

น.น.โครงสร้าง

ความสูง	=	769.64	mm
พื้นที่วัสดุ	=	0.26	m ²
ความหนา	=	12.70	mm
น.น.ต่อชิ้น	=	25.87	kg
จำนวนชิ้น	=	4.00	
น.น.รวม	=	103.49	kg
น.น.รวมของส่วนรองรับถัง	=	371.91	kg
น.น.ถัง	=	3,371.99	kg
น.น.ส่วนประกอบอื่นๆของถัง	=	500.00	kg
น.น.รวมของวัสดุที่ใช้	=	4,243.90	kg
บวกเผื่อ 6 %	=	254.63	kg
น.น.รวมของวัสดุหลังบวกเผื่อ	=	4,498.54	kg
ราคาถังโดยประมาณ	=	473,000	บาท

ภาคผนวก ง

ข้อมูลสารเคมีที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ง.1 โทลูอิน

TOLUENE

MSDS Number: T3913

1. Product Identification

Synonyms: Methylbenzene; Toluol; Phenylmethane

CAS No.: 108-88-3

Molecular Weight: 92.14

Chemical Formula: C₆H₅-CH₃

Product Codes:

J.T. Baker: 5375, 5584, 5809, 5812, 9336, 9351, 9364, 9456, 9457, 9459, 9460, 9462, 9466, 9472, 9476

Mallinckrodt: 4483, 8091, 8092, 8604, 8608, 8610, 8611, V560

2. Composition/Information on Ingredients

Ingredient	CAS No	Percent	Hazardous
Toluene	108-88-3	100%	Yes

3. Hazards Identification

Emergency Overview

POISON! DANGER! HARMFUL OR FATAL IF SWALLOWED. HARMFUL IF INHALED OR ABSORBED THROUGH SKIN. VAPOR HARMFUL. FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. MAY AFFECT LIVER, KIDNEYS, BLOOD SYSTEM, OR CENTRAL NERVOUS SYSTEM. CAUSES IRRITATION TO SKIN, EYES AND RESPIRATORY TRACT.

-----Health
Rating: 2 - Moderate
Flammability Rating: 3 - Severe (Flammable)
Reactivity Rating: 0 - None
Contact Rating: 1 - Slight
Lab Protective Equip: GOGGLES; LAB COAT; VENT HOOD; PROPER GLOVES;
CLASS B EXTINGUISHER
Storage Color Code: Red (Flammable)

Potential Health Effects

Inhalation:

Inhalation may cause irritation of the upper respiratory tract. Symptoms of overexposure may include fatigue, confusion, headache, dizziness and drowsiness. Peculiar skin sensations (e. g. pins and needles) or numbness may be produced. Very high concentrations may cause unconsciousness and death.

Ingestion:

Swallowing may cause abdominal spasms and other symptoms that parallel overexposure from inhalation. Aspiration of material into the lungs can cause chemical pneumonitis, which may be fatal.

Skin Contact:

Causes irritation. May be absorbed through skin.

Eye Contact:

Causes severe eye irritation with redness and pain.

Chronic Exposure:

Reports of chronic poisoning describe anemia, decreased blood cell count and bone marrow hypoplasia. Liver and kidney damage may occur. Repeated or prolonged contact has a defatting action, causing drying, redness, dermatitis. Exposure to toluene may affect the developing fetus.

Aggravation of Pre-existing Conditions:

Persons with pre-existing skin disorders or impaired liver or kidney function may be more susceptible to the effects of this substance. Alcoholic beverage consumption can enhance the toxic effects of this substance.

4. First Aid Measures

Inhalation:

If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. CALL A PHYSICIAN IMMEDIATELY.

Ingestion:

Aspiration hazard. If swallowed, DO NOT INDUCE VOMITING. Give large quantities of water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical attention immediately. If vomiting occurs, keep head below hips to prevent aspiration into lungs.

Skin Contact:

In case of contact, immediately flush skin with plenty of soap and water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. Call a physician immediately.

Eye Contact:

Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, lifting lower and upper eyelids occasionally. Get medical attention immediately.

5. Fire Fighting Measures

Fire:

Flash point: 7C (45F) CC

Autoignition temperature: 422C (792F)

Flammable limits in air % by volume:

lel: 3.3; uel: 19

Flammable liquid and vapor!

Dangerous fire hazard when exposed to heat or flame. Vapors can flow along surfaces to distant ignition source and flash back.

Explosion:

Above flash point, vapor-air mixtures are explosive within flammable limits noted above.

Contact with strong oxidizers may cause fire or explosion. Sensitive to static discharge.

Fire Extinguishing Media:

Dry chemical, foam or carbon dioxide. Water may be used to flush spills away from exposures and to dilute spills to non-flammable mixtures.

Special Information:

In the event of a fire, wear full protective clothing and NIOSH-approved self-contained breathing apparatus with full facepiece operated in the pressure demand or other positive pressure mode. Water spray may be used to keep fire exposed containers cool.

6. Accidental Release Measures

Ventilate area of leak or spill. Remove all sources of ignition. Wear appropriate personal protective equipment as specified in Section 8. Isolate hazard area. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Contain and recover liquid when possible. Use non-sparking tools and equipment. Collect liquid in an appropriate container or absorb with an inert material (e. g., vermiculite, dry sand, earth), and place in a chemical waste container. Do not use combustible materials, such as saw dust. Do not flush to sewer! If a leak or spill has not ignited, use water spray to disperse the vapors, to protect personnel attempting to stop leak, and to flush spills away from exposures. US Regulations (CERCLA) require reporting spills and releases to soil, water and air in excess of reportable quantities. The toll free number for the US Coast Guard National Response Center is (800) 424-8802.

7. Handling and Storage

Protect against physical damage. Store in a cool, dry well-ventilated location, away from any area where the fire hazard may be acute. Outside or detached storage is preferred. Separate from incompatibles. Containers should be bonded and grounded for transfers to avoid static sparks. Storage and use areas should be No Smoking areas. Use non-sparking type tools and equipment, including explosion proof ventilation. Containers of this material may be hazardous when empty since they retain product residues (vapors, liquid); observe all warnings and precautions listed for the product.

8. Exposure Controls/Personal Protection

Airborne Exposure Limits:

Toluene:

- OSHA Permissible Exposure Limit (PEL):

200 ppm (TWA); 300 ppm (acceptable ceiling conc.); 500 ppm (maximum conc.).

- ACGIH Threshold Limit Value (TLV):

50 ppm (TWA) skin, A4 - Not Classifiable as a Human Carcinogen.

Ventilation System:

A system of local and/or general exhaust is recommended to keep employee exposures below the Airborne Exposure Limits. Local exhaust ventilation is generally preferred because it can control the emissions of the contaminant at its source, preventing dispersion of it into the general work area. Please refer to the ACGIH document, *Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practices*, most recent edition, for details.

Personal Respirators (NIOSH Approved):

If the exposure limit is exceeded, a half-face organic vapor respirator may be worn for up to ten times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. A full-face piece organic vapor respirator may be worn up to 50 times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. For emergencies or instances where the exposure levels are not known, use a full-face piece positive-pressure, air-supplied respirator. **WARNING:** Air-purifying respirators do not protect workers in oxygen-deficient atmospheres.

Skin Protection:

Wear impervious protective clothing, including boots, gloves, lab coat, apron or coveralls, as appropriate, to prevent skin contact.

Eye Protection:

Use chemical safety goggles and/or a full face shield where splashing is possible. Maintain eye wash fountain and quick-drench facilities in work area.

9. Physical and Chemical Properties

Appearance:

Clear, colorless liquid.

Odor:

Aromatic benzene-like.

Solubility:

0.05 gm/100gm water @ 20C (68F).

Specific Gravity:

0.86 @ 20C / 4 C

pH:

No information found.

% Volatiles by volume @ 21C (70F):

100

Boiling Point:

111C (232F)

Melting Point:

-95C (-139F)

Vapor Density (Air=1):

3.14

Vapor Pressure (mm Hg):

22 @ 20C (68F)

Evaporation Rate (BuAc=1):

2.24

10. Stability and Reactivity

Stability:

Stable under ordinary conditions of use and storage. Containers may burst when heated.

Hazardous Decomposition Products:

Carbon dioxide and carbon monoxide may form when heated to decomposition.

Hazardous Polymerization:

Will not occur.

Incompatibilities:

Heat, flame, strong oxidizers, nitric and sulfuric acids, chlorine, nitrogen tetroxide; will attack some forms of plastics, rubber, coatings.

Conditions to Avoid:

Heat, flames, ignition sources and incompatibles.

11. Toxicological Information

Toxicological Data:

Oral rat LD50: 636 mg/kg; skin rabbit LD50: 14100 uL/kg; inhalation rat LC50: 49 gm/m³/4H; Irritation data: skin rabbit, 500 mg, Moderate; eye rabbit, 2 mg/24H, Severe. Investigated as a tumorigen, mutagen, reproductive effector.

Reproductive Toxicity:

Has shown some evidence of reproductive effects in laboratory animals.

-----\Cancer Lists\-----			
Ingredient	---NTP Carcinogen---		IARC Category
	Known	Anticipated	
Toluene (108-88-3)	No	No	3

12. Ecological Information

Environmental Fate:

When released into the soil, this material may evaporate to a moderate extent. When released into the soil, this material is expected to leach into groundwater. When released into the soil, this material may biodegrade to a moderate extent. When released into water, this material may evaporate to a moderate extent. When released into water, this material may biodegrade to a moderate extent. When released into the air, this material may be moderately degraded by reaction with photochemically produced hydroxyl radicals. When released into the air, this material is expected to have a half-life of less than 1 day. This material is not expected to significantly bioaccumulate. This material has

a log octanol-water partition coefficient of less than 3.0. Bioconcentration factor = 13.2 (eels).

Environmental Toxicity:

This material is expected to be toxic to aquatic life. The LC50/96-hour values for fish are between 10 and 100 mg/l.

13. Disposal Considerations

Whatever cannot be saved for recovery or recycling should be handled as hazardous waste and sent to a RCRA approved incinerator or disposed in a RCRA approved waste facility. Processing, use or contamination of this product may change the waste management options. State and local disposal regulations may differ from federal disposal regulations. Dispose of container and unused contents in accordance with federal, state and local requirements.

14. Transport Information

Domestic (Land, D.O.T.)

Proper Shipping Name: TOLUENE

Hazard Class: 3

UN/NA: UN1294

Packing Group: II

Information reported for product/size: 390LB

International (Water, I.M.O.)

Proper Shipping Name: TOLUENE

Hazard Class: 3.2

UN/NA: UN1294

Packing Group: II

Information reported for product/size: 390LB

15. Regulatory Information

-----\Chemical Inventory Status - Part 1\----- Ingredient
TSCA EC Japan Australia

Toluene (108-88-3) Yes Yes Yes Yes

-----\Chemical Inventory Status - Part 2\-----
Ingredient Korea DSL --Canada-- NDSL Phil.

Toluene (108-88-3) Yes Yes No Yes

-----\Federal, State & International Regulations - Part 1\-----

-----SARA 302- -----SARA 313-----
Ingredient RQ TPQ List Chemical Catg.

Toluene (108-88-3)	No	No	Yes	No
-----\Federal, State & International Regulations - Part 2\-----				
Ingredient	CERCLA	-RCRA-	261.33	-TSCA-
				8 (d)
Toluene (108-88-3)	1000	U220	No	
Chemical Weapons Convention: No TSCA 12(b): No CDTA: Yes				
SARA 311/312: Acute: Yes Chronic: Yes Fire: Yes Pressure: No				
Reactivity: No (Pure / Liquid)				

WARNING:

THIS PRODUCT CONTAINS A CHEMICAL(S) KNOWN TO THE STATE OF CALIFORNIA TO CAUSE BIRTH DEFECTS OR OTHER REPRODUCTIVE HARM.

Australian Hazchem Code: 3[Y]E

Poison Schedule: S6

WHMIS:

This MSDS has been prepared according to the hazard criteria of the Controlled Products Regulations (CPR) and the MSDS contains all of the information required by the CPR.

16. Other Information

NFPA Ratings: Health: 2 Flammability: 3 Reactivity: 0

Label Hazard Warning:

POISON! DANGER! HARMFUL OR FATAL IF SWALLOWED. HARMFUL IF INHALED OR ABSORBED THROUGH SKIN. VAPOR HARMFUL. FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. MAY AFFECT LIVER, KIDNEYS, BLOOD SYSTEM, OR CENTRAL NERVOUS SYSTEM. CAUSES IRRITATION TO SKIN, EYES AND RESPIRATORY TRACT.

Label Precautions:

Keep away from heat, sparks and flame.
Keep container closed.
Use only with adequate ventilation.
Wash thoroughly after handling.
Avoid breathing vapor.
Avoid contact with eyes, skin and clothing.

Label First Aid:

Aspiration hazard. If swallowed, DO NOT INDUCE VOMITING. Give large quantities of water. Never give anything by mouth to an unconscious person. If vomiting occurs, keep head below hips to prevent aspiration into lungs. If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. In case of contact, immediately flush eyes or skin with plenty of water for at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. In all cases call a physician immediately.

Product Use:

Laboratory Reagent.

ภาคผนวก ง.2 เมทธีว เอทธิว คีโตน

METHYL ETHYL KETONE

MSDS Number: M4628

1. Product Identification

Synonyms: 2-Butanone; ethyl methyl ketone; MEK; Methyl acetone

CAS No.: 78-93-3

Molecular Weight: 72.11

Chemical Formula: CH₃COCH₂CH₃

Product Codes:

J.T. Baker: 5385, 5808, 9214, 9319, 9323, Q531

Mallinckrodt: 6206, 6233, 6235, 6240, 6243

2. Composition/Information on Ingredients

Ingredient	CAS No	Percent	Hazardous
-----	-----	-----	-----
Methyl Ethyl Ketone	78-93-3	99 - 100%	Yes

3. Hazards Identification

Emergency Overview

DANGER! EXTREMELY FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. VAPOR MAY CAUSE FLASH FIRE. HARMFUL OR FATAL IF SWALLOWED. HARMFUL IF INHALED OR ABSORBED THROUGH SKIN. AFFECTS CENTRAL NERVOUS SYSTEM. CAUSES IRRITATION TO SKIN, EYES AND RESPIRATORY TRACT.

Health Rating: 2 - Moderate

Flammability Rating: 4 - Extreme (Flammable)

Reactivity Rating: 2 - Moderate

Contact Rating: 2 - Moderate

Lab Protective Equip: GOGGLES; LAB COAT; VENT HOOD; PROPER GLOVES;

CLASS B EXTINGUISHER

Storage Color Code: Red (Flammable)

Potential Health Effects

Inhalation:

Causes irritation to the nose and throat. Concentrations above the TLV may cause headache, dizziness, nausea, shortness of breath, and vomiting. Higher concentrations may cause central nervous system depression and unconsciousness.

Ingestion:

May produce abdominal pain, nausea. Aspiration into lungs can produce severe lung damage and is a medical emergency. Other symptoms expected to parallel inhalation.

Skin Contact:

Causes irritation to skin. Symptoms include redness, itching, and pain. May be absorbed through the skin with possible systemic effects.

Eye Contact:

Vapors are irritating to the eyes. Splashes can produce painful irritation and eye damage.

Chronic Exposure:

Prolonged skin contact may defat the skin and produce dermatitis. Chronic exposure may cause central nervous system effects.

Aggravation of Pre-existing Conditions:

Persons with pre-existing skin disorders or eye problems or impaired respiratory function may be more susceptible to the effects of the substance.

4. First Aid Measures

Inhalation:

Remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention.

Ingestion:

Aspiration hazard. If swallowed, vomiting may occur spontaneously, but DO NOT INDUCE. If vomiting occurs, keep head below hips to prevent aspiration into lungs. Never give anything by mouth to an unconscious person. Call a physician immediately.

Skin Contact:

Immediately flush skin with plenty of soap and water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Get medical attention. Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse.

Eye Contact:

Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, lifting upper and lower eyelids occasionally. Get medical attention.

5. Fire Fighting Measures

Fire:

Flash point: -9C (16F) CC

Autoignition temperature: 404C (759F)

Flammable limits in air % by volume:

lcl: 1.4; ucl: 11.4

Extremely Flammable.

Explosion:

Above flash point, vapor-air mixtures are explosive within flammable limits noted above. Vapors can flow along surfaces to distant ignition source and flash back. Contact with strong oxidizers may cause fire. Sealed containers may rupture when heated. Sensitive to static discharge.

Fire Extinguishing Media:

Dry chemical, foam or carbon dioxide. Water spray may be used to keep fire exposed containers cool, dilute spills to nonflammable mixtures, protect personnel attempting to stop leak and disperse vapors.

Special Information:

In the event of a fire, wear full protective clothing and NIOSH-approved self-contained breathing apparatus with full facepiece operated in the pressure demand or other positive pressure mode. This highly flammable liquid must be kept from sparks, open flame, hot surfaces, and all sources of heat and ignition.

6. Accidental Release Measures

Ventilate area of leak or spill. Remove all sources of ignition. Wear appropriate personal protective equipment as specified in Section 8. Isolate hazard area. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Contain and recover liquid when possible. Use non-sparking tools and equipment. Collect liquid in an appropriate container or absorb with an inert material (e. g., vermiculite, dry sand, earth), and place in a chemical waste container. Do not use combustible materials, such as saw dust. Do not flush to sewer! If a leak or spill has not ignited, use water spray to disperse the vapors, to protect personnel attempting to stop leak, and to flush spills away from exposures. US Regulations (CERCLA) require reporting spills and releases to soil, water and air in excess of reportable quantities. The toll free number for the US Coast Guard National Response Center is (800) 424-8802.

7. Handling and Storage

Protect against physical damage. Store in a cool, dry well-ventilated location, away from any area where the fire hazard may be acute. Outside or detached storage is preferred. Separate from incompatibles. Containers should be bonded and grounded for transfers to avoid static sparks. Storage and use areas should be No Smoking areas. Use non-sparking type tools and equipment, including explosion proof ventilation. Containers of this material may be hazardous when empty since they retain product residues (vapors, liquid); observe all warnings and precautions listed for the product.

8. Exposure Controls/Personal Protection

Airborne Exposure Limits:

-OSHA Permissible Exposure Limit (PEL):
200 ppm (TWA)

-ACGIH Threshold Limit Value (TLV):
200 ppm (TWA), 300 ppm (STEL)

Ventilation System:

A system of local and/or general exhaust is recommended to keep employee exposures below the Airborne Exposure Limits. Local exhaust ventilation is generally preferred because it can control the emissions of the contaminant at its source, preventing dispersion of it into the general work area. Please refer to the ACGIH document, *Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practices*, most recent edition, for details. Use explosion-proof equipment.

Personal Respirators (NIOSH Approved):

If the exposure limit is exceeded, a full facepiece respirator with organic vapor cartridge may be worn up to 50 times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. For emergencies or instances where the exposure levels are not known, use a full-facepiece positive-pressure, air-supplied respirator. **WARNING:** Air purifying respirators do not protect workers in oxygen-deficient atmospheres.

Skin Protection:

Wear impervious protective clothing, including boots, gloves, lab coat, apron or coveralls, as appropriate, to prevent skin contact. Butyl rubber is a suitable material for personal protective equipment.

Eye Protection:

Use chemical safety goggles and/or a full face shield where splashing is possible. Maintain eye wash fountain and quick-drench facilities in work area.

9. Physical and Chemical Properties

Appearance:

Clear, colorless liquid.

Odor:

Sharp mint-like odor.

Solubility:

29 g in 100 g of water.

Specific Gravity:

0.81 @ 20C/4C

pH:

No information found.

% Volatiles by volume @ 21C (70F):

100

Boiling Point:

80C (176F)

Melting Point:

-86C (-123F)

Vapor Density (Air=1):
2.5
Vapor Pressure (mm Hg):
78 @ 20C (68F)
Evaporation Rate (BuAc=1):
2.7 (Ether = 1)

10. Stability and Reactivity

Stability:

Stable under ordinary conditions of use and storage.

Hazardous Decomposition Products:

Carbon dioxide and carbon monoxide may form when heated to decomposition.

Hazardous Polymerization:

Will not occur.

Incompatibilities:

Oxidizing materials, caustics, amines, ammonia, strong bases, chloroform, chlorosulfonic acid, oleum, potassium-t-butoxide, heat or flame, hydrogen peroxide, nitric acid. Can attack many plastics, resins and rubber.

Conditions to Avoid:

Heat, flames, ignition sources and incompatibles.

11. Toxicological Information

Toxicological Data:

Oral rat LD50: 2737 mg/kg; inhalation rat LC50: 23,500 mg/m³/8-hr; skin rabbit LD50: 6480 mg/kg; investigated as a mutagen, reproductive effector.

Reproductive Toxicity:

Has shown teratogenic effects in laboratory animals.

-----\Cancer Lists\-----			
Ingredient	---NTP Carcinogen---		IARC Category
	Known	Anticipated	
Methyl Ethyl Ketone (78-93-3)	No	No	None

12. Ecological Information

Environmental Fate:

When released into the soil, this material may leach into groundwater. When released into the soil, this material may evaporate to a moderate extent. When released into water, this material may biodegrade to a moderate extent. When released into water, this material may evaporate to a moderate extent. When released into water, this material is expected to have a half-life between 10 and 30 days. This material is not expected to significantly bioaccumulate. When released into the air, this material is expected to be readily degraded by reaction with photochemically produced hydroxyl radicals. When released into the air, this material is expected to have a half-life between 1 and 10 days.

Environmental Toxicity:

This material is not expected to be toxic to aquatic life. The LC50/96-hour values for fish are over 100 mg/l.

13. Disposal Considerations

Whatever cannot be saved for recovery or recycling should be handled as hazardous waste and sent to a RCRA approved incinerator or disposed in a RCRA approved waste facility. Processing, use or contamination of this product may change the waste management options. State and local disposal regulations may differ from federal disposal regulations. Dispose of container and unused contents in accordance with federal, state and local requirements.

14. Transport Information

Domestic (Land, D.O.T.)

Proper Shipping Name: ETHYL METHYL KETONE
Hazard Class: 3
UN/NA: UN1193
Packing Group: II
Information reported for product/size: 366LB

International (Water, I.M.O.)

Proper Shipping Name: ETHYL METHYL KETONE
Hazard Class: 3.2
UN/NA: UN1193
Packing Group: II
Information reported for product/size: 366LB

15. Regulatory Information

-----\Chemical Inventory Status - Part 1\-----				
Ingredient	TSCA	EC	Japan	Australia
Methyl Ethyl Ketone (78-93-3)	Yes	Yes	Yes	Yes
-----\Chemical Inventory Status - Part 2\-----				
Ingredient	Korea	--Canada--		Phil.
		DSL	NDSL	
Methyl Ethyl Ketone (78-93-3)	Yes	Yes	No	Yes
-----\Federal, State & International Regulations - Part 1\-----				
Ingredient	-SARA 302-		-----SARA 313-----	
	RQ	TPQ	List	Chemical Catg.
Methyl Ethyl Ketone (78-93-3)	No	No	Yes	No

-----\Federal, State & International Regulations - Part 2\-----			
Ingredient	CERCLA	-RCRA- 261.33	-TSCA- 8 (d)
Methyl Ethyl Ketone (78-93-3)	5000	U159	No
Chemical Weapons Convention: No TSCA 12(b): No CDTA: Yes			
SARA 311/312: Acute: Yes Chronic: Yes Fire: Yes Pressure: No			
Reactivity: No (Pure / Liquid)			

Australian Hazchem Code: 2[Y]E

Poison Schedule: S5

WHMIS:

This MSDS has been prepared according to the hazard criteria of the Controlled Products Regulations (CPR) and the MSDS contains all of the information required by the CPR.

16. Other Information

NFPA Ratings: Health: 3 Flammability: 3 Reactivity: 0

Label Hazard Warning:

DANGER! EXTREMELY FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. VAPOR MAY CAUSE FLASH FIRE. HARMFUL OR FATAL IF SWALLOWED. HARMFUL IF INHALED OR ABSORBED THROUGH SKIN. AFFECTS CENTRAL NERVOUS SYSTEM. CAUSES IRRITATION TO SKIN, EYES AND RESPIRATORY TRACT.

Label Precautions:

Keep away from heat, sparks and flame.

Keep container closed.

Use only with adequate ventilation.

Wash thoroughly after handling.

Avoid breathing vapor.

Avoid contact with eyes, skin and clothing.

Label First Aid:

Aspiration hazard. If swallowed, vomiting may occur spontaneously, but DO NOT INDUCE. If vomiting occurs, keep head below hips to prevent aspiration into lungs.

Never give anything by mouth to an unconscious person. In case of contact, immediately flush eyes or skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. In all cases, get medical attention.

Product Use:

Laboratory Reagent.

ภาคผนวก ง.3 ไซโคลเฮกซะโนน

CYCLOHEXANONE

MSDS Number: C7051

1. Product Identification

Synonyms: Pimelic ketone; Cyclohexyl ketone; Ketoexamethylene

CAS No.: 108-94-1

Molecular Weight: 98.14

Chemical Formula: C₆H₁₀O

Product Codes:

J.T. Baker: 5881, 5882, 9209, 9210, G032

Mallinckrodt: 4872, 4876

2. Composition/Information on Ingredients

Ingredient	CAS No	Percent	Hazardous
Cyclohexanone	108-94-1	99 - 100%	Yes

3. Hazards Identification

Emergency Overview

WARNING! FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. HARMFUL IF SWALLOWED, INHALED OR ABSORBED THROUGH SKIN. AFFECTS CENTRAL NERVOUS SYSTEM, LIVER AND KIDNEYS. CAUSES IRRITATION TO SKIN, EYES AND RESPIRATORY TRACT.

Health Rating: 2 - Moderate

Flammability Rating: 2 - Moderate

Reactivity Rating: 1 - Slight

Contact Rating: 2 - Moderate

Lab Protective Equip: GOGGLES; LAB COAT; VENT HOOD; PROPER GLOVES;
CLASS B EXTINGUISHER.

Storage Color Code: Red (Flammable)

Potential Health Effects

Inhalation:

Causes irritation to the respiratory tract. Symptoms may include coughing, shortness of breath. High concentrations have a narcotic effect. Irritation effects normally prevent exposures high enough to cause systemic effects.

Ingestion:

May produce abdominal pain, nausea. Aspiration into lungs can produce severe lung damage and is a medical emergency. Other symptoms expected to parallel inhalation.

Skin Contact:

Causes irritation to skin. Symptoms include redness, itching, and pain. May be absorbed through the skin with possible systemic effects.

Eye Contact:

Vapors may cause irritation. Contact may cause corneal injury.

Chronic Exposure:

Prolonged or repeated exposure may cause skin rash or dermatitis. Damage to the liver and kidneys may occur.

Aggravation of Pre-existing Conditions:

Persons with pre-existing skin, eye or central nervous system disorders, or impaired liver, kidney, or pulmonary function may be more susceptible to the effects of this substance.

4. First Aid Measures

Inhalation:

Remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Call a physician.

Ingestion:

Give large amounts of water to drink. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical attention.

Skin Contact:

In case of contact, immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. Call a physician.

Eye Contact:

Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, lifting lower and upper eyelids occasionally. Get medical attention immediately.

Note to Physician:

In small ingestions the major concern is aspiration and gastrointestinal decontamination is not recommended. With larger ingestions there is potential for systemic toxicity from gastrointestinal absorption and decontamination is suggested, keeping in mind that aspiration is still a concern.

5. Fire Fighting Measures

Fire:

Flash point: 43.9C (111F)

Autoignition temperature: 420C (788F)

Flammable limits in air % by volume:

lcl: 1.1; ucl: 9.4

Flammable. (lcl @ 100C)

Explosion:

Above flash point, vapor-air mixtures are explosive within flammable limits noted above. Vapors can flow along surfaces to distant ignition source and flash back. Contact with strong oxidizers may cause fire. Sealed containers may rupture when heated. Sensitive to static discharge.

Fire Extinguishing Media:

Dry chemical, foam or carbon dioxide. Water spray may be used to keep fire exposed containers cool, dilute spills to nonflammable mixtures, protect personnel attempting to stop leak and disperse vapors.

Special Information:

In the event of a fire, wear full protective clothing and NIOSH-approved self-contained breathing apparatus with full facepiece operated in the pressure demand or other positive pressure mode.

6. Accidental Release Measures

Ventilate area of leak or spill. Remove all sources of ignition. Wear appropriate personal protective equipment as specified in Section 8. Isolate hazard area. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Contain and recover liquid when possible. Use non-sparking tools and equipment. Collect liquid in an appropriate container or absorb with an inert material (e. g., vermiculite, dry sand, earth), and place in a chemical waste container. Do not use combustible materials, such as saw dust. Do not flush to sewer! If a leak or spill has not ignited, use water spray to disperse the vapors, to protect personnel attempting to stop leak, and to flush spills away from exposures. US Regulations (CERCLA) require reporting spills and releases to soil, water and air in excess of reportable quantities. The toll free number for the US Coast Guard National Response Center is (800) 424-8802.

7. Handling and Storage

Protect against physical damage. Store in a cool, dry well-ventilated location, away from any area where the fire hazard may be acute. Outside or detached storage is preferred. Separate from incompatibles. Containers should be bonded and grounded for transfers to avoid static sparks. Storage and use areas should be No Smoking areas. Use non-sparking type tools and equipment, including explosion proof ventilation. Containers of this material may be hazardous when empty since they retain product residues (vapors, liquid); observe all warnings and precautions listed for the product.

8. Exposure Controls/Personal Protection

Airborne Exposure Limits:

-OSHA Permissible Exposure Limit (PEL): 50 ppm

-ACGIH Threshold Limit Value (TLV): 25 ppm (TWA) skin

Ventilation System:

A system of local and/or general exhaust is recommended to keep employee exposures below the Airborne Exposure Limits. Local exhaust ventilation is generally preferred because it can control the emissions of the contaminant at its source, preventing dispersion of it into the general work area. Please refer to the ACGIH document, *Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practices*, most recent edition, for details.

Personal Respirators (NIOSH Approved):

If the exposure limit is exceeded, a half-face organic vapor respirator may be worn for up to ten times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. A full-face piece organic vapor respirator may be worn up to 50 times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. For emergencies or instances where the exposure levels are not known, use a full-face piece positive-pressure, air-supplied respirator. **WARNING:** Air-purifying respirators do not protect workers in oxygen-deficient atmospheres.

Skin Protection:

Wear impervious protective clothing, including boots, gloves, lab coat, apron or coveralls, as appropriate, to prevent skin contact.

Eye Protection:

Use chemical safety goggles and/or a full face shield where splashing is possible. Maintain eye wash fountain and quick-drench facilities in work area.

9. Physical and Chemical Properties

Appearance:

Clear, colorless to slightly yellow, oily liquid.

Odor:

Odor is like acetone and peppermint.

Solubility:

15% in water @ 10C (50F).

Specific Gravity:

0.94 @ 25C/4C

pH:

No information found.

% Volatiles by volume @ 21C (70F):

100

Boiling Point:

155C (311F)

Melting Point:

-31C (-24F)

Vapor Density (Air=1):
3.4
Vapor Pressure (mm Hg):
5 @ 26C (79F)
Evaporation Rate (BuAc=1):
0.29

10. Stability and Reactivity

Stability:

Stable under ordinary conditions of use and storage.

Hazardous Decomposition Products:

Carbon dioxide and carbon monoxide may form when heated to decomposition.

Hazardous Polymerization:

Will not occur.

Incompatibilities:

Strong oxidizing agents. May cause spontaneous ignition and violent reaction. May attack plastics, resins, and rubber.

Conditions to Avoid:

Heat, flames, ignition sources and incompatibles.

11. Toxicological Information

Oral rat LD50: 1620 mg/kg; Inhalation rat LC50: 8000ppm/4-hour; Skin rabbit LD50: 1 mL/kg; Irritation: eye rabbit, Standard Draize: 20 mg, severe; skin rabbit, Open Draize: 500 mg, mild. Investigated as a tumorigen, mutagen and reproductive effector.

-----\Cancer Lists\-----

Ingredient	---NTP Carcinogen---		IARC Category
	Known	Anticipated	
Cyclohexanone (108-94-1)	No	No	3

12. Ecological Information

Environmental Fate:

When released into the soil, this material is expected to readily biodegrade. When released into the soil, this material is expected to quickly evaporate. When released into the soil, this material is expected to leach into groundwater. When released into water, this material may evaporate to a moderate extent. When released into water, this material may biodegrade to a moderate extent. This material has an estimated bioconcentration factor (BCF) of less than 100. This material is not expected to significantly bioaccumulate. When released into the air, this material is expected to be readily degraded by reaction with photochemically produced hydroxyl radicals. When released into the air, this material is expected to have a half-life between 1 and 10 days.

Environmental Toxicity:

The LC50/96-hour values for fish are over 100 mg/l.

13. Disposal Considerations

Whatever cannot be saved for recovery or recycling should be handled as hazardous waste and sent to a RCRA approved incinerator or disposed in a RCRA approved waste facility. Processing, use or contamination of this product may change the waste management options. State and local disposal regulations may differ from federal disposal regulations. Dispose of container and unused contents in accordance with federal, state and local requirements.

14. Transport Information

Domestic (Land, D.O.T.)

Proper Shipping Name: CYCLOHEXANONE
Hazard Class: 3
UN/NA: UN1915
Packing Group: III
Information reported for product/size: 425LB

International (Water, I.M.O.)

Proper Shipping Name: CYCLOHEXANONE
Hazard Class: 3.3
UN/NA: UN1915
Packing Group: III
Information reported for product/size: 425LB

International (Air, I.C.A.O.)

Proper Shipping Name: CYCLOHEXANONE
Hazard Class: 3
UN/NA: UN1915
Packing Group: III
Information reported for product/size: 425LB

15. Regulatory Information

-----\Chemical Inventory Status - Part 1\-----
Ingredient TSCA EC Japan Australia

Cyclohexanone (108-94-1) Yes Yes Yes Yes

-----\Chemical Inventory Status - Part 2\-----
Ingredient Korea DSL NDSL Phil. --Canada--

Cyclohexanone (108-94-1)	Yes	Yes	No	Yes
-----\Federal, State & International Regulations - Part 1\-----				
	-SARA 302-		-----SARA 313-----	
Ingredient	RQ	TPQ	List	Chemical Catg.
Cyclohexanone (108-94-1)	No	No	No	No
-----\Federal, State & International Regulations - Part 2\-----				
	-RCRA-		-TSCA-	
Ingredient	CERCLA	261.33	8 (d)	
Cyclohexanone (108-94-1)	5000	U057	No	

Chemical Weapons Convention: No TSCA 12(b): No CDTA: No
SARA 311/312: Acute: Yes Chronic: Yes Fire: Yes Pressure: No
Reactivity: No (Pure / Liquid)

Australian Hazchem Code: 3[Y]

Poison Schedule: No information found.

WHMIS:

This MSDS has been prepared according to the hazard criteria of the Controlled Products Regulations (CPR) and the MSDS contains all of the information required by the CPR.

16. Other Information

NFPA Ratings: Health: 1 Flammability: 2 Reactivity: 0

Label Hazard Warning:

WARNING! FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. HARMFUL IF SWALLOWED, INHALED OR ABSORBED THROUGH SKIN. AFFECTS CENTRAL NERVOUS SYSTEM, LIVER AND KIDNEYS. CAUSES IRRITATION TO SKIN, EYES AND RESPIRATORY TRACT.

Label Precautions:

Avoid contact with eyes, skin and clothing.

Avoid breathing vapor or mist.

Keep container closed.

Keep away from heat, sparks and flame.

Wash thoroughly after handling.

Use only with adequate ventilation.

Label First Aid:

If swallowed, give large amounts of water to drink. Never give anything by mouth to an unconscious person. If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. In case of contact, immediately flush eyes or skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. In all cases call a physician.

Product Use:

Laboratory Reagent.

ภาคผนวก ง.4 บิวทิล อะซิเตท

N-BUTYL ACETATE

MSDS Number: B6184 --- *Effective Date: 08/31/00*

1. Product Identification

Synonyms: 1-Butyl acetate; butyl ethanoate; acetic acid, n-butyl ester

CAS No.: 123-86-4

Molecular Weight: 116.16

Chemical Formula: C₆H₁₂O₂

Product Codes:

J.T. Baker: 5365, 5681, 9159, 9161, 9164, 9171, 9173, 9191, D683

Mallinckrodt: 1820, H984

2. Composition/Information on Ingredients

Ingredient	CAS No	Percent	Hazardous
n-Butyl Acetate	123-86-4	90 - 100%	Yes

3. Hazards Identification

Emergency Overview

WARNING! FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. HARMFUL IF SWALLOWED OR INHALED. CAUSES SEVERE IRRITATION TO EYES. CAUSES IRRITATION TO SKIN AND RESPIRATORY TRACT. AFFECTS CENTRAL NERVOUS SYSTEM.

Health Rating: 1 - Slight

Flammability Rating: 3 - Severe (Flammable)

Reactivity Rating: 1 - Slight

Contact Rating: 1 - Slight

Lab Protective Equip: GOGGLES; LAB COAT; VENT HOOD; PROPER GLOVES;

CLASS B EXTINGUISHER

Storage Color Code: Red (Flammable)

Potential Health Effects

Inhalation:

Causes irritation to the respiratory tract. Symptoms may include coughing, shortness of breath. High concentrations have a narcotic effect.

Ingestion:

Irritant to tissues. Sore throat, abdominal pain, nausea, vomiting, diarrhea are the symptoms. Expected to have a narcotic effect. One ounce may produce severe poisoning.

Skin Contact:

This material degrades the skin. Irritation and discoloration of the skin are symptoms. Skin allergy occasionally develops. Persons who have become allergic can develop rash upon future exposure to low levels.

Eye Contact:

Vapors cause eye irritation. Splashes cause severe irritation, possible corneal burns and eye damage.

Chronic Exposure:

Repeated or prolonged skin contact may defat the skin and produce irritation and dermatitis. Kidney and liver damage are reported in animals.

Aggravation of Pre-existing Conditions:

Persons with pre-existing skin disorders or eye problems, or impaired liver, kidney or respiratory function may be more susceptible to the effects of the substance.

4. First Aid Measures

Inhalation:

Remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention.

Ingestion:

Induce vomiting immediately as directed by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical attention.

Skin Contact:

Immediately flush skin with plenty of soap and water for at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes. Get medical attention. Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse.

Eye Contact:

Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, lifting lower and upper eyelids occasionally. Get medical attention immediately.

5. Fire Fighting Measures

Fire:

Flash point: 26C (79F) CC

Autoignition temperature: 425C (797F)

Flammable limits in air % by volume:

lcl: 1.7; ucl: 7.6

Explosion:

Above flash point, vapor-air mixtures are explosive within flammable limits noted above. Vapors can flow along surfaces to distant ignition source and flash back. Sensitive to static discharge.

Fire Extinguishing Media:

Dry chemical, alcohol foam or carbon dioxide. Water may be ineffective. Water spray may be used to keep fire exposed containers cool.

Special Information:

In the event of a fire, wear full protective clothing and NIOSH-approved self-contained breathing apparatus with full facepiece operated in the pressure demand or other positive pressure mode.

6. Accidental Release Measures

Ventilate area of leak or spill. Remove all sources of ignition. Wear appropriate personal protective equipment as specified in Section 8. Isolate hazard area. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Contain and recover liquid when possible. Use non-sparking tools and equipment. Collect liquid in an appropriate container or absorb with an inert material (e. g., vermiculite, dry sand, earth), and place in a chemical waste container. Do not use combustible materials, such as saw dust. Do not flush to sewer! US Regulations (CERCLA) require reporting spills and releases to soil, water and air in excess of reportable quantities. The toll free number for the US Coast Guard National Response Center is (800) 424-8802. If a leak or spill has not ignited, use water spray to disperse the vapors, to protect personnel attempting to stop leak, and to flush spills away from exposures.

7. Handling and Storage

Protect against physical damage. Store in a cool, dry well-ventilated location, away from any area where the fire hazard may be acute. Outside or detached storage is preferred. Separate from incompatibles. Containers should be bonded and grounded for transfers to avoid static sparks. Storage and use areas should be No Smoking areas. Use non-sparking type tools and equipment, including explosion proof ventilation. Do Not attempt to clean empty containers since residue is difficult to remove. Do not pressurize, cut, weld, braze, solder, drill, grind or expose such containers to heat, sparks, flame, static electricity or other sources of ignition: they may explode and cause injury or death. Containers of this material may be hazardous when empty since they retain product residues (vapors, liquid); observe all warnings and precautions listed for the product.

8. Exposure Controls/Personal Protection

Airborne Exposure Limits:

-OSHA Permissible Exposure Limit (PEL):

150 ppm (TWA)

- ACGIH Threshold Limit Value (TLV)

150 ppm (TWA), 200 ppm (STEL)

Ventilation System:

A system of local and/or general exhaust is recommended to keep employee exposures below the Airborne Exposure Limits. Local exhaust ventilation is generally preferred because it can control the emissions of the contaminant at its source, preventing dispersion of it into the general work area. Please refer to the ACGIH document, *Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practices*, most recent edition, for details. Use explosion-proof equipment.

Personal Respirators (NIOSH Approved):

If the exposure limit is exceeded, a half-face organic vapor respirator may be worn for up to ten times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. A full-face piece organic vapor respirator may be worn up to 50 times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. For emergencies or instances where the exposure levels are not known, use a full-face piece positive-pressure, air-supplied respirator. **WARNING:** Air-purifying respirators do not protect workers in oxygen-deficient atmospheres.

Skin Protection:

Wear impervious protective clothing, including boots, gloves, lab coat, apron or coveralls, as appropriate, to prevent skin contact.

Eye Protection:

Maintain eye wash fountain and quick-drench facilities in work area. Use chemical safety goggles and/or full face shield where dusting or splashing of solutions is possible.

9. Physical and Chemical Properties

Appearance:

Clear, colorless liquid.

Odor:

Mild, fruity odor.

Solubility:

Slightly soluble in water (ca. 0.7% @ 20C)

Specific Gravity:

0.8822 at 20C/20C

pH:

No information found.

% Volatiles by volume @ 21C (70F):

100

Boiling Point:

126C (259F)

Melting Point:

-77C (-107F)

Vapor Density (Air=1):

4.0

Vapor Pressure (mm Hg):

15 @ 25C (77F)

Evaporation Rate (BuAc=1):

1

10. Stability and Reactivity

Stability:

Stable under ordinary conditions of use and storage.

Hazardous Decomposition Products:

Carbon dioxide and carbon monoxide may form when heated to decomposition.

Hazardous Polymerization:

Will not occur.

Incompatibilities:

Dangerous when exposed to heat or flame; can react with oxidizing materials, strong alkalis, acids, nitrates and potassium-tert-butoxide.

Conditions to Avoid:

Heat, flames, ignition sources and incompatibles.

11. Toxicological Information

Toxicological Data:

Oral rat LD50: 10.8 g/kg; inhalation rat LC50: 2000 ppm/4H; Skin rabbit LD50: 17,600 mg/kg; Irritant, skin rabbit (Std. Draize): 500 mg/24H, moderate. Irritant, eye rabbit: 20 mg open, severe. Investigated as a reproductive effector.

Reproductive Toxicity:

Has shown teratogenic effects in laboratory animals.

-----\Cancer Lists\-----			
Ingredient	---NTP Carcinogen---		IARC Category
	Known	Anticipated	
n-Butyl Acetate (123-86-4)	No	No	None

12. Ecological Information

Environmental Fate:

When released into the soil, this material is expected to readily biodegrade. When released into the soil, this material may leach into groundwater. When released into the soil, this material is expected to have a half-life of less than 1 day. When released into water, this material is expected to readily biodegrade. When released into the water, this material is expected to have a half-life between 1 and 10 days. This material has an estimated bioconcentration factor (BCF) of less than 100. When released into the air, this material may be moderately degraded by reaction with photochemically produced hydroxyl radicals.

Environmental Toxicity:

The LC50/96-hour values for fish are between 10 and 100 mg/l.

13. Disposal Considerations

Whatever cannot be saved for recovery or recycling should be handled as hazardous waste and sent to a RCRA approved waste facility. Processing, use or contamination of this product may change the waste management options. State and local disposal regulations may differ from federal disposal regulations. Dispose of container and unused contents in accordance with federal, state and local requirements.

14. Transport Information

Domestic (Land, D.O.T.)

Proper Shipping Name: BUTYL ACETATES
Hazard Class: 3
UN/NA: UN1123
Packing Group: III
Information reported for product/size: 400LB

International (Water, I.M.O.)

Proper Shipping Name: BUTYL ACETATES
Hazard Class: 3.3
UN/NA: UN1123
Packing Group: III
Information reported for product/size: 400LB

15. Regulatory Information

-----\Chemical Inventory Status - Part 1\-----				
Ingredient	TSCA	EC	Japan	Australia
n-Butyl Acetate (123-86-4)	Yes	Yes	Yes	Yes
-----\Chemical Inventory Status - Part 2\-----				
Ingredient	Korea	--Canada-- DSL NDSL		Phil.
n-Butyl Acetate (123-86-4)	Yes	Yes	No	Yes
-----\Federal, State & International Regulations - Part 1\-----				
Ingredient	-SARA 302- RQ	TPQ	-SARA 313- List	Chemical Catg.
n-Butyl Acetate (123-86-4)	No	No	No	No

-----\Federal, State & International Regulations - Part 2\-----			
Ingredient	CERCLA	-RCRA- 261.33	-TSCA- 8 (d)
n-Butyl Acetate (123-86-4)	5000	No	No

Chemical Weapons Convention: No TSCA 12(b): Yes CDTA: No
 SARA 311/312: Acute: Yes Chronic: Yes Fire: Yes Pressure: No
 Reactivity: No (Pure / Liquid)

Australian Hazchem Code: 3[Y]E

Poison Schedule: No information found.

WHMIS:

This MSDS has been prepared according to the hazard criteria of the Controlled Products Regulations (CPR) and the MSDS contains all of the information required by the CPR.

16. Other Information

NFPA Ratings: Health: 1 Flammability: 3 Reactivity: 0

Label Hazard Warning:

WARNING! FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. HARMFUL IF SWALLOWED OR INHALED. CAUSES SEVERE IRRITATION TO EYES. CAUSES IRRITATION TO SKIN AND RESPIRATORY TRACT. AFFECTS CENTRAL NERVOUS SYSTEM.

Label Precautions:

Keep away from heat, sparks and flame.
 Keep container closed.
 Use only with adequate ventilation.
 Avoid contact with eyes, skin and clothing.
 Wash thoroughly after handling.
 Avoid breathing vapor.

Label First Aid:

In case of contact, immediately flush eyes or skin with plenty of water for at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. If swallowed, induce vomiting immediately as directed by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. In all cases, get medical attention.

Product Use:

Laboratory Reagent.

ภาคผนวก จ

บทความสำหรับเผยแพร่

ภาคผนวก จ

บทความสำหรับเผยแพร่

สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย หรือ Volatile Organic Compounds (VOCs) หมายถึงสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดที่สามารถระเหยสู่บรรยากาศ ณ สภาวะปกติที่ใช้งาน VOCs เหล่านี้สามารถก่อให้เกิดโอโซนในชั้นบรรยากาศระดับล่าง (Low Level Ozone) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และเป็นส่วนประกอบหลักในชั้นหมอกที่ครอบคลุมผิวโลกในระดับล่าง แหล่งกำเนิดของ VOCs เหล่านี้ได้แก่ การเผาไหม้ในยานพาหนะ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การระเหยของสารเคมีในสถานบริการน้ำมัน โรงพิมพ์ อุตสาหกรรมไม้ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมผลิตเครื่องอุปโภคบริโภคต่างๆ เป็นต้น

ประเทศไทยมีการนำเข้าและผลิตสารเคมีซึ่งเป็นวัตถุดิบอันตรายมากกว่า 1 ล้านตันต่อปี จำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของสารเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย หรือ VOCs ซึ่ง VOCs สามารถระเหยได้ง่ายจากการจัดเก็บ การขนส่ง และในที่สุดก็ระเหยออกสู่บรรยากาศทั้งหมดจากการนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

การศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศนี้ ได้ศึกษาโดยเน้นไปที่อุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าวัสดุและพิมพ์สี VOCs ที่นิยมใช้กันในกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ได้แก่ โทลูอีน เมทิล เอทิล คีโตน และไซโคลเฮกซะโนน จากการคาดการณ์ปริมาณการใช้ VOCs ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าวัสดุและพิมพ์สี เช่น อุตสาหกรรมผลิตสายพาน (V-Belt) อุตสาหกรรมผลิตเทปกาว อุตสาหกรรมตกแต่งแผ่นพีวีซี อุตสาหกรรมตกแต่งสิ่งทอ (ผ้าผืน) เป็นต้น พบว่ามีการใช้ VOCs เป็นจำนวนประมาณ 11.6 ล้านลิตรต่อปี (ประมาณ 9,500 ตันต่อปี) หรือคิดเป็นมูลค่า 192.4 ล้านบาทต่อปี VOCs เหล่านี้ถูกใช้ในกระบวนการเคลือบผิววัสดุ โดยผสมลงไปในสีหรือตัวเคลือบ เพื่อให้สีหรือสารที่ใช้เคลือบมีค่าความหนืดต่ำ ทำให้เคลือบผิวหน้าวัสดุได้ง่าย VOCs อีกจำนวนหนึ่งจะใช้ในขั้นตอนการล้างอุปกรณ์ต่างๆ โดยส่วนใหญ่แล้วอุตสาหกรรมเหล่านี้ยังไม่มีมาตรการติดตั้งระบบเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้น VOCs จึงระเหยออกจากกระบวนการผลิต และถูกระบายออกสู่บรรยากาศในที่สุด

การลดหรือเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่สูญเสียเหล่านี้ได้จะก่อให้เกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

- สามารถลดปริมาณการใช้สารใหม่ในกระบวนการผลิต ซึ่งหมายถึงการลดต้นทุนในสถานประกอบการ
- ลดความเสี่ยงด้านสุขภาพเนื่องจากการสูดดมไอระเหยของสารอินทรีย์นี้
- ลดมลภาวะทางอากาศ เช่น การเกิดหมอกเนื่องจากไอของสารอินทรีย์ในบรรยากาศ

เทคนิคการเก็บกลับคืนที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ การดูดซับ (Adsorption) การดูดกลืน (Absorption) และ การควบแน่น (Condensation) การเลือกใช้เทคนิคใดขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ เช่น VOCs ที่ระเหยเป็นชนิดใด สารชนิดใดที่ต้องการเก็บกลับคืน ความเข้มข้นของสาร

ลักษณะเฉพาะตัวของสาร ประสิทธิภาพของการเก็บกลับคืนที่ต้องการ ข้อกำหนดของสถานที่ เงินลงทุนสำหรับการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และระบบต่างๆ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) อายุการใช้งานของระบบ เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ เทคโนโลยีที่เลือกใช้คือเทคโนโลยีการดูดซับโดยใช้ Activated Carbon ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเก็บกลับคืน VOCs ที่อยู่ในสถานะก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยสามารถเก็บกลับคืน VOCs ได้กว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 200-300 พีพีเอ็ม และที่ความเข้มข้นมากกว่า 1,000 พีพีเอ็ม สามารถเก็บกลับคืนได้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่อากาศของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการทั้ง 2 โรงงาน พบว่า โรงงาน ก มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 145.2 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 5.15 ล้านบาท โรงงาน ข มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 415.5 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 14.06 ล้านบาท (คิดเฉพาะเครื่องพิมพ์สี 2 เครื่อง จากจำนวนเครื่องพิมพ์สีทั้งหมด 7 เครื่อง) ทั้ง 2 โรงงานยังไม่มีระบบเก็บกลับคืน การติดตั้งระบบเก็บกลับคืนจะได้ประโยชน์อย่างมากทั้งในแง่การประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงงาน และในแง่ของสุขภาพพนักงานตลอดจนสภาพสิ่งแวดล้อมของชุมชน

จากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 2 โรงงาน พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งระบบเก็บกลับคืน เมื่อคิดประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนรวมเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ โรงงาน ก จะสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 123 ตันต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 4.37 ล้านบาท โดยราคาประเมินของอุปกรณ์และเครื่องมือของระบบเก็บกลับคืนของโรงงาน ก เท่ากับ 4.36 ล้านบาท มีค่า IRR ของการลงทุนเท่ากับ 66.56 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.5 ปี ส่วนโรงงาน ข จะสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 353.2 ตันต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 13.03 ล้านบาท ราคาประเมินของอุปกรณ์และเครื่องมือของระบบเก็บกลับคืนของโรงงานเท่ากับ 7.6 ล้านบาท มีค่า IRR ของการลงทุนเท่ากับ 101.78 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 11.7 เดือน

ภาคผนวก จ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และ
กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ภาคผนวก จ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และ กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ตารางที่ จ.1 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และผลการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์	ผลการดำเนินงาน
1. เพื่อศึกษาถึงชนิดของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่ใช้มากในประเทศ และ ประเภทอุตสาหกรรมที่ใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเหล่านั้น อัตราการใช้ อัตราการสูญเสียสู่บรรยากาศ และ มูลค่าของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียไป	➢ การศึกษาได้เจาะจงไปที่อุตสาหกรรมเคลือบผิว หน้าวาสุดและพิมพ์สี เนื่องจากมีการใช้ VOCs มาก และ VOCs เมื่อถูกใช้ไปในกระบวนการผลิตแล้วจะถูกระบายออกสู่บรรยากาศทั้งหมด ➢ VOCs ที่นิยมใช้กันในกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ได้แก่ โทลูอิน เมทิล เอทิล คีโตน และไซโคลเฮกซะโนน ➢ อัตราการใช้ VOCs เหล่านี้ในอุตสาหกรรมเป้าหมายโดยประมาณเท่ากับ 11.6 ล้านลิตรต่อปี (ประมาณ 9,500 ตันต่อปี) หรือคิดเป็นมูลค่า 192.4 ล้านบาทต่อปี
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายมาใช้ใหม่ โดยระบุชนิดของสารอินทรีย์เป้าหมาย	ศึกษาความเป็นไปได้โดยมีโรงงานเข้าร่วมโครงการจำนวน 2 โรงงาน โดยโรงงาน ก มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 145.2 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 5.15 ล้านบาท ค่า IRR เท่ากับ 66.56 เปอร์เซ็นต์ (ระยะเวลาดำเนินทุนเท่ากับ 1.5 ปี) โรงงาน ข มีปริมาณการใช้ตัวทำละลาย 415.5 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 14.06 ล้านบาท ค่า IRR เท่ากับ 101.78 เปอร์เซ็นต์ (ระยะเวลาดำเนินทุนเท่ากับ 11.7 เดือน)
3. เพื่อหาเทคโนโลยีและวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสูญเสียและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์เป้าหมายแต่ละชนิด	เทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการเก็บกลับคืน VOCs คือ เทคโนโลยีการดูดซับโดยใช้ Activated Carbon เนื่องจากเหมาะสมสำหรับการเก็บกลับคืน VOCs ในรูปของก๊าซ และสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 90+ เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ 200-300 พีพีเอ็ม และที่ความเข้มข้นมากกว่า 1,000 พีพีเอ็ม สามารถเก็บกลับคืนได้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ จ.1 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และผลการดำเนินงาน (ต่อ)

วัตถุประสงค์	ผลการดำเนินงาน
4. เพื่อเสริมสร้างจิตสำนึกทางด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่สถานประกอบการในแง่ของการปล่อยสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศ	ตลอดช่วงเวลาที่ติดต่ออุตสาหกรรมเพื่อหาโรงงานมาเข้าร่วมโครงการ คณะผู้วิจัยได้พยายามโน้มน้าวให้อุตสาหกรรมตระหนักถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อมและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการปล่อยสาร VOCs ออกสู่บรรยากาศ
5. เพื่อจัดทำข้อเสนอโครงการโดยละเอียดของโครงการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศในโรงงานอุตสาหกรรมและ สร้างอุปกรณ์ต้นแบบของระบบการเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายมาใช้ใหม่	กำลังจะเสนอโครงการต่อเนื่องให้แก่ สกว. พิจารณา โดยบริษัท ที. ที. คอนซัลติ้ง แอนด์ อินเตอร์เทรด จำกัด และ โรงงาน ข ยินดีที่จะเป็น Counter Part ในส่วนของเอกชน

ตารางที่ จ.2 การเปรียบเทียบกิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. ระบุนิสัยของสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่ายที่ก่อให้เกิดปัญหาการสูญเสียออกสู่อากาศ และปัญหาของมลภาวะทางอากาศ	ระบุนิสัยของสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่ายที่จะทำการศึกษา	เลือก Toluene และ Methyl Ethyl Ketone (MEK) เป็นตัวทำละลายเป้าหมาย โดยจะกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการพิมพ์สี หรือเคลือบผิวหน้าวัสดุ	
2. ทำวารสารปริทรรศน์ (Literature Survey) ตลอดจนศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่าย	ได้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่าย	เลือกกระบวนการดูดซับ (Adsorption) เนื่องจากสามารถเก็บกลับคืนสารอินทรีย์ได้ 90+ เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ 200-300 พีพีเอ็ม และที่ความเข้มข้นมากกว่า 1,000 พีพีเอ็ม สามารถเก็บกลับคืนได้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์	
3. ดำรวจข้อมูลจากอุตสาหกรรมที่ใช้สารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่าย (อย่างน้อย 2 โรงงาน)	มีโรงงานเข้าร่วมโครงการจำนวน 2 โรงงาน	มีโรงงานเข้าร่วมโครงการจำนวน 2 โรงงาน	

ตารางที่ ข.2 การเปรียบเทียบกิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
4. ศึกษาความเป็นไปได้ของการลดและเก็บกลับคืนสารอินทรีย์เป้าหมายที่ระเหยง่ายที่สูญเสียออกสู่บรรยากาศเพื่อกลับมาใช้ใหม่ด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม (รวมการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์)	ผลของการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (รวมการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์) ของทั้งสองโรงงาน	ดำเนินงานแล้วเสร็จจำนวน 2 โรงงาน แต่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างอากาศจากโรงงาน ก มาวิเคราะห์ผลได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านสถานที่ของโรงงาน จึงทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างอากาศให้ได้ค่าที่ต้องเพียงพอที่จะนำมาออกแบบระบบเก็บกลับคืนได้	
5. ออกแบบเบื้องต้นสำหรับสารอินทรีย์แต่ละชนิดเป็นกรณีๆ ไป ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และ ลักษณะการวางเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ของโรงงาน	ผลการออกแบบเบื้องต้นของทั้งสองโรงงาน	ดำเนินงานแล้วเสร็จจำนวน 2 โรงงาน	
6. วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการทางเศรษฐศาสตร์	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	ดำเนินงานแล้วเสร็จจำนวน 2 โรงงาน	
7. จัดทำข้อเสนอโครงการโดยละเอียด	ข้อเสนอโครงการโดยละเอียดของโครงการต่อเนื่อง	กำลังอยู่ในระหว่างการจัดทำ และจะเสนอโครงการต่อเนื่องให้ สกว. พิจารณา	บริษัท พี. ที. คอนสตรัคติฟแออนด์อินเตอร์เทรด จำกัด และ โรงงาน ข ยินดีที่จะเป็น Counter Part ในส่วนของเอกชน