

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาปริมาณ โอโซน แคนเมียมและตะกั่วในอากาศภายในอาคาร



เลขหม.....  
เลขทะเบียน 49249  
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

b.....  
i.....

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on a level of Ozone , Cadmium and Lead in indoor air



Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Environmental Resource Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาปริมาณ โอโซน แคนเมียมและตะกั่วในอากาศภายในอาคาร

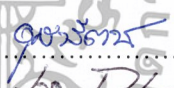


นักศึกษา นฤพล ไทยบำรุงวิวัฒน์  
ภัทรีพันธ์ เป้าแย้ม  
วนิดา ตรีนักสิทธิ์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กฤษณัฐ สุวรรณรัตน์  
ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร. อุดารัตน์ ภักดีสุข	 ทักอึ้งงู
กรรมการ ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
กรรมการ อาจารย์กฤษณัฐ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน	



(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาปริมาณไอโซน แคนเมียมและตะกั่วในอากาศภายในอาคาร	
นักศึกษา	นายณฤพล	ไทยบำรุงวิวัฒน์
	นางสาวกัทธิพันธ์	เป้าแย้ม
	นางสาววนิดา	ตรีลักษณ์สิทธิ์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2545	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กัลสินสุคนธ์	สุวรรณรัตน์
	ดร.สุวรรณณี	จรรยาพูน

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาหาปริมาณ ไอโซน แคนเมียม และตะกั่วในอากาศภายในอาคารที่ สหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ และห้องสมุดภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การทดลองทำโดยการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศ ส่วนบุคคล และวัดปริมาณ ไอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยเครื่องยูวีวิสซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตรและ 550 นาโนเมตร ตามลำดับ เก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยกระดาษกรองชนิด Mixed cellulose ester membrane filter นำมาย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟ และหาปริมาณ แคนเมียมและตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าสหกรณ์คณะ วิศวกรรมศาสตร์มีปริมาณ ไอโซนอยู่ในช่วง  $4.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $4.6 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณฝุ่นอยู่ใน ช่วง  $2.5 \times 10^{-4}$  ถึง  $1.9 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณแคนเมียมมีค่า  $5.9 \times 10^{-4}$  ส่วนใน พันล้านส่วน และตะกั่วอยู่ในช่วง  $4.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $4.8 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน ส่วนในห้องสมุด ภาควิชาเคมี มีปริมาณ ไอโซนอยู่ในช่วง  $4.4 \times 10^{-3}$  ถึง  $9.3 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณฝุ่นอยู่ใน ช่วง  $2.1 \times 10^{-4}$  ถึง  $7.8 \times 10^{-4}$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณแคนเมียมอยู่ในช่วง  $3.8 \times 10^{-4}$  ถึง  $8.1 \times 10^{-4}$  ส่วนในพันล้านส่วน และตะกั่วอยู่ในช่วง  $6.1 \times 10^{-5}$  ถึง  $6.5 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน ปริมาณ ไอโซน แคนเมียมและตะกั่วที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณแคนเมียมโดยวิธีตามมาตรฐาน OSHA ในการวิเคราะห์ หาแคนเมียมและตะกั่ว และการย่อยเพื่อหาปริมาณตะกั่วโดยตามวิธีมาตรฐาน NIOSH ในการ วิเคราะห์หาแคนเมียมและตะกั่ว พบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณแคนเมียมโดยวิธีตามมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH จะให้ปริมาณแคนเมียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95 % ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธีตามมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH จะให้ปริมาณตะกั่วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Study on a level of Ozone, Cadmium and Lead in indoor air

**Name** Narupol Thaibumrungwiwad

Patrepun Paoyam

Wanida Treenaksit

**Department** Chemistry

**Program** Environmental Resource Chemistry

**Academic Year** 2002

**Special Project Advisor** Arjam Glisukol Suwannarat

Dr. Suwannee Junyapoon

### ABSTRACT

This special project studied a level of ozone, cadmium and lead in indoor air from an engineering stationery shop and a chemical library of chemistry department. Air samples were collected using a personal air pump. Ozone and nitrogen dioxide were analyzed by using UV-visible spectrophotometer at wavelengths of 352 nanometers and 550 nanometers, respectively. Particulate samples were collected on mixed cellulose ester membrane filter and then digested with a microwave. Cadmium and Lead in the samples were analyzed by using a flame atomic absorption spectrophotometer. At an engineering stationery shop, the concentrations of ozone were  $4.1 \times 10^{-3}$  to  $4.6 \times 10^{-3}$  microgram per litre, the concentrations of particulate matter were  $2.5 \times 10^{-4}$  to  $1.9 \times 10^{-2}$  microgram per cubicmeter, the concentrations of cadmium were  $5.9 \times 10^{-4}$  part per billion and concentrations of lead were  $4.1 \times 10^{-3}$  to  $4.8 \times 10^{-3}$  part per billion. At the library, the concentrations of ozone were  $4.3 \times 10^{-3}$  to  $9.3 \times 10^{-3}$  microgram per litre, the concentrations of particulate matter were  $2.1 \times 10^{-4}$  to  $7.8 \times 10^{-4}$  microgram per cubicmeter, the concentrations of cadmium were  $3.8 \times 10^{-4}$  to  $8.1 \times 10^{-4}$  part per billion and concentrations of lead were  $6.1 \times 10^{-5}$  to  $6.5 \times 10^{-3}$  part per billion. The level of ozone, Cadmium and Lead from this experiment were less than threshold limit value-time weight average. The comparison on digestion techniques between OSHA standard method and NIOSH standard method, the results indicated that the concentrations of cadmium using the digestion techniques of OSHA standard method and NIOSH standard method were not statistically significance at 95 % confidence level whilst that the concentrations of lead using the digestion techniques of OSHA standard method and NIOSH standard method were statistically significance at 95 % confidence level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ถูกลงด้วยดี ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนการให้กำลังใจจากอาจารย์ที่ปรึกษาคือ อาจารย์กมลีนุสคนธ์ สุวรรณรัตน์ และ ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน

ขอขอบพระคุณ ดร.อุสารัตน์ ภัคดีสุข และ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการและแม่บ้าน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และขอขอบคุณเพื่อนๆเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมปี 4 ทุกคนที่เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำศัพท์สำคัญ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 มลพิษทางอากาศ	4
2.2 ผลของสารมลพิษทางอากาศ	5
2.3 ตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่ทำให้เกิดอันตรายต่อ สิ่งมีชีวิต	6
2.4 โอโซน	7
2.5 ไนโตรเจนออกไซด์	12
2.6 การเกิดมลพิษทางอากาศโดยโอโซนและ ไนโตรเจนไดออกไซด์	14
2.7 ฝุ่นละออง	15
2.8 โลหะหนัก	16
2.9 แคลเมียม	16
2.10 ตะกั่ว	18
2.11 แหล่งกำเนิดทางอากาศภายในอาคาร	20
2.12 วิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซ	24
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ ( ต่อ )

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	30
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
3.3 วิธีการทดลอง	32
3.3.1 การวิเคราะห์ไอโซนในอากาศ	32
3.3.2 การวิเคราะห์ไนโตรเจนไดออกไซด์ ในอากาศ	33
3.3.3 การวิเคราะห์แอมโมเนียและตะกั่วใน อากาศ	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	35
4.1 ผลการวิเคราะห์ไอโซนในอากาศ	35
4.2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใน อากาศ	36
4.3 ผลวิเคราะห์แอมโมเนียและตะกั่วในอากาศ	37
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการย่อย กระดาษกรอง	39
4.5 ผลวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นในอากาศ	41
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการศึกษา	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก ก	46
ภาคผนวก ข	52
ภาคผนวก ค	60
ภาคผนวก ง	62
ภาคผนวก จ	64
ภาคผนวก ฉ	67
ภาคผนวก ช	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ ( ต่อ )

ภาคผนวก ซ

หน้า

78

ภาคผนวก ฅ

80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของไอโซน	7
ตารางที่ 2.2 แสดงผลของออกซิแดนซ์ที่มีผลต่อมนุษย์	11
ตารางที่ 2.3 แสดงผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อคน	13
ตาราง 1-ก แสดงค่าดูดกลิ่นแสงของสารละลายมาตรฐาน ไอโซน	47
ตาราง 2-ก แสดงค่าดูดกลิ่นแสงของสารละลายมาตรฐาน ไนไตรต์	48
ตาราง 3-ก การเตรียมกราฟมาตรฐานแคดเมียม	50
ตาราง 4-ก การเตรียมกราฟมาตรฐานตะกั่ว	51
ตาราง 1-ข แสดงผลการเก็บตัวอย่างไอโซนในสหกรณ์คณะ วิศวกรรมศาสตร์	52
ตาราง 2-ข แสดงผลการเก็บตัวอย่างไอโซนในห้องสมุดภาค วิชาเคมี	53
ตาราง 3-ข แสดงผลการเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์	54
ตาราง 4-ข แสดงข้อมูลตัวอย่างแคดเมียมในสหกรณ์คณะ วิศวกรรมศาสตร์	55
ตาราง 5-ข แสดงข้อมูลตัวอย่างแคดเมียมในห้องสมุดภาควิชา เคมี	56
ตาราง 6-ข แสดงข้อมูลตัวอย่างตะกั่วในสหกรณ์คณะ วิศวกรรมศาสตร์	57
ตาราง 7-ข แสดงข้อมูลตัวอย่างตะกั่วในห้องสมุดภาควิชาเคมี	58
ตาราง 8-ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างแคดเมียมที่ย่อย โดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NOSH ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตาราง 9-ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างแคดเมียมที่น้อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NOSH ในห้องสมุดภาควิชาเคมี	59
ตาราง 10-ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างตะกั่วที่น้อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NOSH ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์	59
ตาราง 9-ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างตะกั่วที่น้อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NOSH ในห้องสมุดภาควิชาเคมี	59
ตาราง 1-ง แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นแคดเมียมระหว่างตัวอย่างแคดเมียมที่น้อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NOSH	62
ตาราง 1-ง แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกั่วระหว่างตัวอย่างตะกั่วที่น้อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NOSH	63
ตาราง 1-ข แสดงความสัมพันธ์ของ $N_1/N_0$ ที่อุณหภูมิ 2000 K และ 3000 K	75
ตาราง 1-ข การตั้งโปรแกรมของเครื่องไมโครเวฟในการย่อยกระดาษกรองโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NOSH	79
ตาราง 1-ฉ มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป (พ.ศ. 2538)	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างเรโซแนนซ์ของโอโซน	8
รูปที่ 2.2 ระดับโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปภายในหนึ่งวัน	15
รูปที่ 2.3 เครื่องถ่ายเอกสาร	21
รูปที่ 2.4 ปริมาณโลหะหนักที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศในปี 1990-1999	29
รูปที่ 2.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในอากาศที่เมืองริกาเคกาแลค ในปี 1998-2000	29
รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนในบรรยากาศ	32
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ	33
รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ	34
รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นโอโซนในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี	35
รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณความเข้มข้นโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี	36
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นแคะเมียมในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี	37
รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณความเข้มข้นตะกั่วในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี	38
รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นแคะเมียมระหว่างตัวอย่างแคะเมียมที่ย่อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH	39
รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกั่วระหว่างตัวอย่างตะกั่วที่ย่อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณฝุ่นของตัวอย่างในสหกรณ์คณะ วิศวกรรมศาสตร์	41
รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณฝุ่นของตัวอย่างในห้องสมุดภาควิชาเคมี	42
รูปที่ 1-ก แสดงกราฟมาตรฐานไอโซน	47
รูปที่ 2-ก แสดงกราฟมาตรฐานไนไตรต์	48
รูปที่ 1-ข แสดงเครื่องมือที่ใช้ลำแสงคู่ที่ทำงานในช่วงอุลตราไว โอเลตและวิสิเบิล	70
รูปที่ 2-ข แสดงเครื่องมือชนิดที่ใช้ลำแสงคู่ที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ขึ้นขึ้น	71
รูปที่ 3-ข ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจน	73
รูปที่ 4-ข แสดงทรานซิชันโคออร์ดิเนตสำหรับอะตอมมิกแอล ซอร์ฟชั้น อะตอมมิกอิมิสชั้น อะตอมมิกฟลูออเรส เซนซ์	73
รูปที่ 5-ข การกลายเป็นอะตอมของสารตัวอย่าง	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ศัพท์สำคัญ

NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
TLV-TWA	Threshold Limit Value-Time Weight Average
พีพีบี	ส่วนในพื้นล้านส่วน
พีพีเอ็ม	ส่วนในล้านส่วน
มคก/ลบ.ม	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญ ได้แก่ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การเผาไหม้จากกระบวนการทางอุตสาหกรรมและการเปลี่ยนแปลงชั้นบรรยากาศของก๊าซ มลพิษทางอากาศสามารถแบ่งออกเป็นมลพิษอากาศภายนอกอาคาร (outdoor air pollution) และมลพิษอากาศภายในอาคาร (indoor air pollution) โดยทั่วไปมลพิษอากาศภายในอาคารจะได้รับความสนใจน้อยกว่ามลพิษอากาศภายนอกอาคาร

ถึงแม้การทำงานในสำนักงานดูเหมือนว่าจะปลอดภัยกว่าการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามมลพิษอากาศภายในสำนักงานก็เป็นสาเหตุสำคัญที่อาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพ

เครื่องถ่ายเอกสารเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในสำนักงาน โดยทั่วไปแล้วขณะที่เครื่องถ่ายเอกสารทำงานนั้น จะมีการปล่อยแสงพลังงานสูงไปกระตุ้นออกซิเจนในอากาศให้แตกตัวและรวมตัวกันเกิดเป็นก๊าซโอโซนขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองกับอวัยวะต่าง ๆ และเมื่อสัมผัสก๊าซนี้นาน ๆ จะเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและระบบประสาทได้ ดังนั้นปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นบริเวณเครื่องถ่ายเอกสาร ระยะเวลาในการใช้งาน รวมถึงลักษณะสำนักงานที่แตกต่างกันนั้น ย่อมเป็นผลโดยตรงกับระดับความอันตรายที่ผู้ใช้ได้รับ โดยเฉพาะผู้ที่ทำงานกับเครื่องถ่ายเอกสารเป็นเวลานาน ๆ จึงควรทราบถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับร่างกายและวิธีป้องกันด้วย ซึ่งค่ามาตรฐานจาก NIOSH กำหนดค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (Threshold Limit Time Weight Average, TLV-TWA) ของโอโซนในสถานที่ทำงานไว้ 0.1 ส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม) และมีงานวิจัยที่ศึกษาการเก็บโอโซนในห้องที่มีเครื่องถ่ายเอกสาร พบว่ามีปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้งานของเครื่องถ่ายเอกสารนานขึ้น (Black, 2000) นอกจากนี้สารเคมีที่อาจพบได้ในเครื่องถ่ายเอกสาร ได้แก่ แคดเมียม ซึ่งจัดได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็ง และตะกั่วซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อประสาท โดยค่ามาตรฐานจาก OSHA กำหนดค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงของแคดเมียมและตะกั่วไว้ 0.000005 และ 0.00005 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ

โครงการนี้จะทำการวิเคราะห์ปริมาณ โอโซน, แคดเมียม และตะกั่วในอากาศภายในอาคาร บริเวณสหกรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล (personal air pump) และนำมาวัดค่าไอโซนด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร ในส่วนของแคดเมียมและตะกั่วจะนำตัวอย่างฝุ่นที่เก็บด้วยกระดาษกรองมาทำการย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟและจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer) โดยนำข้อมูลที่ได้มาสรุปไว้เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการหลีกเลี่ยงและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับสุขภาพของคนในสำนักงานต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณ ไอโซน ฝุ่น แคดเมียมและตะกั่วในอากาศภายในอาคารของสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ผลมีต่อปริมาณ ไอโซนที่เกิดขึ้นในอากาศในอาคาร
3. เปรียบเทียบการย่อยกระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างแคดเมียม โดยวิธีตามมาตรฐานของ OSHA และตะกั่วโดยวิธีตามมาตรฐานของ NIOSH

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างอากาศโดย Glass midget impinger และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ ไอโซนด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร
2. เก็บตัวอย่างอากาศโดย Fritted impinger และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ ไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร เพื่อศึกษาปัจจัยของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด ไอโซน
3. เก็บตัวอย่างฝุ่นโดยกระดาษกรองชนิด Mixed cellulose ester membrane filter เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมและตะกั่วด้วยเครื่อง Flame atomic absorption spectrophotometer
4. ทำการย่อยกระดาษกรองโดยวิธีตามมาตรฐานของ OSHA ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม และทำการย่อยกระดาษกรองโดยวิธีตามมาตรฐานของ NIOSH ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณ โอโซน แคลเมียม และตะกั่วในอากาศภายในอาคารของบริเวณสหกรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับคุณภาพอากาศภายในอาคารบริเวณดังกล่าว

2. ทราบถึงระดับความเข้มข้นของ โอโซน แคลเมียมและตะกั่วในอากาศภายในอาคาร บริเวณสหกรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเมื่อเทียบกับมาตรฐานค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (Threshold Limit Value - Time Weight Average, TLV-TWA)

3. ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนที่เกิดขึ้นในอากาศภายในอาคาร

4. ทราบถึงความแตกต่างของวิธีการย่อยกระดาษกรองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคลเมียมโดยใช้วิธีตามมาตรฐานของ OSHA และวิธีการย่อยกระดาษกรองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วโดยใช้วิธีตามมาตรฐานของ NIOSH



## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 มลพิษทางอากาศ (Air pollution) (ราตรี,2540)

มลพิษทางอากาศหมายถึง การมีสารมลพิษในอากาศอย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่าง เช่น ฝุ่น กลิ่น คว้น ไอในลักษณะปริมาณ และลักษณะภายในช่วงเวลาที่มักจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคนในทางลบต่อมนุษย์ พืช สัตว์ หรือวัตถุอื่นๆ อาจเรียกชื่อหนึ่งว่า “ อากาศเสีย ”

##### 2.1.1 แหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศ (Sources of air pollution)

- 1) เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละออง ลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า อากาศเสียที่เกิดจากธรรมชาติจะมีปริมาณน้อย ส่งผลกระทบต่อมนุษย์น้อยมาก
- 2) เกิดจากมนุษย์ทำขึ้น เช่น การคมนาคมขนส่ง โรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้าง การระเบิดหิน การลิดยามาเมลง การเผาไร่ การเผามูลฝอย บ่อน้ำเสีย

##### 2.1.2 มลสารในอากาศ (Air pollutant)

มลสารในอากาศคือ สารใดๆ ก็ตามในอากาศซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เป็นที่รังเกียจ หรือไม่พึงปรารถนาต่อมนุษย์โดยภายในหรือภายนอกร่างกายหรือสารซึ่งมีผลเสียต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์โดยทางตรงหรือทางอ้อม

มลสารในอากาศอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ อนุภาคมลสาร (particulates) และ ไอรระเหย (vapour)

2.1.1 อนุภาคมลสาร ได้แก่ มลสารใดๆ ในบรรยากาศหรือไอเสียซึ่งอยู่ในสภาพของแข็งหรือของเหลวที่อุณหภูมิต่ำและความดันปกติ ทั้งนี้ยกเว้นไอน้ำ อนุภาคมลสารมีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอน ลงไปถึงต่ำกว่า 0.1 ไมครอน คำที่ใช้เรียกทั่วไปได้แก่ ฝุ่น ผง ละออง ควัน ฝุ้ง ควัน และสปเรย์

2.1.2 ไอรระเหย รวมถึงก๊าซและสารประกอบซึ่งโดยทั่วไปมีจุดเดือดต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส คำว่าไอรระเหยและก๊าซอาจใช้แทนกันได้แต่โดยแท้จริงแล้ว ไอรระเหยหมายถึง สารในรูปก๊าซซึ่งโดยปกติแล้วจะอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งที่อุณหภูมิต่ำและความดันปกติ ส่วนก๊าซจะอยู่ในรูปของก๊าซที่อุณหภูมิต่ำและความดันปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ผลของสารมลพิษทางอากาศ (พิสมัย,2539)

### 2.2.1 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน

สารมลพิษในอากาศจะเข้าสู่ร่างกายได้ทางระบบหายใจ จากการศึกษาทางคลินิก และโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าโรคที่มีสาเหตุจากการได้รับสารมลพิษทางอากาศเป็นเวลานาน และเป็นโรคที่พบบ่อยได้แก่

1. โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis) ทางเดินหายใจจะมีอาการหลังของเมื่อคืนในหลอดลมมากเป็นผลทำให้มีอาการ ไอเรื้อรัง เพื่อพยายามกำจัดเมือกออกจากทางเดินหายใจ
2. โรคถุงลมโป่งพอง (Pulmonary emphysema) เกิดจากมีการทำลายติดต่อกันเรื่อยๆ ที่ถุงลม ผนังถุงลมถูกทำลาย ถุงลมเล็กๆ หลายอันจึงรวมตัวกันเป็นถุงลมขนาดใหญ่อันเดียว มีการสูญเสียพื้นที่ผิวสำหรับหลอดเลือดฝอยและการดูดซึมของก๊าซ ต้องหายใจด้วยกล้ามเนื้อหน้าอกเสียชีวิตได้จากหัวใจล้มเหลว
3. มะเร็งในปอด (Lung cancer) เกิดจากการเจริญของเซลล์มากกว่าปกติที่เกิดขึ้นเกินขอบเขตชีววิทยา มีการทำลายเนื้อเยื่อในบริเวณที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
4. โรคเกี่ยวกับปอดและสภาพการหายใจได้แก่ การบวมน้ำ (Edema) , การเกิดเนื้อเยื่อเส้นใยในปอด (Pulmonary fibrosis) , ภาวะจับฝุ่นในปอด (Pneumoconiosis)
5. ผลอย่างเฉียบพลัน (Acute effect) หลังจากได้รับสารมลพิษทางอากาศคือ ทำให้เกิดอาการไอ ระคายคอ ระคายตา หายใจหอบถี่ คลื่นไส้ อาเจียน

### 2.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

#### 1) ผลกระทบต่อวิสัยทัศน์การมองเห็น

ได้แก่ การลดระยะที่สามารถมองเห็นได้ เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศทำให้เกิดอันตรายในการขับขี่ยานพาหนะ เช่น ทำให้เกิดหมอก บดบังปริมาณแสงอาทิตย์ เนื่องจากชั้นของอนุภาค

#### 2) ผลกระทบต่อวัสดุต่างๆ

เช่น เกิดการสกปรก การสึกกร่อน หรือการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้อาคาร ผุกร่อนได้เช่น ฝุ่นละออง หรืออนุภาคที่เป็นกรด

#### 3) ผลกระทบที่มีต่อพืชและสัตว์

โดยปกติแล้วสารที่เป็นก๊าซจะเข้าสู่ต้นไม้ได้โดยการหายใจเอาอากาศผ่านรูใบ สารเหล่านี้เมื่อเข้าสู่ต้นไม้จะทำลายคลอโรพลาสต์ และมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต จนกระทั่งตายได้ ส่วนในสัตว์จะสามารถรับมลพิษสู่ร่างกายโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหายใจเอาอากาศที่มีสารมลพิษปะปนอยู่ด้วยเข้าร่างกายโดยตรง หรือโดยการกินหญ้าหรือพืชอื่นๆ ที่มีสารมลพิษทางอากาศสะสมอยู่ เมื่อร่างกายรับสารดังกล่าวในปริมาณที่มากพอที่จะเกิดอันตราย จะแสดงอาการออกมาในรูปการแพ้พิษของสารมลพิษนั้น ๆ

### 2.3 ตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

มลพิษทางอากาศที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้แก่

- อาร์เซนิก ปนอยู่กับแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งถ่านหิน และเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง
- ฟลูออรีน อุตสาหกรรมที่ปล่อยสารนี้สู่บรรยากาศได้แก่ โรงงานถลุงโลหะอลูมิเนียม  
โรงงานทำอิฐ โรงงานทำปุ๋ยเคมีและเคมีภัณฑ์ประเภทฟอสเฟต
- ตะกั่ว เกิดจากการถลุงแร่และการใช้ถ่านหินรวมทั้งอุตสาหกรรมบางอย่าง ที่ใช้ตะกั่วเป็นวัตถุดิบ
- แคดเมียม ปัจจุบันมีการใช้แคดเมียมมากขึ้นในรูปของโลหะผสม เคยมีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำนมของสัตว์ และพบว่าน้ำนมบางตัวอย่างมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับน้ำนม (0.01 พีพีเอ็ม) ดังนั้นอันตรายของมลพิษดังกล่าวอาจถ่ายทอดมาถึงผู้บริโภคได้
- โอโซน เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติหรืออุปกรณ์ในสำนักงานเช่น เครื่องถ่ายเอกสาร
- ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติเช่น ปรากฏการณ์ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์เช่น การเผาผลาญเชื้อเพลิง อุตสาหกรรมการทำกรดไนตริก กรดกำมะถัน เป็นต้น
- ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นกรด ในบรรยากาศจะพบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาจากการกระทำของมนุษย์สูงถึง 70% เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้เชื้อเพลิงในรูปของถ่านหินซึ่งมีกำมะถันเจือปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ไอโซน

### 2.4.1 ไอโซนและคุณสมบัติของไอโซน

ไอโซนเป็นแก๊สสีน้ำเงินอ่อนแต่เมื่ออยู่ในสถานะของเหลวกับของแข็งจะมีสีม่วงเข้ม และระเบิดง่าย กลั่นจนคล้ายกระเทียม คุณสมบัติทั่วไปของ ไอโซนแสดงดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของ ไอโซน

ลักษณะทั่วไป	คุณสมบัติ
น้ำหนักโมเลกุล	48.0
จุดเดือด (760 Torr)	$-111.9^{\circ}\text{C}$
จุดหลอมเหลว (760 Torr)	$-192.7 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิวิกฤต	$-12.1^{\circ}\text{C}$
ความดันวิกฤต	54.6 บรรยากาศ
ปริมาตรวิกฤต	0.147 ลิตร / โมล
ความหนาแน่นวิกฤต	0.437 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาแน่น (แก๊ส $0^{\circ}\text{C}$ )	2.144 กรัม / ลิตร
ความหนาแน่น (ของเหลว $-183^{\circ}\text{C}$ )	1.57 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความตึงผิว ( $-183^{\circ}\text{C}$ )	$38.4 \pm 0.7$ dynes / cm
ความหนืด (ของเหลว $-183^{\circ}\text{C}$ )	$1.55 \pm 0.02$ cp
เ็นทาลปีของการระเหย	75.6 แคลอรี / กรัม ( $-122^{\circ}\text{C}$ )
เ็นทาลปีของการรวมตัว	+34.5 กิโลแคลอรี/โมล
การดูดกลืนรังสียูวี	ดูดกลืนรังสีได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 245 นาโนเมตร (Gary , 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโมเลกุลโอโซนพบว่าไม่เป็นเส้นตรง มีค่าของมุมเท่ากับ  $116^{\circ} 45'$  และมีโครงสร้างเรโซแนนซ์จัดได้ 4 แบบ (รูป 2.1) การทดลองเพื่อพิสูจน์กลไกการเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ทั้งหลายให้ผลสอดคล้องสนับสนุนกับคุณสมบัติของการที่โอโซนเป็นโมเลกุลที่มีขั้วเป็นประจุบวก และลบที่ออกซิเจนตำแหน่งที่ 1 และ 3 อย่างไรก็ตามการศึกษาทางคว้นตัมแมคแคนิกส์โดยอาศัยหลักการเกิดพันธะทั่วไป และการคำนวณ Configuration Interaction (CI) แสดงสถานะพื้น (ground state) ของโอโซนเป็นอนุมูลอิสระ (อำนาจ , 2522)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเรโซแนนซ์ของโอโซน

โอโซนเป็นอีกรูปหนึ่งของออกซิเจน มีโมเลกุลประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรง มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูง มีกลิ่นฉุนแสบจมูก ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อดวงตา ลำคอ และระบบทางเดินหายใจ ปัจจุบันมาตรฐานขีดจำกัดของโอโซนเท่ากับ 0.1 พีพีเอ็ม สำหรับการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งกำหนดโดย American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ในการดำเนินการฉายรังสีแกมมา จะมีผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นอย่างหนึ่ง คือ โอโซน ซึ่งเกิดจากการที่ออกซิเจนในอากาศดูดกลืนพลังงานบางส่วนจากรังสีแกมมาเกิดเป็นออกซิเจนอะตอม (O) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปกลายเป็น โอโซน ( $O_3$ ) ดังสมการ (2.1) - (2.4)

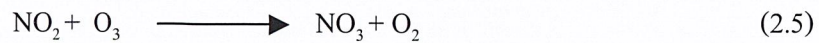


(M คือ ธาตุ หรือสารประกอบที่ช่วยในการกระจายพลังงานส่วนเกิน เช่น  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $NO_2$ )

โอโซนสลายตัวได้อย่างรวดเร็วโดยทำปฏิกิริยากับตัวรีดิวซ์ต่าง ๆ เช่น  $CO$ ,  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $NO_2$  นอกจากนี้ยังสลายตัวโดยทำปฏิกิริยากับแสงในช่วงอุลตราไวโอเล็ต (2000 – 3200 อังสตรอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ 200 – 320 นาโนเมตร) และช่วงวิสซีเบิล (4500 – 7000 อังสตรอม หรือ 450 – 700 นาโนเมตร) ดังสมการ (2.5) - (2.7)



( $\bullet$  คือสภาวะเร้า หรือ Excited State)

ด้วยเหตุที่โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง และมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูง จึงจะมีผลกระทบต่อชีวเคมีโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต

#### 2.4.2 ข้อดีของโอโซนต่อมนุษย์ (วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2534)

- 1.) การใช้โอโซนในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ไวน์ น้ำผลไม้ และเหล้า
- 2.) การใช้โอโซนในการทำความสะอาดบรรจุภัณฑ์
- 3.) บรรดาอุตสาหกรรมอาหารทางการเกษตรก็ได้ใช้ประโยชน์จากโอโซนโดยการติดตั้งโคมไฟอุลตราไวโอเล็ตในห้องเย็น เพื่อให้เกิดโอโซนจากแสงอุลตราไวโอเล็ตที่จะช่วยในการเก็บรักษาพืชผล สำหรับไข่ไก่เราสามารถใช้อุณหภูมิในการทำลายแบคทีเรีย อย่างไรก็ตามอาหารที่มีไขมันมาก เช่น เนื้อสัตว์ หรือ เนย จะไม่ได้รับผลดีจากโอโซนเพราะมันต่าง ๆ จะเกิดกลิ่นเหม็น
- 4.) การใช้โอโซนในการทำลายสีในแม่น้ำที่เกิดจากดินหรือพืชใต้น้ำ เพื่อให้มีสีตามธรรมชาติ
- 5.) การใช้โอโซนในการทำอากาศให้สะอาดปราศจากกลิ่นเหม็นต่าง ๆ

#### 2.4.3 ความเป็นพิษของโอโซนในมนุษย์

พบว่าอาการตอบสนองต่อพิษของโอโซนในมนุษย์มีความรุนแรงต่ำกว่าในสัตว์ทดลอง คือ ก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายมากกว่า ตามประสบการณ์ของบุคคลซึ่งเคยได้รับโอโซนมีเพียงอาการปวดศีรษะ ระบายท้องต่อดวงตา ลำคอ และระบบทางเดินหายใจ มักเกิดขึ้นต่อเมื่อได้รับโอโซนอย่างต่อเนื่องในระดับที่สูงกว่า 0.1 พีพีเอ็มขึ้นไป ในกรณีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.1 พีพีเอ็มพบว่าอาการดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับเฉพาะบางบุคคลซึ่งมีประสาทสัมผัสที่ไวเท่านั้น อย่างไรก็ตามกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาของโอโซน คือ ฉุน และแสบจมูก ซึ่งบุคคลส่วนใหญ่ทั่วไปยังคงสามารถรับรู้ได้ในระดับที่ต่ำถึง 0.02 – 0.03 พีพีเอ็ม

ในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ได้นำโอโซนมาใช้แก้ปัญหาน้ำทิ้งที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งได้ผลดีมาแล้ว นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลจากการใช้คลอรีนและโอโซน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าโอโซนสามารถทำลายเชื้อโรคและจุลินทรีย์ ทั้งยังสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์บางชนิดที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ฟีนอล หรือ สารอินทรีย์ที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบให้เป็นสารที่มีพิษลดลง นับว่าเป็นข้อดีในการที่จะคลี่คลายปัญหาสภาพแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตาม ควรตระหนักถึงขอบเขตการใช้โอโซน เนื่องจากมีผลงานวิจัยที่บ่งชี้ว่านอกจากจะมีประโยชน์แล้ว ก็ยังมีโทษต่อมนุษย์ สัตว์ และพืชด้วยเช่นกัน การศึกษาพิษของโอโซนกับสัตว์ทดลอง พบว่ามีผลการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อในเซลล์ต่าง ๆ ผลต่อการสร้างภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ยังมีข้อมูลจากการวิจัย แสดงคุณสมบัติที่เป็นสารออกซิเดนต์ที่แรงมาก รongลงมาจากฟลูออรีน ตัวอย่างเช่น อิทธิพลของโอโซนที่จะออกซิไดซ์ ไดไฮโดรนิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ หรือรีดิวซ์กลูตาไรออน กลีเซอรอล ดีไฮด์ - 3 - ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส และกรดอะมิโนอีกหลายชนิด ปฏิกริยาเหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้โอโซนเป็นพิษโดยเฉพาะกับมนุษย์ สัตว์ และพืช อย่างไม่ดี คาดว่าโอโซนคงมีบทบาทสำคัญเพิ่มขึ้น ซึ่งควรแก่การศึกษาในอนาคต ถ้าหากมีวิธีการใช้ที่ถูกต้องก็จะให้คุณค่าทางงานวิเคราะห์และด้านอุตสาหกรรม (พิสิฐฐ์, 2534)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของออกซิเจนที่ที่มีต่อมนุษย์ (วงศัพันธ์, นิตยาและธีระ 2540)

ระดับของไอโซน มกค.ต่อลบ.ม.	ระยะเวลา (ชม.)	ผลที่มีต่อร่างกาย
200	1	ระคายตา
15 – 40	-	ไต่กลิ้ง ผู้ที่มีจมูกไวไต่กลิ้งเมื่อ ไอโซนมีระดับ 15 มกค.ต่อลบ.ม.
200	2	ระบบหายใจผิดปกติในระหว่างมีการออกกำลังกายเบา ๆ เป็นระยะ ๆ
700 (และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 960)	2	ระบบหายใจผิดปกติ
100 – 460	24 (เป็นเวลา 21 วัน)	ระบบหายใจของผู้ป่วยด้วยโรคปอดเรื้อรัง
10	3 นาที	ลด alpha rhythm
1,600 – 3,400	1	ช่างเชื่อมโลหะมีระบบหายใจผิดปกติ (อาจมีไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ด้วย) อาการหายไปทีระดับ 400 มกค.ต่อ ลบ.ม.
600 – 1,600	1	ช่างเชื่อมโลหะมีอาการแน่นหน้าอก ระคายคอ อาการเหล่านี้หายไปทีระดับ 500 มกค.ต่อลบ.ม. (อาจมีไนโตรเจนไดออกไซด์และอนุภาคมลสารอยู่ด้วย)
≥ 500	-	มีอาการหอบหืดบ่อยขึ้นในหมู่ผู้ป่วยด้วยโรคหืด
≈ 1,000	-	นักศึกษาพยาบาลมีอาการ ปวดศีรษะที่ 100 มกค.ต่อลบ.ม. ระคายตาที่ 300 ,, ไอที่ 530 ,, แน่นหน้าอกที่ 580 ,,
>240	-	นักวิ่งทนทำเวลาไม่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>)

ไนโตรเจนออกไซด์ในที่นี้จะหมายถึง ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์(NO<sub>2</sub>) เนื่องจากเป็นมลพิษซึ่งมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมากกว่าไนโตรเจนออกไซด์อื่น ๆ ไนตริก ออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสีและกลิ่น ละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อย ส่วนไนโตรเจนไดออกไซด์ นั้นมีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ ก๊าซทั้งสองเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ ไฟผ่า ไฟแลบ ภูเขาไฟระเบิด ปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในดิน หรืออาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ คือ การเผาผลาญ เชื้อเพลิง การอุตสาหกรรม ทำกรดไนตริก ชุบโลหะ ทำกรดกำมะถัน และทำวัตถุระเบิด เป็นต้น พบว่า NO<sub>x</sub> ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติมากกว่าที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ถึงประมาณ 20 เท่า

การใช้เชื้อเพลิงของมนุษย์เป็นส่วนสำคัญซึ่งทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ และมีไนตริกออกไซด์เป็นส่วนประกอบถึง 90-95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดใน การเกิดไนตริกออกไซด์ กล่าวคือจะเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ เมื่อมีการสันดาปที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นยานยนต์จึงเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซที่สำคัญ

ก๊าซไนตริกออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโอโซนในบรรยากาศเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และออกซิเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในทางตรงกันข้าม ไนโตรเจนไดออกไซด์แตกตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังสมการ (2.8)

### 2.5.1 ผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีต่อมนุษย์

ตารางที่ 2.3 แสดงผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อคน (วงศ์พันธ์, นิตยาและธีระ 2540)

ความเข้มข้น		ระยะเวลา ที่รับก๊าซ	ผลที่เกิดขึ้น
มก./ม <sup>3</sup>	สนล.		
0.23	0.12	-	ได้กลิ่น
1.3-3.8	0.7-2.0	10 นาที	เพิ่มความต้านทานของทางเดินอากาศทั้งการหายใจเข้าและออก
0.190	0.1	1 ชม./วัน	เพิ่มความต้านทานของทางเดินอากาศและเพิ่มอาการตีบตันของทางเดินหายใจของผู้ป่วยเป็นหืด
560-940	300-500	-	เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตด้วยโรคน้ำคั่งเนื้อในปอดหรือสลับเนื่องจากขาดอากาศหายใจ
47-140	27-75	≤ 1 ชม.	เป็นโรคหลอดลมอักเสบ( bronchitis) หรือ bronchopneumonia ซึ่งอาจฟื้นตัวเป็นปกติได้
0.094	-	1 ปี	เมื่อเปรียบเทียบกับเมืองที่มีก๊าซในระดับ 0.043 มก.ต่อลบ.ม. ไม่ปรากฏว่ามีความแตกต่างกันในการทำงานของปอดหรือโรคทางเดินหายใจเรื้อรังในผู้ไม่สูบบุหรี่
≥ 0.940	0.50	1 ชม.	ไม่ปรากฏว่าเกิดโรคทางเดินหายใจอย่างเฉียบพลันต่อแม่บ้านส่งประกอบอาหารด้วยเตาอบก๊าซเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้เตาอบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การเกิดมลพิษทางอากาศโดยโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ มีกระบวนการเกิด ดังนี้

### โฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ (Photochemical Oxidants)

โฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ ในที่นี้หมายถึงโอโซน และไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยโอโซนเป็นตัวเติมออกซิเจนอย่างดี ก๊าซนี้เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในบรรยากาศชั้นบนถึงแม้จะมีระดับความเข้มข้นต่ำแต่ก็มีหน้าที่ป้องกันโลกจากรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ซึ่งอาจทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ โอโซนเกิดที่ระดับความสูง 30 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก รังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์จะทำให้โมเลกุลออกซิเจน ( $O_2$ ) แตกตัวเป็นอะตอม (O) อะตอมของออกซิเจนจะรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนโดยรวดเร็วและเกิดเป็นโอโซน ( $O_3$ )

ในบรรยากาศชั้นล่างนั้น โอโซนเกิดเนื่องจากการที่ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีรังสี UV จากดวงอาทิตย์เป็นตัวกระตุ้น ดังสมการ 2.8



ดังนั้นหากมีสถานะมลพิษทางอากาศ และมีก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ในที่นั้นจะเกิดการกำจัดโอโซนด้วยปฏิกิริยาข้างต้น จนมีระดับต่ำลง อย่างไรก็ตามเมื่อโอโซนสัมผัสกับดินและพืชก็จะช่วยลดก๊าซนี้ลงด้วยอีกทางหนึ่ง

เมื่อในบรรยากาศมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลจะทำให้เกิดเปอร์ออกซี ( $RO_2$ -peroxy radicals) ขึ้น ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไนตริกออกไซด์ และเกิดไนโตรเจนไดออกไซด์ การเปลี่ยนไนตริกออกไซด์ไปเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์นี้ จึงเป็นผลให้มีแนวโน้มที่ เกิดโอโซนในเวลากลางวัน

ส่วนการเกิดโอโซนจากการกระทำของมนุษย์นั้น มีส่วนเกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์หลาย ๆ อย่าง ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เมื่อมีแสงสว่างและไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนอะตอมในสารประกอบนั้นจะทำให้เกิดออกซิแดนท์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีและความไวต่อปฏิกิริยาของสารประกอบแต่ละชนิด ปัจจัยประการหลังมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเกิดโอโซนอย่างสูง เนื่องจากระยะเวลาดังกล่าวขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งอาจมีระยะเวลาดั้งแต่น้อยกว่าชั่วโมงจนกระทั่งถึงหลาย ๆ วัน ถึงแม้จะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งไวต่อปฏิกิริยาอยู่ในบรรยากาศ ก็อาจตรวจพบโอโซนห่างจากแหล่งกำเนิดถึง 10 กิโลเมตร และพบค่าสูงสุดได้ลมระยะห่างเกินกว่า 60 กิโลเมตรก็ได้ ในตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวบ่งชี้สารตั้งต้นของออกซิแดนซ์ในระดับสูง ซึ่งจะทำให้เกิดออกซิแดนซ์ในเวลาหลังเที่ยงวัน (วงก์พันธ์, นิตยาและธีระ 2540)

การเกิดโอโซนจึงเกี่ยวพันไปถึงยานยนต์ต่าง ๆ และการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการอื่น ๆ และมีความสัมพันธ์กับมลพิษอื่นๆ คือ ไนโตรเจนออกไซด์ ควบคู่กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ 2.2 ระดับโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปภายในวันหนึ่ง (24 ส.ค.2517) กรุงเทพมหานคร เขตวันตึก (วงก์พันธ์, นิตยาและธีระ 2540)

2.7 ฝุ่นละออง (นัทธีรา, 2541)

ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศมีองค์ประกอบที่ปะปนอยู่มากมายไม่ต่ำกว่า 40 ชนิด โดยทั่วไปอาจมองเห็นในลักษณะของทรงกลม หากเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก (aitken particles) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าเท่ากับ 1.0 ไมโครเมตร มักจะเป็นอนุภาคซัลเฟอร์ (S) และคาร์บอน (C) สำหรับแอโรโซล ซึ่งเป็นกลุ่มของไอน้ำหรืออนุภาคที่แขวนลอยในอากาศจะมีความหนาแน่นประมาณ 1.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตัวอย่างของแอโรโซล เช่น สารอินทรีย์ แร่ธาตุต่าง ๆ อนุภาคเกลือ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท ทองแดง นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกันได้แก่ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มโลหะที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As , Au , Cd , Cu , Cr , Hg , Pb , Sb , Sn , Te และ Zn และกลุ่มโลหะที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba , Bi , Fe , Mo , Ti และ U (Culp และ Culp , 1974)

ความเป็นพิษของโลหะเหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจากที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายนั่นเอง

## 2.9 แคดเมียม (Cadmium, Cd) (วิลาวัลย์และสุรจิต, 2542)

### 2.9.1 คุณสมบัติของแคดเมียม

แคดเมียมได้รับการค้นพบเมื่อปีพ.ศ. 2360 ซึ่งในธรรมชาติมักปะปนอยู่ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ และเป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แคดเมียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติอ่อน งอได้ มีสีขาวปนน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลวประมาณ 321 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน และระหว่างการผลิตเหล็กด้วยความร้อน และความกดดันสูงทำให้กลายเป็นไอควันในรูปแบบของแคดเมียมออกไซด์ นอกจากนี้แคดเมียมอาจอยู่ในรูปเกลือหรือสารประกอบต่างๆ เช่น แคดเมียมออกไซด์ มีสีแดง แคดเมียมซัลเฟต มีสีเหลืองใช้ในการผลิตสี และแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม ซึ่งใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น รัศมีไอออน (pm) ของแคดเมียม เป็น 65 มีประจุเป็น 2+ และความหนาแน่นประจุ  $2.11 \times 10^{10}$

### 2.9.2 ประโยชน์ของแคดเมียม

การใช้ประโยชน์ของแคดเมียมได้แก่ โรงงานถลุงแร่และผลิตสังกะสี ผลิตแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม การผลิตสี การผลิตเซมิคอนดักเตอร์ การผลิตพลาสติก โรงงาน โลหะผสม การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และใช้เคลือบผิวโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.3 ความเป็นพิษของแคดเมียม

ความเป็นพิษของแคดเมียม ถ้ามีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น ในอุตสาหกรรมชุบโลหะแบบเตอรี เป็นต้น และอาจก่อให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อม ซึ่งโรคพิษแคดเมียมมีการจดบันทึกและรายงานครั้งแรกเมื่อพ.ศ. 2401 มีอาการปวดศีรษะ มึนงง บ้านหมุน คอแห้ง ไอ แน่นหน้าอก ขาไม่มีแรง มีอาการหนาวสั่นคลื่นไส้อาเจียน ปวดท้อง แน่นหน้าอก และหายใจไม่สะดวก และโรคอิไตอิไต เกิดจากได้รับพิษแคดเมียม ซึ่งปนมาในน้ำ ทำให้มีอาการปวดกระดูก กระดูกเปราะมาก ไตพิการ ความดันโลหิตสูง สาเหตุเกิดจากโรงงานถลุงแร่สังกะสีแห่งหนึ่งซึ่งกากโลหะซึ่งมีกากแคดเมียมผสมอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงาน

### 2.9.4 การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษ

การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษ เนื่องจากแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้สองทาง คือ ทางการกินและการหายใจ เมื่อคนกินเข้าไป แคดเมียมมักถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร ประมาณร้อยละ 6 แต่ในภาวะที่ร่างกายขาดแร่ธาตุเหล็กทำให้เกิดการซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงขึ้นถึงร้อยละ 20 ของจำนวนแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย และส่วนทางการหายใจรับฝุ่นหรือไอควันแคดเมียมในบรรยากาศการทำงานได้ทางปอดประมาณร้อยละ 20 - 50 ภายหลังจากการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้ว แคดเมียมถูกกลายเลี้ยวต่อไปยังตับ และจับตัวกับโปรตีนประมาณร้อยละ 80 - 90 ของจำนวนแคดเมียมทั้งหมด และประมาณร้อยละ 50 ของแคดเมียมที่มีอยู่ทั้งหมดในร่างกายสะสมอยู่ในตับและไต

แคดเมียมมีระยะครึ่งอายุยาวถึงประมาณ 7 - 30 ปี ตามปกติแคดเมียมถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะในรูปของสารเชิงซ้อนแคดเมียม-เมทัลโลธิโอรีน อัตราการขับออกทางปัสสาวะค่อนข้างต่ำและจำนวนเล็กน้อยถูกขับออกทางน้ำดี น้ำลาย ผม และเล็บ

พิษเรื้อรังจากแคดเมียมอาจเป็นพิษเฉพาะที่ได้แก่ ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การทำลายไต การมีโปรตีนในปัสสาวะ และการเกิดโรคโลหิตจาง เป็นต้น

การได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานมักพบลักษณะของกระดูกผิดปกติได้แก่ กระดูกพรุน กระดูกพรุน และกระดูกหักง่าย ทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดกระดูกขา และเดินลำบาก ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นผลของแคดเมียมต่อเมทาบอลิซึมของกระดูกโดยตรง และแคดเมียมยังก่อให้เกิดการแตกทำลายของเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดการขาดธาตุเหล็ก ก่อให้เกิดอาการซีดชนิด hypochromic ซึ่งเป็นชนิดที่พบบ่อยในผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในระดับสูง

แคดเมียมได้รับการจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง เมื่อได้รับแคดเมียมทำให้เกิดมะเร็งในต่อมลูกหมากเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาหลายฉบับที่แสดงถึงแนวโน้มว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง โดยมีการทดลองให้  $CdS_2$  และ  $CdSO_4$  ได้ผิวหนังและกล้ามเนื้อสัตว์ทดลองพบว่าก่อให้เกิดมะเร็งชนิด sarcoma ณ บริเวณนั้น และสามารถแพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองและปอดได้

## 2.10 ตะกั่ว(Lead,Pb) (วิลลาวัลย์และสุรจิต, 2542)

### 2.10.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกั่ว (วิลลาวัลย์และสุรจิต,2542)

ตะกั่วเป็นธาตุตัวที่ 5 ของหมู่ 4A ในตารางธาตุ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ทางเคมีว่า Pb มีเลขออกซิเดชัน 0,+2,+4 ตะกั่วมีสถานะออกซิเดชัน +2 ที่เสถียร สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วย ความหนาแน่น 11.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1744 องศาเซลเซียส การนำไฟฟ้าดี ออกไซด์ของตะกั่วอยู่ในรูป  $PbO$ ,  $PbO_2$  และ  $PbO_4$  ซึ่ง  $Pb^{2+}$  จะเสถียรกว่า  $Pb^{4+}$  เกือบของตะกั่ว  $2+$  โดยทั่วไปไม่ละลายน้ำ ยกเว้น อะซิเตต และไนเตรตเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวอย่างอิสระให้ไอออน  $Pb^{2+}$

### 2.10.2 ประโยชน์ของตะกั่ว

โลหะตะกั่วมีคุณสมบัติกั้นต่อการแผ่รังสี อ่อนตัว หลอมเหลวง่าย รวมทั้งสามารถป้องกันการแผ่รังสี ตะกั่วจึงใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น หล่อตัวพิมพ์, สายเคเบิล, ทำหัวกระสุนปืน, ชุบเคลือบโลหะอื่นเพื่อป้องกันสนิม, เชื่อมบัดกรี เป็นต้น

### 2.10.3 การเข้าสู่ร่างกาย

ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ดังนี้

#### 1.) ทางเดินหายใจ

ก๊าซหรือละอองของตะกั่วและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน สามารถผ่านสู่ถุงลมในปอดและผ่านสู่กระแสเลือด ฝุ่นขนาดใหญ่จะติดค้างทางเดินหายใจตอนบน เช่น จมูก ช่องต่อระหว่างโพรงจมูก คอและหลอดลมใหญ่ ซึ่งร่างกายจะขับออกมาในรูปของเสมหะ

#### 2.) ทางเดินอาหาร

เกิดจากการปนเปื้อนในอาหาร น้ำ โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เช่น ปนเปื้อนมากับอาหาร มือที่หยิบอาหาร การสูบบุหรี่ขณะทำงาน ตะกั่วจะผ่านสู่กระเพาะอาหาร รวมทั้งการกลืนเสมหะ ทางเดินอาหารจะดูดซึมตะกั่วเข้าสู่กระแสเลือดประมาณ 10% ส่วนที่เหลือขับออกทางอุจจาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.) ทางผิวหนัง

เฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้นที่สามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้

#### 2.10.4 การแพร่กระจายและการสะสมของตะกั่ว

ตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าร่างกาย ระยะแรกมักอยู่ในสภาพ lead diphosphate ซึ่งสามารถกระจายไปตามเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ต่างๆ เช่น สมอง ปอด ตับ ม้าม ไชกระดูก เส้นผม เป็นต้น หลังจากนั้นบางส่วนเข้าไปสะสมที่กระดูกในสภาพ lead phosphate ทั้งนี้ประมาณร้อยละ 30 ของตะกั่วในร่างกายสะสมอยู่ที่เนื้อเยื่ออ่อน และอีกร้อยละ 70 สะสมอยู่ที่กระดูก

การเกิดพิษของตะกั่วขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณตะกั่วที่มีในเนื้อเยื่ออ่อน ซึ่งตะกั่วมักจะทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์ต่างๆในเนื้อเยื่อทำงานผิดปกติ โดยเฉพาะระยะที่เนื้อเยื่อนั้นมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในสภาวะที่ร่างกายมีความเครียดเกิดขึ้น เช่น ตั้งครรภ์ มีไข้ หรือมีภาวะสมดุลกรดต่างผิดปกติ ตะกั่วมักออกจากกระดูกเข้าไปในเลือดและกระจายเข้าสู่เนื้อเยื่ออ่อนมากขึ้น จึงทำให้ผู้ป่วยซึ่งเดิมไม่มีอาการ เกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลันได้

#### 2.10.5 ความเป็นพิษของตะกั่ว

##### 1.) การได้รับพิษเฉียบพลัน

ผู้ที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น มักจะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และปวดท้องอย่างรุนแรง รวมทั้งมีอาการทางประสาท ได้แก่ ความคิดสับสน การทำงานของร่างกายไม่ประสานงานกัน สูญเสียทักษะที่เคยทำได้บางอย่าง ชัก หมดสติ และมีอาการทางสมอง (acute lead encephalopathy) ซึ่งพบได้ในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ ส่วนระดับตะกั่วในเลือดของผู้ป่วยดังกล่าว มักสูงกว่า 100 ไมโครกรัม/เดซิลิตร แต่มีรายงานอาการดังกล่าวในผู้ป่วยที่มีระดับตะกั่ว 70 ไมโครกรัม/เดซิลิตรเช่นกัน

##### 2.) การได้รับพิษเรื้อรัง

ในผู้ป่วยที่ได้รับสารตะกั่วที่มีปริมาณน้อยกว่าที่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันเป็นระยะเวลานาน มักก่อให้เกิดอาการเป็นพิษเรื้อรัง ซึ่งมีอาการตามระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบประสาทส่วนกลางและส่วนรอบ (central and peripheral nervous system) ระบบทางเดินอาหาร, ระบบการสร้างเม็ดเลือด และระบบไต

อาการทางระบบประสาทส่วนกลาง มักเริ่มด้วยอาการเซื่องซึม ความคิดช้า ปวดศีรษะ มึนศีรษะ เวียนศีรษะ การทรงตัวไม่ดี เหนื่อย และหงุดหงิด ถาย และหงุดหงิด ถนมักมีอาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั้นเวลาเคลื่อนไหว ซึ่มหลับ ชัก และหมดสติ นอกจากนี้อาจพบมีประสาทตาฝ่อ และความผิดปกติในการทำงานของกล้ามเนื้อ

อาการต่อระบบประสาทโดยรอบและกล้ามเนื้อ มักมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่อต่างๆ มีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้น้อยๆ เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้กระดูกข้อมือทำให้กระดูกข้อมือไม่ได้ (wrist drop) ซึ่งอาจเป็นข้างเดียวหรือ 2 ข้างก็ได้ อาการของระบบประสาทส่วนรอบมักเป็นอาการเคลื่อนไหวเป็นหลัก (motor neuropathy) นอกจากนี้อาจมีปลายประสาทอักเสบ(peripheral neuritis) ทำให้มีอาการชาได้ แต่พบไม่บ่อยมาก

อาการทางระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยอาจมีอาการเบื่ออาหาร อาเจียน ปวดท้องแบบลำไส้บิดตัว (colicky pain) ซึ่งอาการสับสนกับไส้ติ่งเฉียบพลันได้ นอกจากนี้อาจมีอาการท้องผูกและท้องเดินได้ และส่วนใหญ่ยังมีน้ำหนักลดลง

ในการสร้างเม็ดเลือด มักพบมีอาการซีด โดยทั่วไปมักพบลักษณะเม็ดเลือดมีขนาดเล็ก (hypochromic microcytic) เช่นเดียวกับการขาดธาตุเหล็ก และอาจพบเป็นแบบรูปร่างเม็ดเลือดปกติ (normochromic normocytic) ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้อาจมีอาการเม็ดเลือดแดงแตกเฉียบพลัน(acute hemolysis) ได้ การตรวจดูโดยใช้สไลด์เลือดที่เจาะจากปลายนิ้ว อาจพบ basophilic stippling ในเม็ดเลือดแดง และ พบในสถานะที่ติดเชื้อ (toxic granules) ในเม็ดเลือดขาวได้

ในผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วมานานๆ มักเกิดภาวะกรดยูริกคั่งในร่างกาย จนอาจทำให้เกิดภาวะไตวายเรื้อรัง หรือมีอาการของโรคเก๊าท์ได้ นอกจากนี้ยังมีลักษณะอื่นๆ ที่พบได้ เช่น “lead line” ซึ่งเป็นเส้นสีน้ำเงินเทาเข้มที่เหงือก เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียในช่องปากกับตะกั่ว อาจพบได้ถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วสะสมมาเป็นเวลานานๆ แต่ค่อนข้างแยกจากโรคปริทันต์ได้ยาก

## 2.11 แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศภายในอาคาร

แหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคารเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น

- 1.) การปนเปื้อนจากอากาศภายนอก
- 2.) กิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ได้แก่ สารเคมีจากการทดลองหรืออุปกรณ์ที่

ใช้ในสำนักงาน เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11.1 เครื่องถ่ายเอกสาร

### 1.) หลักการทำงานของเครื่องถ่ายเอกสาร

เทคโนโลยีของเครื่องถ่ายเอกสารในปัจจุบัน จะใช้ผงหมึกแบบแห้ง โดยมีหลักการทำให้เกิดภาพที่ตัวรับภาพ จากนั้นผงหมึกจะเกาะติดบนภาพด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ และส่งผ่านไปยังกระดาษ ซึ่งผงหมึกจะติดอย่างถาวรด้วยความร้อนและความดัน ซึ่งกระบวนการนี้ก่อให้เกิดความร้อน รังสีอัลตราไวโอเล็ตและโอโซนเกิดขึ้นตามมา



รูปที่ 2.3 เครื่องถ่ายเอกสาร

### 2.) อันตรายจากเครื่องถ่ายเอกสาร

โดยทั่วไปแล้วเมื่อมีการใช้เครื่องถ่ายเอกสารแต่ละครั้งจะมี “สภาพที่ไม่ปลอดภัย” ปรากฏออกมาคือ

#### - โอโซนจากเครื่องถ่ายเอกสาร

โอโซนจากเครื่องถ่ายเอกสารเกิดขึ้นจากการอัดและปล่อยประจุไฟฟ้าที่ถูกกลิ้งกระดาษ และบางส่วนที่เกิดจากการปล่อยแสงเหนือม่วงจากหลอดไฟพลังงานสูงของเครื่องถ่ายเอกสาร (แสงเหนือม่วงจะทำให้ก๊าซออกซิเจนรวมตัวกันเป็นโอโซนง่ายขึ้น) แต่ในสภาพปกติหรือในสำนักงานทั่วไป โอโซนจะสลายตัวเป็นออกซิเจนภายใน 2-3 นาที ซึ่งอัตราการสลายตัวจะขึ้นอยู่กับระยะเวลา อุณหภูมิ (อุณหภูมิสูง สลายตัวได้เร็วขึ้น) การระบายอากาศและพื้นวัตถุที่โอโซนจะสลายตัวได้ถึง 100 เท่าหากสัมผัสผ่านที่มีประจุ (Activated Carbon) ในเครื่องถ่ายเอกสารรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่ๆ มักจะมีแผ่นกรองประเภท Activated Carbon Filter เพื่อสลายโอโซนก่อนปล่อยออก จึงมั่นใจในเรื่องความปลอดภัยได้มากขึ้น

ก๊าซโอโซนทำให้เกิดการระคายเคือง และการสัมผัสก๊าซนี้นาน ๆ จะเป็นอันตรายต่อระบบหายใจและระบบประสาทได้

#### - ผงหมึก

ฝุ่นผงหมึกเป็นส่วนประกอบของสารเคมีที่มีอันตราย รวมถึงสารที่อาจก่อมะเร็ง และสารที่เป็นสาเหตุของภูมิแพ้ ผงหมึกที่ใช้ในเครื่องถ่ายเอกสารทั่วไปในปัจจุบัน (ระบบแห้ง) เป็นผงหมึกประเภทคาร์บอนดำ 10% ผสมกับพลาสติกเรซิน ซึ่งมีอันตรายต่อสุขภาพ จึงควรระมัดระวังขณะเติมผงหมึก รวมทั้งความสะอาดและกำจัดผงหมึกที่ใช้แล้วโดยควรทิ้งในภาชนะบรรจุมิดชิดไม่ควรทิ้งลงในตะกร้าหรือถังขยะในสำนักงาน

การหายใจเอาผงหมึกเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจ มีอาการไอและจาม นอกจากนี้สารไนโตรไพรีนซึ่งพบในผงคาร์บอนดำ และสารไนโตรฟลูออรีน (TNF) ก็เป็นสารก่อมะเร็ง และเป็นสารที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมมีผลต่อทารกในครรภ์ ผู้ที่มีหน้าที่ถ่ายเอกสารเป็นประจำหรือผู้ที่มีหน้าที่เปลี่ยนถ่ายผงหมึกควรได้รับการฝึกอบรมในเรื่องความปลอดภัยในการใช้เครื่องถ่ายเอกสาร การใช้ถุงมือในการสัมผัสกับผงหมึก หลีกเลี่ยงการสูดเอาผงหมึกเข้าไป ในกรณีที่เครื่องถ่ายเอกสารมีปัญหาเช่น พบผงหมึกเปื้อนติดกระดาษเป็นจำนวนมากควรหยุดเครื่องและติดต่อบริษัทเพื่อรับการซ่อมบำรุงทันที

สารเคมีอื่นๆ ที่อาจพบได้ในเครื่องถ่ายเอกสาร ได้แก่ เซเลเนียม แคดเมียมซัลไฟด์ ซิงค์ไดออกไซด์ และโพลิเมอร์บางตัว แต่มีจำนวนน้อยมากในเครื่องถ่ายเอกสารสภาพปกติ

#### - แสงเหนือม่วง (UV light)

แสงเหนือม่วงแผ่รังสีออกมา จากหลอดไฟฟ้าพลังงานสูงภายในเครื่องขณะที่มีการถ่ายเอกสารซึ่งทำให้เกิดการอักเสบของกระจกตาและมีผื่นคันตามผิวหนัง แต่ปกติแสงเหนือม่วงจะไม่ทะลุผ่านกระจกที่วางเอกสารต้นฉบับ เพราะมีพลังงานต่ำและดูดกลืนไป อันตรายจากแสงเหนือม่วงจะเกิดขึ้นได้หากมองแสงที่ทะลุออกมาจากกระจก ทำให้เกิดการปวดศีรษะ แสบตา ดังนั้นในการถ่ายเอกสารทุกครั้งควรปิดฝาครอบให้มิดชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### - เสียงและความร้อน

เครื่องถ่ายเอกสารที่มีความเร็วในการทำงานสูง จะทำให้เกิดเสียงและความร้อน ซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญ ระดับเสียงที่สูงที่สุดจากเครื่องถ่ายเอกสารตามมาตรฐาน OHS (Occupational Health Significance) คือ 63 – 68 เดซิเบล

### 3.) แนวทางความปลอดภัยในการใช้เครื่องถ่ายเอกสาร

- 1.) ถ่ายเอกสารทุกครั้งควรปิดฝาครอบให้สนิท หากไม่สามารถปิดได้ควรหลีกเลี่ยงการมองที่กระจกต้นฉบับ
- 2.) ติดตั้งพัดลมดูดอากาศเฉพาะในห้องถ่ายเอกสาร
- 3.) สวมถุงมือขณะเติมหรือเคลื่อนย้ายผงหมึก ในกรณีจำเป็นควรใส่หน้ากากกันฝุ่นเคมี และขอเอกสารข้อมูลเคมีภัณฑ์ (MSDS) จากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย
- 4.) ผงหมึกที่ใช้แล้วนำไปกำจัดลงในภาชนะปิดมิดชิด รวมไปถึงผงหมึกที่หกเลอะเทอะหรือฟุ้งกระจายขณะเติมผงหมึกด้วย
- 5.) เลือกซื้อเครื่องถ่ายเอกสารที่มี
  - ระบบเติมผงหมึกที่ปลอดภัยและมีภาชนะบรรจุเศษผงหมึกภายในเครื่อง
  - ระบบตัดการทำงานอัตโนมัติเมื่อภาชนะบรรจุเศษผงหมึกเต็มแล้ว
- 6.) มีการบำรุงรักษาเครื่องเป็นประจำ
- 7.) ไม่ควรวางเครื่องถ่ายเอกสารในห้องทำงาน ควรจัดแยกไว้ในที่เฉพาะ หรือไว้ในมุมห้องไกลจากคนทำงาน และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม
- 8.) ผู้ซ่อมบำรุงเครื่องถ่ายเอกสารควรสวมถุงมือแบบใช้แล้วทิ้งขณะทำงาน และหลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับลูกคลิ้งด้วย
- 9.) ไม่ควรมีผู้ใดต้องทำงานถ่ายเอกสารทั้งวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ
- 10.) ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเอกสาร ควรได้รับการแนะนำ อบรมวิธีการใช้ การเปลี่ยนถ่านผงหมึก รวมทั้งการกำจัดผงหมึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 วิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซ

### 2.12.1 การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับของก๊าซเป็นการเกิดขึ้นที่ผิวโดยโมเลกุลของก๊าซจะรวมตัว และถูกดูดด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเข้าหาผิวของส่วนจับตัวอย่าง ณ อุณหภูมิเดียวกัน ปริมาณก๊าซที่ถูกดูดจะเป็นสัดส่วนกับความดันของก๊าซส่วนนั้น นอกจากนี้การดูดติดยังขึ้นกับพื้นที่ผิวของวัสดุที่ดูด ปริมาณก๊าซต่างๆที่ถูกดูดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความสามารถในการระเหย

การดูดซับมีประโยชน์มากในการจับก๊าซจากบรรยากาศ เพราะสามารถรวมก๊าซปริมาณน้อยจากการชักตัวอย่างอากาศปริมาณมาก วัสดุที่ใช้ในการนี้ ได้แก่ activated carbon ซิลิกาเจล อลูมินา

### 2.12.2 การดูดซึม (absorption)

การดูดซึมของก๊าซจากบรรยากาศเป็นการละลายโดยที่โมเลกุลก๊าซเฉพาะอย่างจะละลายในของเหลว ขีดจำกัดการดูดซึมของก๊าซแต่ละชนิดในของเหลวหนึ่ง ขึ้นกับสมดุลยภาพความดันของก๊าซนั้นๆ ในสภาวะก๊าซต่อสภาวะของเหลว ขีดจำกัดนี้ถูกลบล้างได้โดยให้ก๊าซทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสิ่งแวดล้อม

ประสิทธิภาพการดูดซึมยังขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับสารดูดซึม อุปกรณ์สำหรับดูดซึมออกแบบให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนกระแสน้ำให้เป็นฟองอากาศเล็กๆ และลอยกระจายผ่านของเหลวโดยใช้เวลานานพอสมควร

อุณหภูมิมีส่วนควบคุมการดูดซึมเช่นกัน อุณหภูมิต่ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะก๊าซจุดเดือดต่ำ

### 2.12.3 การควบแน่น

การควบแน่นของก๊าซจากบรรยากาศคือ การลดอุณหภูมิของก๊าซให้ต่ำกว่าจุดเดือดหรือจุดเยือกแข็งของก๊าซที่ต้องการจับ เพื่อช่วยในการควบแน่นของก๊าซจะลดความดันของก๊าซลงต่ำกว่า 1.33 มิลลิบาร์ ในการปฏิบัติตามปกติ

ปัญหาสำคัญในการควบแน่นเกิดจากการล้นตัวของไอน้ำในอากาศตั้งอย่าง แก้ไขโดยการใช้เครื่องจับต่อกันมีอุณหภูมิลดลงเป็นขั้นๆ เครื่องแรกทำหน้าที่จับไอน้ำโดยเฉพาะ อุณหภูมิต่ำสุดที่ควรใช้คือ ออกซิเจนเหลว หากใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้ออกซิเจนล้นตัวในเครื่องจับซึ่งเพิ่มอันตรายจากการเผาไหม้

ระบบควบแน่นต้องใช้ไอ้ตราไหลค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 1 ลิตร / นาที) แต่มีประสิทธิภาพสูง หากไอ้ตราไหลสูงขึ้น เวลาที่สัมผัสกับความเย็นจะน้อยลง และอาจนำละอองไ้อจากการควบแน่นออกไป

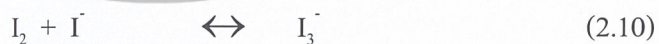
#### 2.12.4 การชักตัวอย่างเป็นครั้ง (grab sampling)

การชักตัวอย่างเป็นครั้งของก๊าซจากบรรยากาศ ทำได้โดยจับอากาศโดยตรงด้วยภาชนะซึ่งอากาศไม่ซึมผ่าน ตัวอย่างอากาศจะถูกส่งผ่านไปยังห้องทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์ วิธีชักตัวอย่างแบบนี้ใช้ได้เฉพาะกับก๊าซที่มีวิธีวิเคราะห์ที่ละเอียดมากหรือก๊าซที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากไม่มีการรวมความเข้มข้นของก๊าซจึงเสี่ยงต่อการเจือจางโดยการรั่วไหล

อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่ ขวดสุญญากาศ หลอดดูด ดึงพลาสติก อาจปรับสภาพของอุปกรณ์ก่อน โดยการผ่านก๊าซที่ต้องการจะจับเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามก็ต้องลดอุณหภูมิและความดันเดียวกันกับเมื่อปรับสภาพ มิฉะนั้นอาจเกิดการหลุดของก๊าซ

##### 1.) การเก็บตัวอย่างก๊าซไอโซน

สารออกซิไดส์ในบรรยากาศเกิดได้จากทั้งกิจกรรมของมนุษย์และปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ การเผาไหม้ และปฏิกิริยาไฟโคเคมีคอลสมอก ก่อให้เกิดสารออกซิแดนซ์เช่น ไอโซน ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการเก็บตัวอย่างอากาศ (ควบคุมอัตราการไหลและเวลาที่ใช้) ผ่านลงในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI 1%) ซึ่งควบคุมค่าพีเอช โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ช่วง  $6.8 \pm 0.2$  ปริมาณไอโอไดด์ที่ใช้มากเกินไปจะทำให้ไอโอไดด์ที่เกิด มาเป็นไตรไอโอไดด์ไอออน ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตรดังสมการ (2.9) – (2.10)



การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้สามารถใช้ได้ในกรณีที่มีความเข้มข้นของสารออกซิไดส์อยู่ระหว่าง 0.01 – 10 พีพีเอ็ม (0.01 – 10  $\mu\text{l} / \text{l}$ ) ในรูปไอโซน การวัดการดูดกลืนแสงควรใช้ปริมาตรสารละลายที่ใช้ดูดซึมสารออกซิไดส์ 10 มิลลิลิตร ต่อปริมาณไอโซน 1 – 10 ไมโครลิตร ซึ่งจะให้ค่าแอบซอร์บแนนซ์อยู่ในช่วง 0.1 – 1 เมื่อใช้ความกว้างช่องแสง 1 เซนติเมตร

สารรบกวนการวิเคราะห์ที่มีได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ เพอร์ออกไซด์อะเซตทิลไนเตรต ฮาโลเจน สารประกอบเพอร์ออกไซด์ สารอินทรีย์ไนโตรด์ ฯลฯ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารออกซิไดส์เช่นเดียวกับโอโซน ความแม่นยำในช่วงการวิเคราะห์ส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียของไอโอดีนเมื่อเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลานานๆ แต่อย่างไรก็ตามสามารถลดข้อผิดพลาดนี้ได้โดยเพิ่มอิมฟิงเจอร์เป็น 2 ขวด

## 2.) การเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ในจำนวนสารออกไซด์ทั้งหลายของไนโตรเจน ไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์เท่านั้นที่เป็นตัวต้องสนใจในฐานะมลสารในอากาศ ความเข้มข้นของสองตัวนี้จะวัดโดยวิธีดูดกลืนแสง (light absorption) ซึ่งใช้สารร่วมทำปฏิกิริยา (reagent) Saltzman

ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) จะกลายเป็นไนไตรต์ไอออน ( $\text{NO}_2^-$ ) เมื่อละลายในน้ำแล้วทำปฏิกิริยากับสารรีเอเจนต์ Saltzman ให้สารสีอะโซ (azo dye) ซึ่งมีสีทึบหลากแดง สารรีเอเจนต์ saltzman เป็นสารละลายของกรดซัลฟานิลิก (N-(1-naphthyl) ethylenediamine) และกรดอะซิติก (glacial acetic water) ในน้ำ เมื่อใส่ไนไตรต์ไอออน เข้าในสารละลายนี้ ไนไตรต์ไอออนจะทำปฏิกิริยาคัปป์ (coupling reaction) แล้วเกิดเป็นสีอะโซที่มีสีทึบหลากแดง อัตราส่วนของแสงที่ถูกดูดกลืนในสารละลายจะแปรผันเป็นสัดส่วนกับปริมาณสารอะโซที่เกิดขึ้น โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ช่วงวัดค่ามิให้เล็กลง 2 ช่วง คือ 0-0.5 และ 0-1 ส่วนในล้านส่วน ดังนั้นจึงวัดความเข้มข้นของ  $\text{NO}_2$  ในอากาศได้จากการหาอัตราดูดกลืนแสง

## 3.) การเก็บตัวอย่างฝุ่น

การเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล (personal air pump) โดยผ่านกระดวยกรองชนิด mixed cellulose ester membrane และปรับอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลเทียบบิลด์ทอนิกส์ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที กระดวยกรองที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นควรทำการอบที่ 105 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้น และชั่งน้ำหนักกระดวยกรองก่อนและหลังเก็บตัวอย่างเพื่อบันทึกปริมาณฝุ่น

กระดวยกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นแล้ว จะนำมาชั่งด้วยเครื่องไมโครเวฟเพื่อศึกษาปริมาณของแคะเมียมตามวิธีมาตรฐานของ OSHA และศึกษาปริมาณของตะกั่วตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH

- วิธีมาตรฐานของ OSHA ใช้กรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 หยด
- วิธีมาตรฐานของ NIOSH ใช้กรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำสารละลายที่ได้หลังจากการย่อยมาปรับปริมาตรจนถึง 10 มิลลิตรด้วยน้ำกลั่น และหาปริมาณแคดเมียมและตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอคซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

## 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.13.1 Nadine, Mariette , Celcile และ Monique(1999.)

ศึกษาหาความเข้มข้นของโอโซนโดยใช้ Passive Sampler ทำการเก็บตัวอย่างโอโซนในอากาศเป็นเวลา 5 วัน และนำมาวิเคราะห์ด้วย UV Spectrophotometer ที่ 442 นาโนเมตร พบว่าความเข้มข้นของโอโซนในฤดูร้อนจะมากกว่าในฤดูหนาว โดยเมื่อมีแสงเพิ่มขึ้นก็มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของโอโซนมากขึ้นด้วย นอกจากนี้  $\text{NO}_x$  ที่เกิดขึ้นใกล้ๆ กับถนนยังทำให้ความเข้มข้นของโอโซนเปลี่ยนไป

### 2.13.2 Black(2000.)

ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องวัดโอโซนแบบ POM (Portable Ozone Monitor) โดยทำการเก็บโอโซนภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจะทำการเก็บโอโซนภายในห้องที่มีเครื่องถ่ายเอกสารทำงานอยู่ พบว่าจำนวนของเครื่องถ่ายเอกสารที่มากขึ้นนั้นมีผลทำให้ปริมาณโอโซนที่ตรวจวัดได้เพิ่มขึ้นด้วย

### 2.13.3 Zuo-Wen, Jiang-Bin และ Masayuki(1998.)

ศึกษาหาปริมาณของแคดเมียมและบรรยากาศในประเทศจีน โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง High volumn และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอคซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมจะกระจายอยู่ในช่วง  $0.08 - 2.69 \mu\text{g} / \text{m}^3$  และ  $0.001 - 0.07 \mu\text{g} / \text{m}^3$  ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างระหว่างสถานที่เก็บตัวอย่างและฤดูกาล มีผลทำให้ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมเปลี่ยนแปลง นั่นคือ บริเวณที่เป็นเขตอุตสาหกรรม และมีการจราจรคับคั่งซึ่งรถยนต์ใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมของตะกั่ว นั้น จะมีปริมาณตะกั่วมากกว่าบริเวณเขตที่พักอาศัยและเขตนอกเมือง นอกจากนี้ปริมาณตะกั่วในฤดูหนาวจะมากกว่าในฤดูร้อนด้วย โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในจีนบริเวณแผ่นดินใหญ่ คือ  $0.25 \mu\text{g} / \text{m}^3$  และ  $0.01 \mu\text{g} / \text{m}^3$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.4 กรมควบคุมมลพิษ(2546.)

ข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันในกรุงเทพฯ

วันที่ 27 มี.ค. 46

สถานี	ที่ตั้ง	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> *	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> *	CO (1hr)	CO (1hr)*	CO (8hr)	CO (8hr)*	Ozone	Ozone*	PM-10	AQI
บางขุนเทียน	ทั่วไป												
ดินแดง	ริมถนน	4.9	10.36	26.6	87.59	3.8	4.59	2.7	3.48	7.5	19.01	48.4	55.0
ค่ามาตรฐาน		300		170		30		9		100		120	

วันที่ 24 มี.ค. 46

สถานี	ที่ตั้ง	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	Ozone	PM-10	AQI
โรงเรียนยุพราช จ. เชียงใหม่	Roadside	2.9	11.7	0.8	15.7	49.4	
ค่ามาตรฐาน		300	170	30	100	120	

PM-10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 21-30 กันยายน 2540

สถานี	ข้อมูล	วันที่ 21	วันที่ 22	วันที่ 23	วันที่ 24	วันที่ 25	วันที่ 26	วันที่ 27	วันที่ 28	วันที่ 29	วันที่ 30
สุราษฎร์ธานี	PM-10 Concentration	15	22	39	86	102	88	39	48	73	73
	PM-10 Index	19	28	49	79	89	80	49	55	71	71
ภูเก็ต	PM-10 Concentration	45	55	115	197	110	112	140	97	126	77
	PM-10 Index	53	59	97	133	94	95	109	85	102	73
หาดใหญ่	PM-10 Concentration	88	108	65	74	152	98	32	85	44	86
	PM-10 Index	80	93	66	71	114	86	40	78	53	79

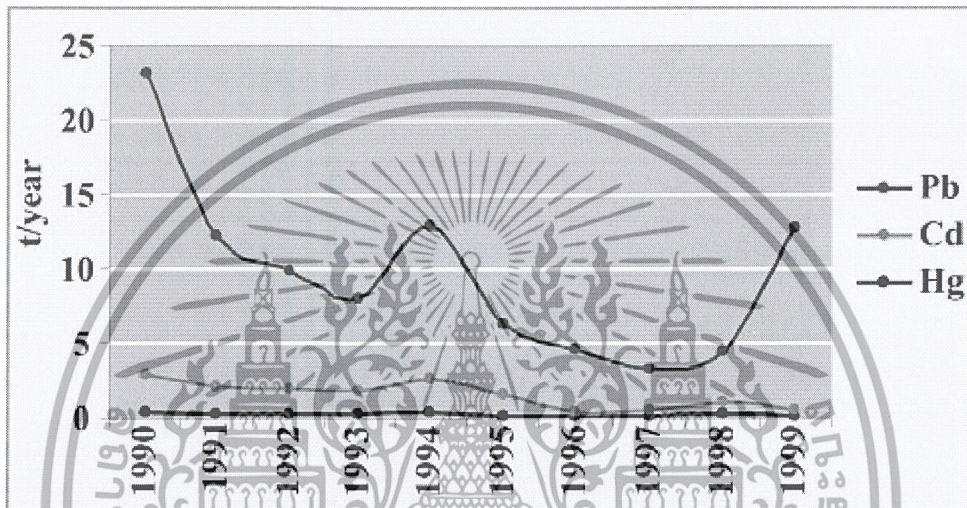
PM-10 คือ ฝุ่นขนาดเล็กที่มีอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน (หน่วย : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

PM-10 Index	0 - 50	51 - 100	101 - 200	201 - 300	>300
คุณภาพอากาศ	ดี	ปานกลาง	ไม่ปลอดภัย	ค่อนข้างอันตราย	อันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

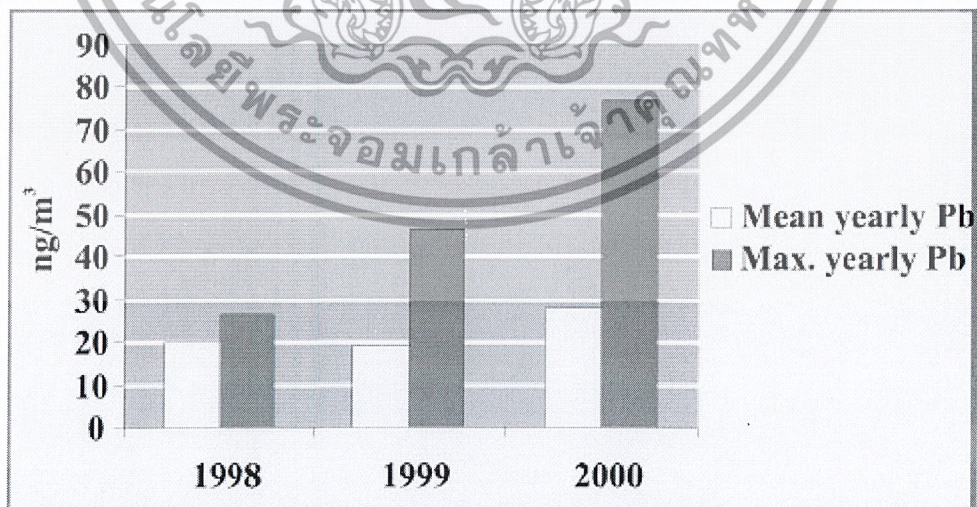
### 2.13.5 Environmental indicator in Latvia(2002)

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ปัญหามลพิษในอากาศที่เกิดจากโลหะหนักมีค่าลดลงเนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ เช่น ไม้และก๊าซธรรมชาติ การตรวจวัดคุณภาพอากาศที่เมืองริกา แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของปริมาณสารมลพิษรวมถึงโลหะหนักเช่นตะกั่วที่เกิดจากกระบวนการผลิตและการขนส่งในเมือง



รูปที่ 2.4 ปริมาณโลหะหนักที่ปลดปล่อยออกสู่อากาศในปี 1990-1999

(Environmental indicator in Latvia 2002)



รูปที่ 2.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในอากาศที่เมืองริกาเคคาแลคในปี 1998-2000

(Environmental indicator in Latvia 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1% เกรดวิเคราะห์ (บริษัท MERCK)
2. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ (บริษัท CARLO ERBA)
3. โพแทสเซียมไอโอไดด์ เกรดวิเคราะห์ (บริษัท MERCK)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดการค้า (บริษัท ITALMAR)
5. สารละลายสตอคไอโอดีน เกรดการค้า (บริษัท CARLO ERBA)
6. เกล็ดไอโอดีน เกรดการค้า (บริษัท CARLO ERBA)
7. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M เกรดวิเคราะห์ (บริษัท CARLO ERBA)
8. โพแทสเซียมไอโอเตต เกรดวิเคราะห์ (บริษัท ANALAR)
9. สารละลายไอโอดีน เกรดการค้า (บริษัท CARLO ERBA)
10. กรดซัลฟานิลิกแอนไฮดริส เกรดวิเคราะห์ (บริษัท UNIVAR)
11. กรดอะซิติกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ (บริษัท MALLINCKRODT)
12. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ (บริษัท LAB SCAN)
13. โซเดียมไนไตรต์ เกรดวิเคราะห์ (บริษัท CARLO ERBA)
14. N – (1-Naphthyl) – Ethylenediamine Dihydrochloride 0.1 % เกรดวิเคราะห์ (บริษัท MERCK)
15. โครเมียม (III) ออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ (บริษัท UNIVAR)
16. กรดไนตริก 65% เกรดวิเคราะห์ (บริษัท CARLO ERBA)
17. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ (บริษัท CARLO ERBA)
18. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ (บริษัท CARLO ERBA)
19. สารละลายสตอคแคดเมียม
20. สารละลายสตอคตะกั่ว
21. น้ำดีไอไอโนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องเก็บตัวอย่างก๊าซไอโซนชนิด Glass midget impinger บริษัท SKC
2. เครื่องเก็บตัวอย่าง NO<sub>x</sub> ชนิด Fritted impinger บริษัท SKC
3. เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 6405 UV/VIS Spectrophotometer บริษัท LABQUIP
4. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 760 บริษัท SHIMADZU
5. เครื่องไมโครเวฟ รุ่น MLS 1200 mega บริษัท MILESTONE
6. กระดาษกรองชนิด Mixed Cellulose Ester Membrane Filter ขนาด 0.8 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร
7. เครื่องอบกระดาษกรอง บริษัท MEMMERT
8. ตัว Support Filter
9. Cassette
10. พีเอชมิเตอร์ รุ่น 215 บริษัท DENVER
11. โรตัมมิเตอร์ รุ่น 709 บริษัท SKC
12. บารอมิเตอร์ บริษัท BARIGO
13. เครื่องชั่งน้ำหนักสถำแหน่ง รุ่น TC 254 บริษัท DENVER
14. เซลซิคเตอร์ รุ่น CM-3 บริษัท SANPLATEC CORP.
15. บีเปด
16. ไมโครบีเปด
17. เทอร์โมมิเตอร์
18. ขวดรูปชมพู
19. ขวดวัดปริมาตร
20. บีกเกอร์
21. บิวเรต
22. กระดาษกรองใยแก้ว
23. หลอดหยดสาร
24. ลูกยาง
25. ครอบก้นน้ำกลั่น
26. ที่คีบกระดาษ
27. แท่งแก้วคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

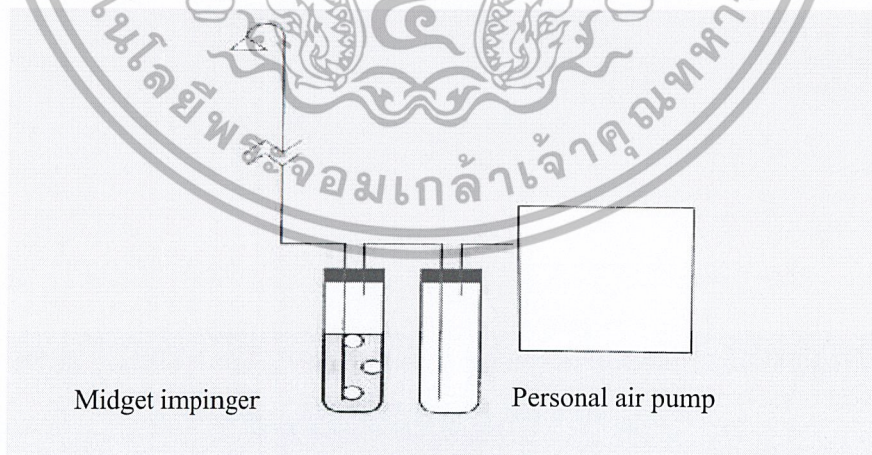
#### 3.3.1 การวิเคราะห์ไอโซนในอากาศ

3.3.1.1 ประกอบอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศเข้าด้วยกันโดยมิดเกต อิมพิงเจอร์ (Midget impinger) และปั๊มในการเก็บอากาศเข้ากับอิมพิงเจอร์ ต้องแนบสนิทหรือใช้ข้อต่อที่มี หลอดพอลิไวนิล (Polyvinyl tubing) ใช้วาสลีนหรือกรีส (Fluorosilicon or Fluorocarbon grease) ทาตามรอยต่อ (ดังรูปที่ 3.1)

3.3.1.2 ทำการปรับเทียบอัตราการไหลของปั๊ม (ดูภาคผนวก ๗) ปิเปตสารละลาย ออกซิเจนเข้ามา 10 มิลลิลิตร ลงในมิดเกตอิมพิงเจอร์ที่ห่อหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์เพื่อป้องกันแสง โดยมีอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศ 3 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำการวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง

3.3.1.3 เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในกรณีที่ใช้ชุดซิม ในอิมพิงเจอร์มีปริมาณลดลง จากนั้นนำไปวัดค่าแอมเพอร์แบบซ์ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าแอมเพอร์แบบซ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟ มาตรฐาน (ภาคผนวก ก) การวัดค่าแอมเพอร์แบบซ์ควรทำภายใน 30 – 60 นาที หลังการเก็บตัวอย่าง

3.3.1.4 การปรับแก้ของเบลงค์ ให้วัดค่าแอมเพอร์แบบซ์ของสารละลายที่ดูดซิม ที่ไม่ได้ผ่านตัวอย่างอากาศ และนำไปลบออกจากค่าแอมเพอร์แบบซ์ของข้อ 3.3.1.3

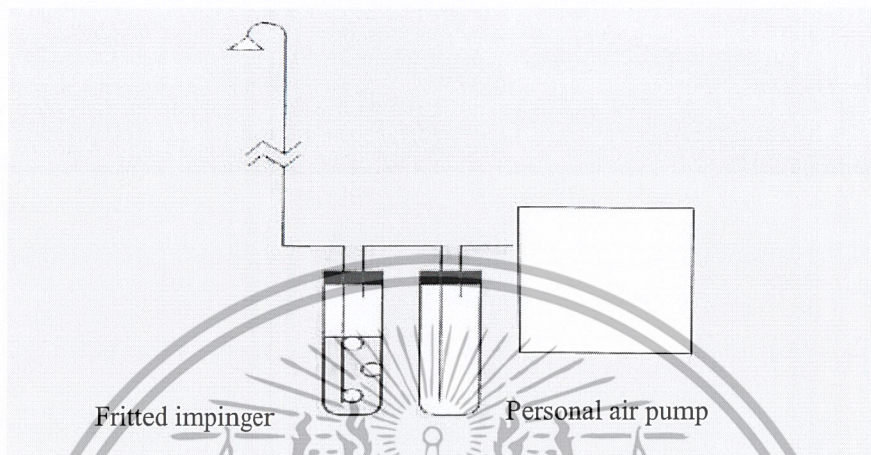


รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซไอโซนในบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การวิเคราะห์ $\text{NO}_2$ ในอากาศ

#### 3.3.2.1 การเก็บตัวอย่าง ต่ออุปกรณ์เก็บตัวอย่างดังรูป



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซในบรรยากาศ

3.3.2.2 ทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลของปั๊มอากาศให้ได้ 0.4 ลิตรต่อนาที ก่อนทำการเก็บตัวอย่าง (ภาคผนวก ข)

3.3.2.3 บีบสารละลายสำหรับดูดซึ่มมา 10.0 มิลลิลิตรลงอิมพิงค์เจอร์ที่แห้งสนิท

3.3.2.4 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยเปิดปั๊มให้อัตราการไหล 0.4 ลิตรต่อนาที นาน 8 ชั่วโมง (หรือขึ้นกับความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ)

3.3.2.5 นำสารละลายดูดซึ่มที่ซักตัวอย่างอากาศผ่าน มาวัดค่าแอมเปอร์เบนซ์ ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และนำค่าแอมเปอร์เบนซ์ที่ได้ไปเทียบกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การวิเคราะห์ Cd และ Pb ในอากาศ

3.3.3.1 อบกระดาษกรองเซลลูโลสที่  $105^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปเก็บไว้ในเดสสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่างอากาศ

3.3.3.2 ใส่กระดาษกรองในคาสเซตแล้วต่อเข้ากับเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลดังรูปที่

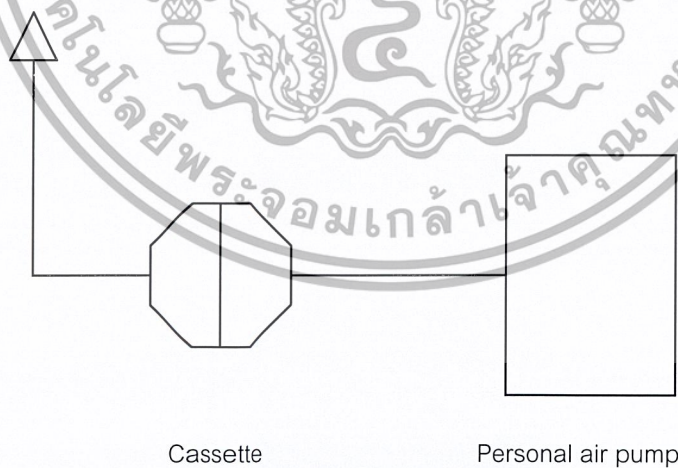
3.3.3.3 ปรับอัตราการไหลของเครื่องเก็บอากาศที่ 2 ลิตร / นาที โดยผ่านกระดาษกรองด้วย เป็นจำนวน 10 ครั้ง ทำการหาค่าเฉลี่ยของเครื่อง

3.3.3.4 เก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในสถานที่ต่างๆกัน ได้แก่ สหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี จากนั้นนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างอากาศแล้ว มาชั่งน้ำหนัก

3.3.3.5 ทำการย่อยกระดาษกรองด้วยเครื่องมือโครเวฟตามวิธีการย่อยแคดเมียม และวิธีการย่อยตะกั่ว โดยล้างอุปกรณ์ด้วย กรดไนตริก 10% ทุกครั้ง

- มาตรฐาน OSHA เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 หยด
- มาตรฐาน NIOSH เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 มิลลิลิตร

3.3.3.6 นำสารละลายที่ได้หลังการย่อยมาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร และหาความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่ว ด้วยวิธี Flame Atomic Absorption Spectroscopy



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ

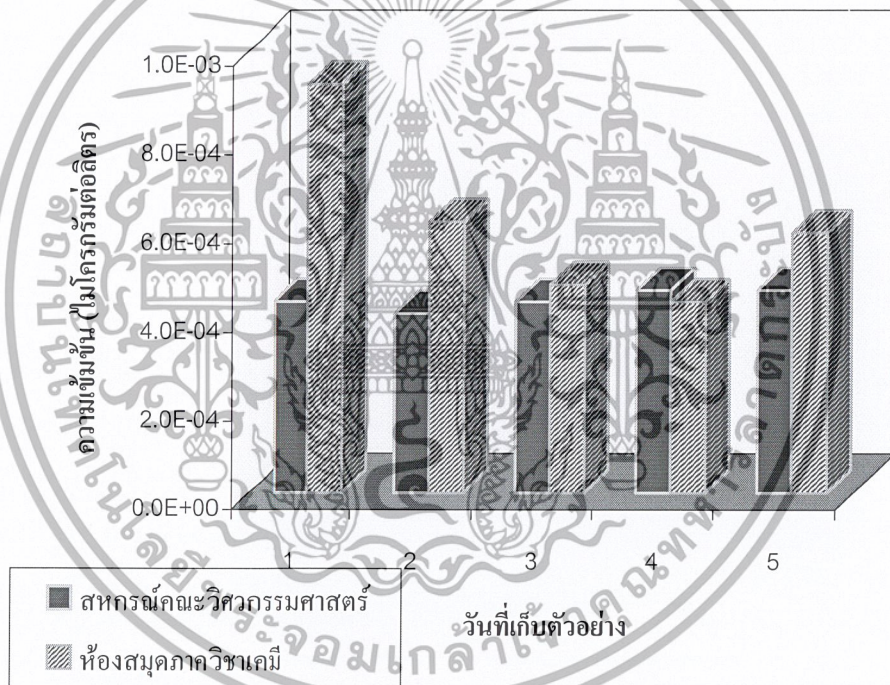
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ไอโซนในอากาศ

จากการศึกษาปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล ที่อัตราการไหล 3 ลิตร/นาทีผ่านลงในมิคเกอิมฟิงเจอร์ ที่มีสารดูดซึมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1% 10 มิลลิลิตรเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ณ บริเวณสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1



- \* ค่ามาตรฐานจาก NIOSH กำหนดค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงของไอโซน คือ  $1.0 \times 10^{-1}$  พีพีเอ็ม หรือ  $1.96 \times 10^{-1}$  ไมโครกรัมต่อลิตร

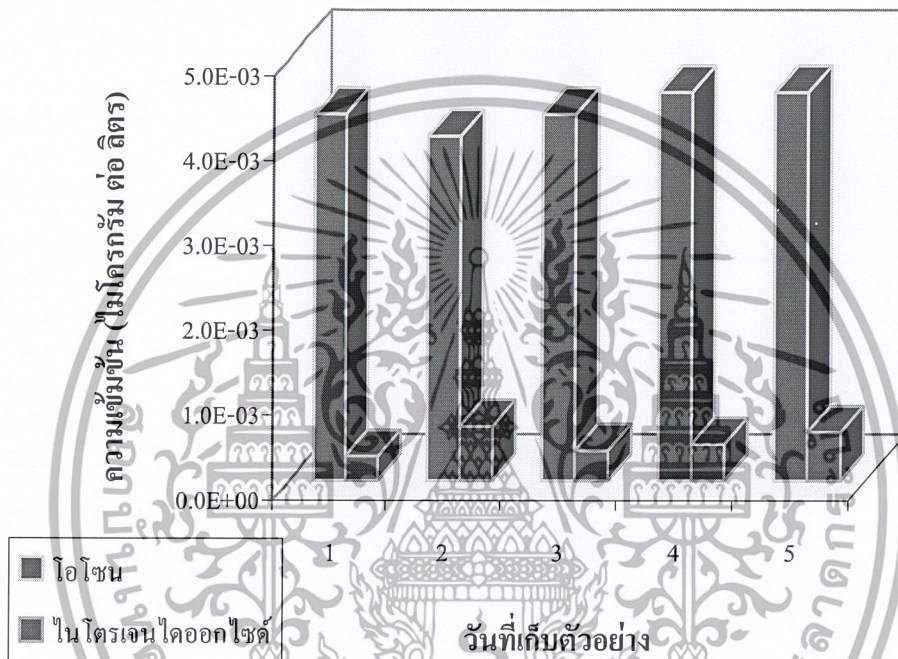
รูปที่ 4.1 แสดงความปริมาณเข้มข้นไอโซนในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมีที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม พ.ศ. 2545

ความเข้มข้นของไอโซนในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์มีค่าอยู่ในช่วง  $4.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $4.6 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของไอโซนในห้องสมุดภาควิชาเคมี มีค่าอยู่ในช่วง  $4.4 \times 10^{-3}$  ถึง  $9.3 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ

จากการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยการทำกรเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลที่อัตราการไหล 0.4 ลิตร / นาที ผ่านลงในฟริทเต็ดอิมพิงเจอร์ที่มีสารดูดซับ 10 มิลลิลิตรเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ณ สหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น โอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์

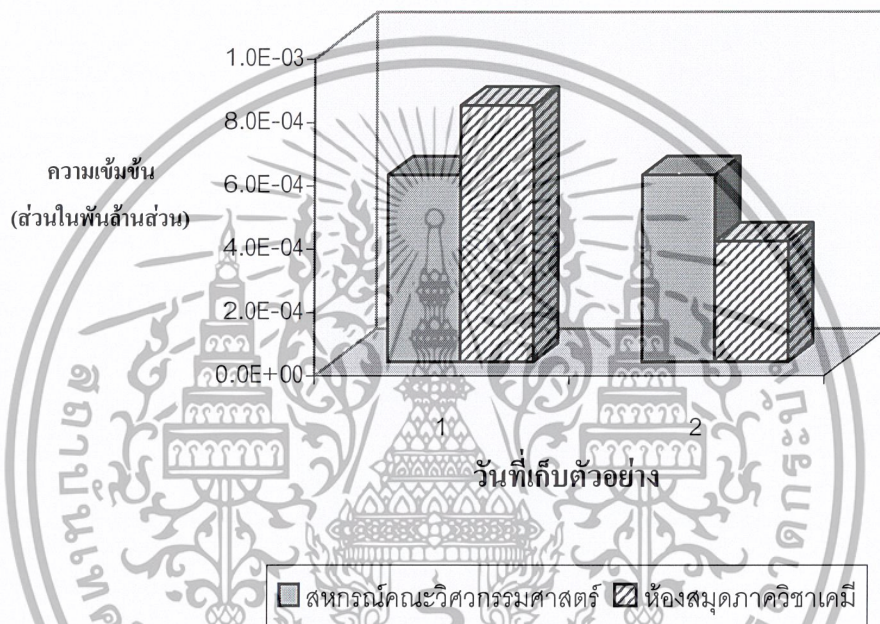
ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สภาวะมาตรฐาน ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง  $2.8 \times 10^{-4}$  ถึง  $6.4 \times 10^{-4}$  ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าไม่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องมาจากไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน เกิดเป็นก๊าซไนตริกออกไซด์กับโอโซน (สมการ 2.8)

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ ไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซน ณ สถานที่เก็บตัวอย่างและเวลาเดียวกันพบว่า ขณะที่ปริมาณโอโซนมีค่ามาก ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์จะมีค่าน้อยซึ่งมีความสัมพันธ์กันเป็นไปตาม วงศ์พันธ์และคณะ (2540) ดังรูปที่ 2.2

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์แคดเมียมและตะกั่วในอากาศ

จากการศึกษาปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในอากาศ โดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล ที่อัตราการไหล 2 ลิตร/นาทีผ่านกระดาษกรองชนิด mixed cellulose ester membrane filter เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บริเวณสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี เมื่อทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นแล้ว นำกระดาษกรองมาย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟ และวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ได้ผลดังรูปที่ 4.3

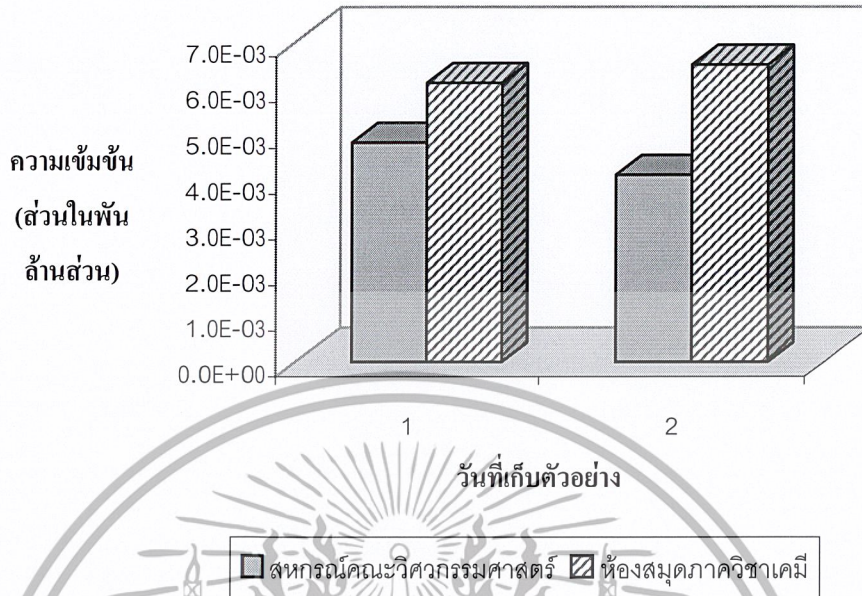


\* ค่ามาตรฐานจาก OSHA กำหนดค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาดำเนินงาน 8 ชั่วโมงของแคดเมียมคือ  $5.0 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน

รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นแคดเมียมในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ และห้องสมุดภาควิชาเคมี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546

ความเข้มข้นของแคดเมียมบริเวณสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์มีค่า  $5.9 \times 10^{-4}$  ส่วนในพันล้านส่วนและบริเวณห้องสมุดภาควิชาเคมีมีค่า  $3.8 \times 10^{-4}$  ถึง  $8.1 \times 10^{-4}$  ส่วนในพันล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



\* ค่ามาตรฐานจาก NIOSH กำหนดค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงของตะกั่ว คือ  $5.0 \times 10^{-2}$  ส่วนในพันล้านส่วน

รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณความเข้มข้นตะกั่วในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ และห้องสมุดภาควิชาเคมี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546

ความเข้มข้นของตะกั่วในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์มีค่า  $4.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $4.8 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน และบริเวณห้องสมุดภาควิชาเคมี มีค่า  $6.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $6.5 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน จากผลการทดลองความเข้มข้นของโอโซน แคลเมียมและตะกั่วในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์มีน้อยกว่าห้องสมุดภาควิชาเคมี ทั้งนี้เนื่องมาจากในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์มีพัดลมดูดอากาศและการเปิดปิดของประตูสำนักงาน ส่วนห้องสมุดภาควิชาเคมี มีปริมาณโอโซน แคลเมียมและตะกั่วค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องจากไม่มีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศและอยู่ใกล้กับห้องทดลองทางสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการเคมีอื่นๆ การเปิดปิดประตูอาจทำให้อากาศในห้องทดลองถ่ายเทมายังห้องสมุดภาควิชาเคมี

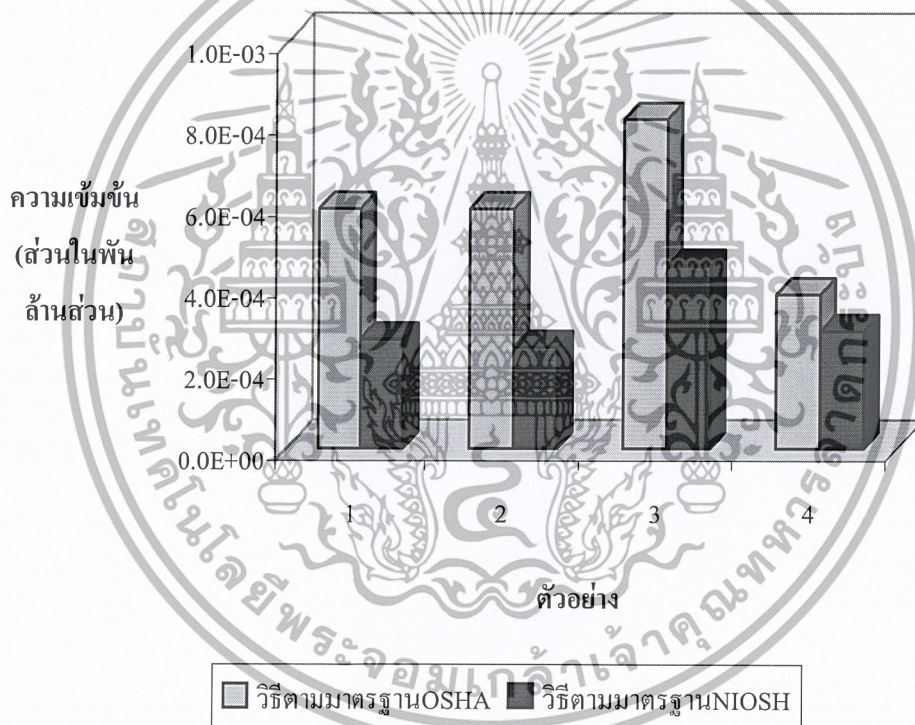
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการย่อยกระดาษกรอง

กระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นแล้วจะนำมาย่อยด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH

- วิธีมาตรฐาน OSHA เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก 2 หยด
- วิธีมาตรฐาน NIOSH เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร

จากนั้นนำมาหาปริมาณแคดเมียมและตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทั้ง 2 วิธี เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อย ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 –4.6

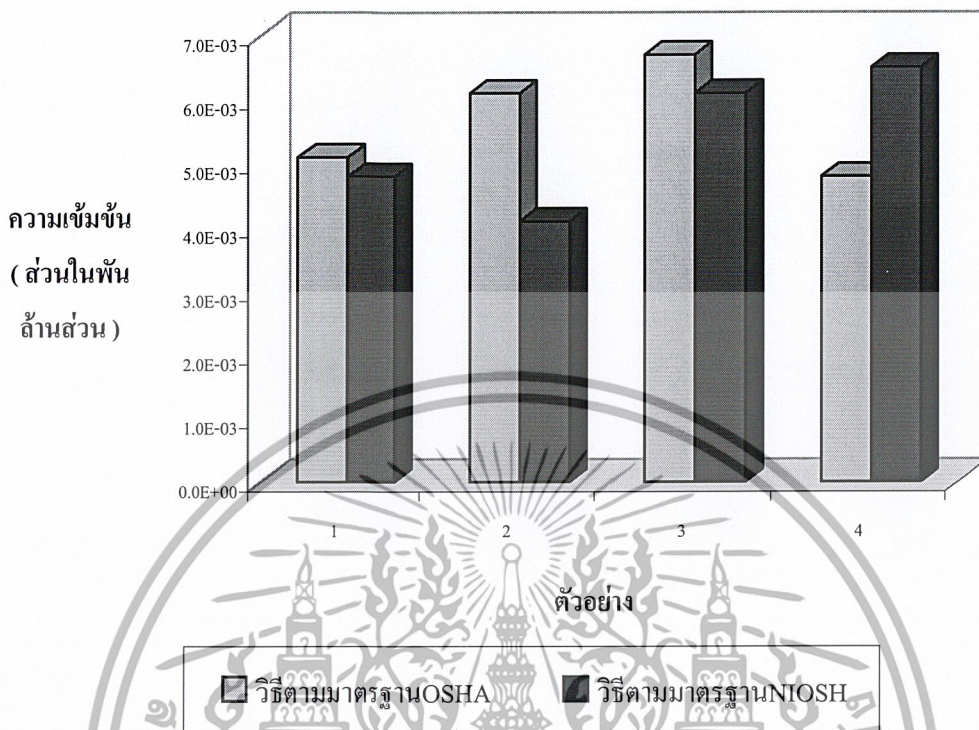


#### รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นแคดเมียมระหว่างตัวอย่างแคดเมียม

ที่ย่อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์

พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกั่วระหว่างตัวอย่างตะกั่วที่ย่อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546

- ปริมาณแคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมที่ย่อยด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA มีค่า  $3.8 \times 10^{-4} - 8.1 \times 10^{-4}$  ส่วนในพันล้านส่วน

ปริมาณแคดเมียมที่ย่อยด้วยวิธีมาตรฐาน NIOSH มีค่า  $2.5 \times 10^{-4} - 4.5 \times 10^{-4}$  ส่วนในพันล้านส่วน

- ปริมาณตะกั่ว

ปริมาณตะกั่วที่ย่อยด้วยวิธีมาตรฐาน NIOSH มีค่า  $4.1 \times 10^{-3} - 6.5 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน

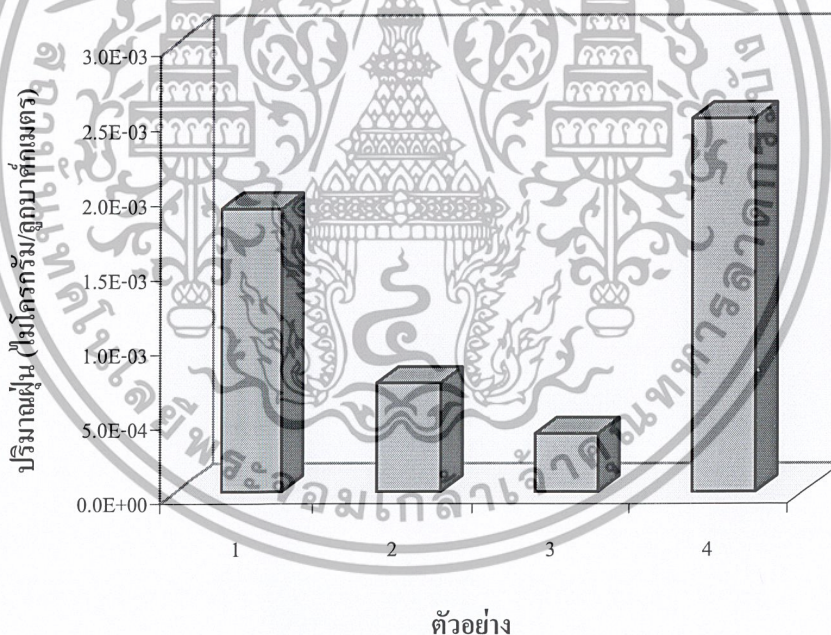
ปริมาณตะกั่วที่ย่อยด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA มีค่า  $4.8 \times 10^{-3} - 6.7 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ด้วยการทดสอบทางสถิติวิธี ANOVA แล้วพบว่า การหาค่าความเข้มข้นแคดเมียมด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 1-ง) การหาค่าความเข้มข้นตะกั่วด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 2-ง)

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นในอากาศ

จากการศึกษาปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในอาคาร ภายในอาคาร โดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล ที่อัตราการไหล 2 ลิตร/นาทีผ่านกระดาษกรองชนิด mixed cellulose ester membrane filter เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บริเวณสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องสมุดภาควิชาเคมี ปริมาณฝุ่นที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 - 4.8

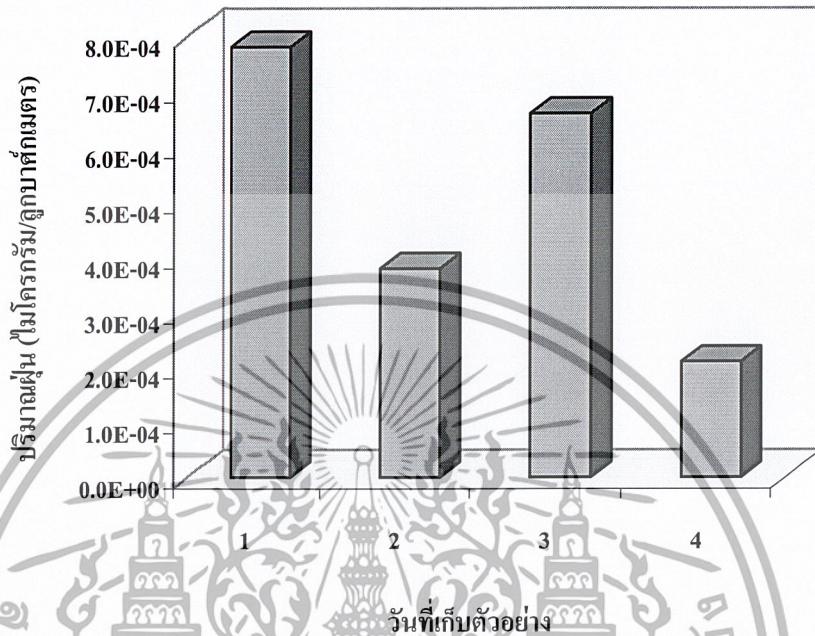


รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณฝุ่นของตัวอย่างในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในช่วงเดือน  
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546

จากรูปที่ 4.7 พบว่าปริมาณฝุ่นของตัวอย่างที่เก็บจากสหกรณ์วิศวกรรมศาสตร์อยู่ในช่วง  $2.5 \times 10^{-4}$  ถึง  $1.9 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณฝุ่นมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละวันมีกิจกรรมแตกต่างกันไปรวมทั้งมีการเปิด-ปิดประตูสำนักงานจากการเข้าออกของผู้ใช้บริการสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในระหว่างเวลาทำการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณฝุ่นของตัวอย่างในห้องสมุดภาควิชาเคมี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546

จากรูปที่ 4.8 พบว่าปริมาณฝุ่นของตัวอย่างที่เก็บจากสหกรณ์วิศวกรรมศาสตร์อยู่ในช่วง  $2.1 \times 10^{-4}$  ถึง  $7.8 \times 10^{-4}$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณฝุ่นมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากในแต่ละวันมีกิจกรรมแตกต่างกันไปรวมทั้งมีการเปิด-ปิดประตูจากการเข้าออกของผู้ใช้บริการห้องสมุดภาคเคมี ในระหว่างเวลาทำการเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

1. สหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์มีปริมาณโอโซนอยู่ในช่วง  $4.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $4.6 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณฝุ่นอยู่ในช่วง  $2.5 \times 10^{-4}$  ถึง  $1.9 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณแคะเมียมมีค่า  $5.9 \times 10^{-4}$  ส่วนในพันล้านส่วนและปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง  $4.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $4.8 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน

2. ห้องสมุดภาควิชาเคมี มีปริมาณโอโซนอยู่ในช่วง  $4.4 \times 10^{-3}$  ถึง  $9.3 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณฝุ่นอยู่ในช่วง  $2.1 \times 10^{-4}$  ถึง  $7.8 \times 10^{-3}$  ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณแคะเมียมอยู่ในช่วง  $3.8 \times 10^{-4}$  ถึง  $8.1 \times 10^{-4}$  ส่วนในพันล้านส่วน และปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง  $6.1 \times 10^{-3}$  ถึง  $6.5 \times 10^{-3}$  ส่วนในพันล้านส่วน

3. เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนบริเวณสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์พบว่าขณะที่ปริมาณโอโซนมีค่ามาก ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์จะมีค่าน้อย

4. ปริมาณโอโซน แคะเมียมและตะกั่วที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง (Threshold Limit Value-Time Weight Average, TLV-TWA)

5. การหาค่าความเข้มข้นแคะเมียมด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 1-ง) การหาค่าความเข้มข้นตะกั่วด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 2-ง)

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเก็บตัวอย่างอากาศหลายๆจุด และเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ในสถานะเดียวกัน ในการทดลองนี้มีข้อจำกัดคือมีเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศไม่เพียงพอ

2. ควรเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารต่างๆที่มีกิจกรรมแตกต่างกัน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างอากาศจากภายนอกอาคารนั้นๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนทางป้องกันมลพิษทางอากาศภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2 : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์**  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ชिकाโอะ คานาโอะและวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, **มลภาวะอากาศ, 2528**  
พิสิทฐ์ สินทรภักย์. “เรื่องของโอโซน” วารสารข่าว พปส. 6(2) มี.ค., 2534 : 5-7  
พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย.2539. **มลพิษทางอากาศ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี**  
**พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
นทีรา สรรพณี. 2541.**เคมีสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์**  
**มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม หน้า 52**  
แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, ห้างหุ้นส่วน**  
**จำกัด โรงพิมพ์ชวนชม, 2534**  
ราตรี ภารา. 2540. **ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ทิพย์วิสุทธิ**  
**จำกัด**  
วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ฉบับที่ 125 ม.ค., 2534 : 34  
วิลาวัลย์ จำประเสริฐ และ สุรจิต สุนทรธรรม, **อาชีพและวิทยาศาสตร์ ฉบับพิเศษวิทยา, โครงการตำรา**  
**กระทรวงสาธารณสุข, 2542**  
วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผลและธีระเกียรติ. 2540. **มลภาวะอากาศ. กรุงเทพฯ :**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**  
อำนาจ ต้นตวนิช.2522. “โอโซน” วารสารวิทยาศาสตร์ 33(5) พ.ค. : 39-41  
Black, D.R. ; A New, Portable, Real-time Ozone Monitor. **California Air Resources Board.**  
January 25, 2000  
Culp, G.L and Culp, R.L. ; New Concept in water Purification. 21 (1974) : 105-114.  
Nadine L., Mariette J., Cecile M. and Monique J.1999 ; Ozone Measurement with Passive  
Samplers : Validation and use for Ozone Pollution assessment in Montpellier, France.  
**Environ.sci.technol.** 33, 217-222.  
Zuo-wen zhang, Jiang-bin qu and Masayuki ikeda.1998, Lead and Cadmium levels in the  
atmosphere in mainland China: a review. **Journal of Occupational Health,40, 257-263**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<http://www.anu.edu.au/hr/ohs/alerts/photocop.html>

<http://www.ku.ac.th/e-magazine/november44/know/xerox.html>

[http://www.lva.gov.lv/soe/2001\\_eng/faktori/kim\\_vielas/metali.html](http://www.lva.gov.lv/soe/2001_eng/faktori/kim_vielas/metali.html)

<http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id189/id189.html>

<http://203.144.180.242/environment/link.html>

<http://www.pcd.go.th>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### กราฟมาตรฐานโอโซน

#### การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายไอโอดีนเข้มข้นเท่าโอโซน 1 ไมโครลิตร/มิลลิลิตรตามลำดับดังนี้ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตรและเติมสารละลายที่ใช้ดูดซึ่ม ปรับปริมาตรจนถึงขีด จะได้ความเข้มข้นเทียบเท่าโอโซน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ไมโครลิตร ต่อ 10 มิลลิลิตรนำไปวัดค่าแอมพอร์บแบนซ์ และลบด้วยค่าแอมพอร์บแบนซ์จากการปรับแก้ของแบลด์ก่อน

(หมายเหตุ การใช้สารละลายไอโอดีนเป็นสารมาตรฐานในการทำกราฟมาตรฐาน โดยใช้หลักมวลสารสัมพันธ์จากสมการที่ (2.9) และ (2.10) จะมีความสะดวกกว่าการเตรียมแก๊สโอโซนมาตรฐาน)

2. พล็อตค่าแอมพอร์บแบนซ์จากสารละลายไอโอดีนเทียบเป็นโอโซน และปรับแก้ของแบลด์แล้วจะได้กราฟมาตรฐานเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's Law) จะได้เส้นตรงผ่านจุดกำเนิดให้สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด (Best Fit)

3. เทียบค่าแอมพอร์บแบนซ์จากข้อ 3 กับกราฟมาตรฐานกรณีทีค่าแอมพอร์บแบนซ์เกินค่าในกราฟมาตรฐานที่มีไม่ควร extrapolate ควรเตรียมกราฟมาตรฐานให้เข้มข้นใหม่ (ถึง 10 ไมโครลิตร/10 มิลลิลิตร)

ตารางที่ 1-ก แสดงค่าดูตกถิ่นแสงของสารละลายมาตรฐาน โอโซน

ความเข้มข้นของสารละลาย- มาตรฐานโอโซน (ไมโครลิตร ต่อ มิลลิลิตร)	ค่าการดูตกถิ่นแสง
1	0.087
2	0.207
3	0.288
4	0.412



รูปที่ 1-ก แสดงกราฟมาตรฐาน โอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟมาตรฐานไนไตรต์

### การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไตรต์มาเป็นอนุกรม 0 , 0.2 , 0.4 , 0.6 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตรตามลำดับ (แต่ละขวดจะเทียบเท่าไนโตรเจนไดออกไซด์ 0 , 0.08 , 0.16 , 0.24 และ 0.40 ไมโครลิตรตามลำดับ)

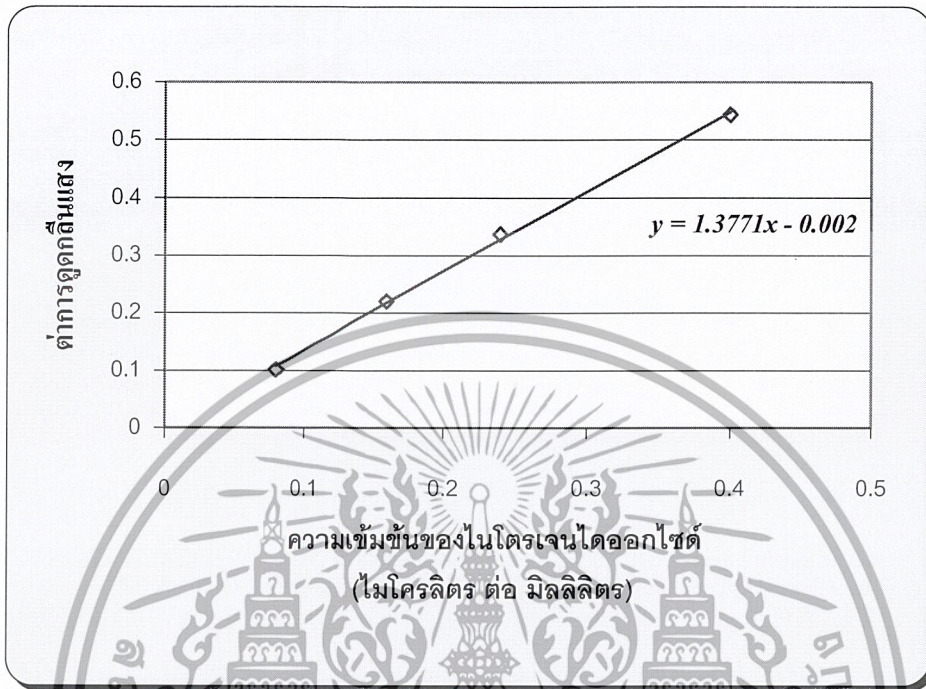
2. เจือจางแต่ละขวดในข้อ 3.3.3.5.1 ด้วยสารละลายสำหรับดูดซึม จนถึงขีดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำไปวัดค่าแอบซอร์บแบนซ์ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยใช้ขวดแรกเป็นรีเอเจนต์แบลนด์ ปรับค่าแอบซอร์บแบนซ์เป็นศูนย์ แล้วจึงวัดขวดต่อไป

3. นำค่าแอบซอร์บแบนซ์ของอนุกรมสารละลายมาตรฐานไนไตรต์พลอตกราฟ กับความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์

ตารางที่ 2-ก แสดงค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไนไตรต์

ความเข้มข้นของสารละลาย- มาตรฐานไนไตรต์ (ไมโครลิตร ต่อ มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0
0.08	0.102
0.16	0.221
0.24	0.337
0.40	0.544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-ก แสดงกราฟมาตรฐานไนไตรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟมาตรฐานแคดเมียม

### การเตรียมกราฟมาตรฐานแคดเมียม

1. ปิเปตสารละลายสต็อกแคดเมียม 1000 พีพีเอ็ม มา 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม
2. ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม จากสารละลายมาตรฐานแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม
3. ในการเตรียมกราฟมาตรฐานแคดเมียมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 พีพีเอ็ม ดังตาราง

### ตารางที่ 3-ก การเตรียมกราฟมาตรฐานแคดเมียม

Working standard ( $\mu\text{g} / \text{ml}$ )	Standard solution ( $\mu\text{g} / \text{ml}$ )	Aliquot (ml)	Final volume (ml)
0.05	5	1	100
0.10	10	1	100
0.20	10	2	100
0.50	10	5	100
1.00	100	1	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟมาตรฐานตะกั่ว

### การเตรียมกราฟมาตรฐานตะกั่ว

1. ปิเปตสารละลายสตอคตะกั่ว 1000 พีพีเอ็ม มา 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 100 พีพีเอ็ม
2. ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1.0, 5.0, 10.0, 15.0, และ 20.0 พีพีเอ็มจากสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 100 พีพีเอ็ม ดังตาราง

### ตารางที่ 4-ก การเตรียมกราฟมาตรฐานตะกั่ว

Working standard ( $\mu\text{g} / \text{ml}$ )	Standard solution ( $\mu\text{g} / \text{ml}$ )	Aliquot (ml)	Final volume (ml)
1.0	100	1	100
5.0	100	5	100
10.0	100	10	100
15.0	100	15	100
20.0	100	20	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลผลการวิจัย

ตารางที่ 1-ข แสดงผลการเก็บตัวอย่างโอโซนในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นโอโซน (ไมโครลิตร ต่อ มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น โอโซน (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นโอโซน (ไมโครกรัม ต่อ ลิตร)
1	(จ) 9 ธ.ค. 45	0.018	0.32	$2.2 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-3}$
2	(พ) 11 ธ.ค. 45	0.016	0.30	$2.1 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-3}$
3	(ศ) 13 ธ.ค. 45	0.018	0.32	$2.2 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-3}$
4	(จ) 16 ธ.ค. 45	0.02	0.34	$2.4 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-3}$
5	(อ) 17 ธ.ค. 45	0.02	0.34	$2.4 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-3}$

\* มาตรฐานค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงของโอโซนเท่ากับ 0.1 ส่วนในล้านส่วน

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นโอโซน

ตัวอย่างที่ 1 วันจันทร์ที่ 9 ธันวาคม 2545

แทนค่าการดูดกลืนแสง (Y) = 0.018 ลงในสมการกราฟมาตรฐาน โอโซน (รูปที่ 1-ก)

จากสมการ  $Y = 0.1056X - 0.0155$

$$0.018 = 0.1056X - 0.0155$$

$$X = 0.32 \text{ ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร}$$

- เปลี่ยนให้อยู่ในรูปความเข้มข้นของ  $O_3$  ในสภาวะแก๊ส (ไมโครลิตร/ลิตร, พีพีเอ็ม)

$$O_3 = \frac{\text{ปริมาณโอโซนทั้งหมด ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร} \times 10 \text{ มิลลิลิตรของสารดูดซึม}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างอากาศ (ลิตร)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{O}_3 &= \frac{0.32 \text{ ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร} \times 10 \text{ มิลลิลิตรของสารดูดซึม}}{480 \text{ นาที} \times 3 \text{ ลิตร/นาที}} \\ &= 2.2 \times 10^{-3} \text{ พีพีเอ็ม} \end{aligned}$$

- เปลี่ยนให้อยู่ในรูป ความเข้มข้นของ  $\text{O}_3$  ในหน่วย ไมโครกรัม/ลิตร ที่สภาวะมาตรฐาน

$$\text{O}_3 \text{ (ไมโครกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{พีพีเอ็ม} \times 48.00}{24.47}$$

$$= 1.962 \times \text{พีพีเอ็ม}$$

$$\text{O}_3 = 1.962 \times 2.2 \times 10^{-3}$$

$$= 4.4 \times 10^{-3} \text{ ไมโครกรัม/ลิตร}$$

ตารางที่ 2-ข แสดงผลการเก็บตัวอย่างโอโซนในห้องสมุดภาควิชาเคมี

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นโอโซน (ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร)	ความเข้มข้นโอโซน (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นโอโซน (ไมโครกรัม ต่อ ลิตร)
1	(พฤ) 7 พ.ย. 45	0.056	0.68	$4.7 \times 10^{-3}$	$9.3 \times 10^{-3}$
2	(จ) 11 พ.ย. 45	0.032	0.45	$3.1 \times 10^{-3}$	$6.1 \times 10^{-3}$
3	(อ) 3 ธ.ค. 45	0.021	0.35	$2.4 \times 10^{-3}$	$4.8 \times 10^{-3}$
4	(พฤ) 12 ธ.ค. 45	0.018	0.32	$3.2 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-3}$
5	(พ) 18 ธ.ค. 45	0.030	0.43	$3.0 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-ข แสดงผลการเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ (ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร)	ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ (ไมโครกรัม ต่อ ลิตร)
1	(จ) 9 ธ.ค. 45	0.002	0.0029	$1.5 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-4}$
2	(พ) 11 ธ.ค. 45	0.007	0.0065	$3.4 \times 10^{-4}$	$6.4 \times 10^{-4}$
3	(ศ) 13 ธ.ค. 45	0.003	0.0036	$1.9 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-4}$
4	(จ) 16 ธ.ค. 45	0.004	0.0044	$2.9 \times 10^{-4}$	$4.3 \times 10^{-4}$
5	(อ) 17 ธ.ค. 45	0.006	0.0058	$3.0 \times 10^{-4}$	$5.7 \times 10^{-4}$

\* มาตรฐานค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 1 ชั่วโมงของไนโตรเจนไดออกไซด์เท่ากับ 0.17 ส่วนในล้านส่วน

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์

ตัวอย่างที่ 1 วันจันทร์ที่ 9 ธันวาคม 2545

แทนค่าการดูดกลืนแสง (Y) = 0.002 ลงในสมการกราฟมาตรฐานไนไตรต์ (รูปที่ 2-ก)

จากสมการ  $Y = 1.3771X - 0.002$

$$0.002 = 1.3771X - 0.002$$

$$X = 0.0029 \text{ ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร}$$

- เปลี่ยนให้อยู่ในรูปความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในสถานะแก๊ส (ไมโครลิตร/ลิตร, พีพีเอ็ม)

$$\text{NO}_2 = \frac{\text{ไมโครลิตรของ NO}_2 \text{ ต่อมิลลิลิตร} \times 10 \text{ มิลลิลิตรของสารดูดซึม}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างอากาศ (ลิตร)}}$$

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 &= \frac{0.0029 \text{ ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร} \times 10 \text{ มิลลิลิตรของสารดูดซึม}}{480 \text{ นาที} \times 0.4 \text{ ลิตร/นาที}} \\ &= 1.5 \times 10^{-3} \text{ พีพีเอ็ม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปลี่ยนให้อยู่ในรูป ความเข้มข้นของ  $\text{NO}_2$  ในหน่วย ไมโครกรัม/ลิตร ที่สภาวะมาตรฐาน

$$\text{NO}_3 \text{ (ไมโครกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{พีพีเอ็ม} \times 46.00}{24.47}$$

$$= 1.5 \times 10^{-3} \times 1.880$$

$$\text{NO}_3 = 2.8 \times 10^{-4} \text{ ไมโครกรัม/ลิตร}$$

ตารางที่ 4 – ข แสดงข้อมูลตัวอย่างแคดเมียมในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ตัวอย่าง แคดเมียมที่	น้ำหนักฟูล (ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)	ความเข้มข้นที่ได้ จากเครื่อง AAS (พีพีเอ็ม)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นที่ได้ จากการคำนวณ (พีพีบี)	ความเข้มข้นที่หัก ค่าเบสลงแล้ว (พีพีบี)
(อ) 4 ก.พ. 46	1	0.0018	0.049	480	$5.1 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
	2	0.0020	0.076	459	$8.3 \times 10^{-4}$	$8.2 \times 10^{-4}$
	3	0.0019	0.043	480	$4.5 \times 10^{-4}$	$4.4 \times 10^{-4}$
	Blank1	-	0.001	480	$1.0 \times 10^{-5}$	-
	เฉลี่ย	0.0019	-	-	-	$5.9 \times 10^{-4}$
(พ) 13 ก.พ. 46	4	0.00019	0.047	264	$8.9 \times 10^{-4}$	$6.4 \times 10^{-4}$
	5	0.00073	0.076	480	$7.9 \times 10^{-4}$	$5.4 \times 10^{-4}$
	6	0.00073	0.081	480	$8.4 \times 10^{-4}$	$5.9 \times 10^{-4}$
	Blank2	-	0.024	480	$2.5 \times 10^{-4}$	-
	เฉลี่ย	0.00073	-	-	-	$5.9 \times 10^{-4}$

\* มาตรฐานค่าขีดจำกัดเฉลี่ยในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงของแคดเมียมเท่ากับ  $5 \times 10^{-6}$  ส่วนในล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์

เมื่อได้ความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วที่วัดได้โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสามารถนำมาเข้าสู่สูตรคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของแคดเมียมหรือตะกั่วในอากาศ} = \frac{B \times 10 \text{ ml}}{V \times 1000}$$

เมื่อ B = ความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วที่วัดได้โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน (พีพีเอ็ม)

V = ปริมาตรของอากาศ (ลิตร)

ตัวอย่างที่ 1 วันอังคารที่ 4 กุมภาพันธ์ 2546

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของแคดเมียมในอากาศ} &= \frac{0.049 \times 10}{960} \\ &= 5.1 \times 10^{-4} \text{ พีพีบี} \end{aligned}$$

ตารางที่ 5- ข แสดงข้อมูลตัวอย่างแคดเมียมในห้องสมุดภาควิชาเคมี

วันที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่างแคดเมียมที่	น้ำหนักฝุ่น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง AAS (พีพีเอ็ม)	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณ (พีพีบี)	ความเข้มข้นที่หักค่าเบสคงแล้ว (พีพีบี)
(พ) 5 ก.พ. 46	1	0.00062	0.082	480	$8.5 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
	2	0.00018	0.072	480	$7.5 \times 10^{-4}$	$7.0 \times 10^{-4}$
	3	0.00093	0.093	480	$9.7 \times 10^{-4}$	$9.2 \times 10^{-4}$
	Blank1	-	0.005	480	$5.2 \times 10^{-5}$	-
	เฉลี่ย	0.00078	-	-	-	$8.1 \times 10^{-4}$
(พ) 12 ก.พ. 46	4	0.00021	0.050	480	$5.2 \times 10^{-4}$	$4.9 \times 10^{-4}$
	5	0.00052	0.023	480	$2.4 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-4}$
	6	0.00041	0.044	480	$4.6 \times 10^{-4}$	$4.3 \times 10^{-4}$
	Blank2	-	0.003	480	$3.1 \times 10^{-5}$	-
	เฉลี่ย	0.00038	-	-	-	$3.8 \times 10^{-4}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 – ข แสดงข้อมูลตัวอย่างตะกั่วในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ตัวอย่าง แคดเมียมที่	น้ำหนักฝุ่น (ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)	ความเข้มข้นที่ได้ จากเครื่อง AAS (พีพีเอ็ม)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นที่ได้ จากการคำนวณ (พีพีบี)	ความเข้มข้นที่หัก ค่าเบสลงแล้ว (พีพีบี)
(พ) 5 ก.พ. 46	1	0.00052	0.419	480	$4.4 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-3}$
	2	0.00023	0.479	436	$5.5 \times 10^{-3}$	$5.4 \times 10^{-3}$
	3	0.00041	0.468	480	$4.9 \times 10^{-3}$	$4.8 \times 10^{-3}$
	Blank1	-	0.009	480	$9.4 \times 10^{-5}$	-
	เฉลี่ย	0.00039	-	-	-	$4.8 \times 10^{-3}$
(จ) 12 ก.พ. 46	4	0.00028	0.351	480	$3.7 \times 10^{-3}$	$3.5 \times 10^{-3}$
	5	0.00032	0.245	467	$2.6 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$
	6	0.00021	0.621	480	$6.5 \times 10^{-3}$	$6.3 \times 10^{-3}$
	Blank2	-	0.018	480	$1.9 \times 10^{-4}$	-
	เฉลี่ย	0.00025	-	-	-	$4.1 \times 10^{-3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7- ข แสดงข้อมูลตัวอย่างตะกั่วในห้องสมุดภาควิชาเคมี

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ตัวอย่าง แคดเมียมที่	น้ำหนักฝุ่น (ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)	ความเข้มข้นที่ได้ จากเครื่อง AAS (พีพีเอ็ม)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นที่ได้ จากการคำนวณ (พีพีบี)	ความเข้มข้นที่หัก ค่าเบสลงแล้ว (พีพีบี)
(ศ) 7 ก.ย. 46	1	0.00062	0.665	480	$6.9 \times 10^{-3}$	$6.6 \times 10^{-3}$
	2	0.00052	0.701	480	$7.3 \times 10^{-3}$	$7.0 \times 10^{-3}$
	3	0.00083	0.475	480	$4.9 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-3}$
	Blank1	-	0.031	480	$3.2 \times 10^{-4}$	-
	เฉลี่ย	0.00066	-	-	-	$6.1 \times 10^{-3}$
(อ) 11 ก.พ. 46	4	0.00021	0.450	480	$5.0 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-5}$
	5	0.00010	0.820	480	$8.5 \times 10^{-3}$	$7.9 \times 10^{-3}$
	6	0.00031	0.540	480	$5.6 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$
	Blank2	-	0.060	480	$6.4 \times 10^{-4}$	-
	เฉลี่ย	0.00021	-	-	-	$6.5 \times 10^{-3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 – ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างแคดเมียมที่น้อยกว่าวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

ความเข้มข้นของตัวอย่างแคดเมียม (พีพีบี)	
วิธีมาตรฐาน OSHA	วิธีมาตรฐาน NIOSH
$5.9 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-4}$
$5.9 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$

ตารางที่ 9 – ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างแคดเมียมที่น้อยกว่าวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ในห้องสมุดภาควิชาเคมี

ความเข้มข้นของตัวอย่างแคดเมียม (พีพีบี)	
วิธีมาตรฐาน OSHA	วิธีมาตรฐาน NIOSH
$8.1 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-4}$
$3.8 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^{-4}$

ตารางที่ 10 – ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างตะกั่วที่น้อยกว่าวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ในสหกรณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

ความเข้มข้นของตัวอย่างตะกั่ว (พีพีบี)	
วิธีมาตรฐาน OSHA	วิธีมาตรฐาน NIOSH
$5.1 \times 10^{-3}$	$4.8 \times 10^{-3}$
$6.1 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-3}$

ตารางที่ 11 – ข แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างตะกั่วที่น้อยกว่าวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH ในห้องสมุดภาควิชาเคมี

ความเข้มข้นของตัวอย่างตะกั่ว (พีพีบี)	
วิธีมาตรฐาน OSHA	วิธีมาตรฐาน NIOSH
$6.7 \times 10^{-3}$	$6.1 \times 10^{-3}$
$4.8 \times 10^{-3}$	$6.5 \times 10^{-3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### 1. การคำนวณความเข้มข้นโอโซนในอากาศด้วยวิธีทางเคมี

1.1 ในสภาวะมาตรฐาน (ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท 25 °C) ถือว่าแก๊สมีปริมาตร (molar volume) 24.47 ลิตร

1.2 ปริมาตรตัวอย่างอากาศที่เก็บภาวะจริง โดยทั่วไปจะอนุโลมให้เหมือนสภาวะมาตรฐาน จึงไม่ได้ปรับแก้ แต่ถ้าต้องการความถูกต้องมากควรคำนวณหาปริมาตรอากาศที่ภาวะมาตรฐาน โดยใช้กฎของก๊าซอุดมคติ (The perfect gas laws)

1.3 การเปรียบเทียบสารละลายไอโอไดน์ คำนวณจากปริมาณสมพันธ์ของไอโซนกับไอโอไดน์ (อัตราส่วนโมล 1:1) ใน 100 มิลลิลิตร. ของสารละลายสต็อกไอโอไดน์ 0.025 M เทียบเท่า 1 ไมโครลิตรของ O<sub>3</sub>/มิลลิลิตร จะมีไอโอไดน์ดังนี้

$$\begin{aligned} I_2 &= [100 \times 10^{-6}] / 24.47 \\ &= 4.087 \times 10^{-9} \\ &= 4.09 \text{ มิลลิลิตร ของ } 0.001 \text{ สารละลาย } I_2 \end{aligned}$$

1.4 ปริมาณไอโซนทั้งหมด (ไมโครลิตร) ใน 10 มิลลิลิตร อ่านจากกราฟมาตรฐาน

1.5 ความเข้มข้นของ O<sub>3</sub> ในสภาวะแก๊ส (ไมโครลิตร/ลิตร, พีพีเอ็ม)

$$O_3 = \frac{\text{ปริมาณไอโซนทั้งหมด ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร} \times 10 \text{ มิลลิลิตรของสารดูดซึม}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างอากาศ (ลิตร)}}$$

1.6 ความเข้มข้นของ O<sub>3</sub> ในหน่วย ไมโครกรัม/ลิตร ที่สภาวะมาตรฐาน

$$\begin{aligned} O_3 \text{ (ไมโครกรัม/ลิตร)} &= \frac{\text{พีพีเอ็ม} \times 48.00}{24.47} \\ &= 1.962 \times \text{พีพีเอ็ม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การคำนวณ NO<sub>2</sub> ในอากาศ

2.1 เปลี่ยนปริมาตรอากาศที่ทำการเก็บให้เป็นสภาวะมาตรฐาน 25 °C (298k) และ 101.3 kPa โดยใช้สูตร

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

เมื่อ P = ความดันบรรยากาศ (กิโลปาสคาล)

V = ปริมาตรของอากาศ (ลิตร)

T = อุณหภูมิของอากาศ

2.2 คำนวณหาความเข้มข้นของ NO<sub>2</sub> ในบรรยากาศในหน่วยส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม)

$$\text{พีพีเอ็ม NO}_2 = \frac{\mu\text{L NO}_2}{\text{mL}} \times \frac{\text{mL ของสารดูดซึม}}{\text{ปริมาตรอากาศที่ภาวะมาตรฐาน}}$$

2.3 ความเข้มข้นของ NO<sub>2</sub> ในสภาวะมาตรฐาน (ไมโครกรัม/ลิตร)

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 \mu\text{g/L} &= \frac{\text{พีพีเอ็ม} \times 46.00}{24.47} \\ &= 1.88 \times \text{พีพีเอ็ม} \end{aligned}$$

## 3. การคำนวณหาปริมาณแคะเมียมและตะกั่วในตัวอย่างไม่ระเหยในอากาศ

เมื่อได้ความเข้มข้นของแคะเมียมและตะกั่วที่วัดได้โดยเครื่อง AAS สามารถนำมาเข้าสู่การคำนวณ ได้ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของแคะเมียมหรือตะกั่วในอากาศ (พีพีบี)} = \frac{B \times 10 \text{ mL}}{V}$$

เมื่อ B = ความเข้มข้นของแคะเมียมหรือตะกั่วที่วัดด้วยเครื่อง AAS (หน่วยพีพีเอ็ม)

V = ปริมาตรของอากาศ (หน่วยลิตร)

ปริมาตรสุดท้ายก่อนนำไปวิเคราะห์ คือ 10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ 1-ง แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นแคดเมียมระหว่างตัวอย่างแคดเมียมที่ข้อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH

วิธีการย่อย	วิธีมาตรฐาน OSHA	วิธีมาตรฐาน NIOSH
วันที่เก็บตัวอย่าง		
1	$5.9 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-4}$
2	$5.9 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$
3	$8.1 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-4}$
4	$3.8 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^{-4}$

#### ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	$1.5 \times 10^{-5}$	1	$5.0 \times 10^{-7}$	15.364	.008
Error	$1.2 \times 10^{-5}$	6	$2.0 \times 10^{-7}$		
Total	$2.7 \times 10^{-5}$	7			

$$f_{5,5}(0.01) = 29.46$$

$$f_{5,5}(0.05) = 9.28$$

ค่าสถิติตกอยู่ในเขตวิกฤต จึงสรุปว่าวิธีการย่อยทั้ง 2 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัย

สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-ง แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกั่ว  
ระหว่างตัวอย่างตะกั่วที่ย่อยโดยวิธีมาตรฐาน OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH

วิธีการย่อย วันที่เก็บตัวอย่าง	วิธีมาตรฐาน OSHA	วิธีมาตรฐาน NIOSH
1	$5.1 \times 10^{-3}$	$4.8 \times 10^{-3}$
2	$6.1 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-3}$
3	$6.7 \times 10^{-3}$	$6.1 \times 10^{-3}$
4	$4.8 \times 10^{-4}$	$6.5 \times 10^{-3}$

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	$1.8 \times 10^{-9}$	1	$6.0 \times 10^{-10}$	.264	.626
Error	$6.1 \times 10^{-8}$	6	$1.0 \times 10^{-8}$		
Total	$6.3 \times 10^{-5}$	7			

$$f_{5,5}(0.01) = 29.46$$

$$f_{5,5}(0.05) = 9.28$$

จากค่าสถิติจะสรุปได้ว่า วิธีการย่อยทั้ง 2 วิธี "ไม่มีความแตกต่างกัน"

## ภาคผนวก จ

### การเตรียมสารละลาย

#### 1. สารละลายที่ใช้ดูดซึม 1% KI ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M

ละลายโพแทสเซียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) จำนวน 13.6 กรัม ไดโซเดียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{NaHPO}_4$ ) 14.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 10.0 กรัม เมื่อละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงเติลววดปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วัน ก่อนใช้ วัดค่าพีเอชและปรับให้เป็น  $6.8 \pm 0.2$  ด้วย NaOH หรือ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  สารละลายนี้สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้หลายเดือน โดยใช้ขวดแก้วสีน้ำตาลที่มีฝาปิดและไม่ให้มีแสงแดกส่องโดยตรง

#### 2. สารละลายสต็อกไอโอดีน 0.025 M, $\text{I}_2$ หรือ 0.05 N

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 16 กรัม และเกร็ดไอโอดีนที่ระเหิดใหม่ (resublimed iodine) 3.173 กรัม เจือจางและให้ปริมาตรสุทธิแน่นอนเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วัน ก่อนใช้หาความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนใช้ด้วยการไทเทรตกับ 0.025 M โซเดียมไฮโอซัลเฟตและหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮโอซัลเฟตกับสารมาตรฐานปฐมภูมิไบไอโอเดต [ $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ ] หรือ โพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ก่อนเสมอ การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีนทำได้โดย

หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ก่อนแล้วจึงนำไปไทเทรตกับไอโอดีน

2.1 สารละลายไอโอดีน 0.025 M มา 4.0000 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เจือจางจนถึงขีดและเก็บให้พ้นแสงจ้า ต้องเททิ้งเมื่อรินมาใช้แล้ว

2.2 การปรับเทียบสารละลายไอโอดีน

ปิเปต 5.11 มิลลิลิตร ของสารละลายข้อ 2.1 อย่างถูกต้องโดยใช้ไมโครปิเปต (ถ้าความเข้มข้นไม่เท่ากับ 0.001 M เลือกรูปปริมาณที่ทำให้สมดุลเจือจางในขวดวัดปริมาตรจนถึง 100 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้เทียบเท่าไอโอดีน 1 ไมโครลิตรต่อสารละลาย 1 มิลลิลิตร

### 3. สารดูดซับฟอร์ไดออกไซด์

เตรียมจากการใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีพื้นที่  $400 \text{ cm}^2$  (กว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม.) ละลายโครเมียม (III) ออกไซด์ 2.5 กรัม ด้วย 0.7 มิลลิลิตรกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นดูดสารละลายโครเมียมมา 15 มิลลิลิตร หยดลงบนกระดาษกรองให้สม่ำเสมอทั่วกัน นำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ  $80-90^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บไว้ในเคซิเตอร์ การทำอุปกรณ์ดูดกลิ่นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ควรใช้กระดาษกรองนี้ประมาณครึ่งหนึ่งทีเตรียมได้ต่อ 1 อุปกรณ์ เมื่อนำไปใช้งานต้องตัดให้เป็นชิ้นเล็กขนาด  $6 \times 22$  มม. และพับให้งอเป็นรูปตัววี บรรจุลงในหลอดรูปตัวยูขนาด 85 มิลลิลิตร [ระวัง! โครเมียม(III) ออกไซด์เป็นสารพิษ ต้องระวังมิให้สัมผัสร่างกายทุกส่วน ต้องใส่ถุงมือและใช้คีบคีบ] นำหลอดไปดูดความชื้นในเคซิเตอร์ที่บรรจุซิลิกาเจลอย่างน้อย 1 คืน สารดูดซับซัลเฟอร์สามารถใช้ได้ดีในช่วงเวลา 1 เดือน และถ้าต้องการใช้ใหม่ก็สามารถทำได้โดยใช้อากาศแห้งผ่านหลอดเข้าไปนาน ๆ

### 4. N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride สารละลายสตอคเข้มข้น 0.1%

(NEDH 0.1%)

ละลาย N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.1 กรัม ลงในน้ำ 100 มิลลิลิตรเตรียมเสร็จให้เก็บในขวดสีน้ำตาล ปิดจุกสนิทและไว้ในตู้เย็น สามารถเก็บได้นานหลายเดือน

### 5. สารละลายสำหรับดูดซึม

ละลายกรดซัลฟานิลิก แอมไฮดรอสจำนวน 5 กรัม (หรือใช้  $p\text{-NH}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}\cdot\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 5.5 กรัม) ลงในน้ำที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น (glacial acetic acid) อยู่ 140 มิลลิลิตรให้ปริมาตรสารละลายใกล้ๆ 1000 มิลลิลิตรค่อยๆ ให้ความร้อนจนละลายได้สมบูรณ์ ทำให้สารละลายเย็นลงแล้วจึงเติมสารละลาย NEDH 0.1% จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตร ปิดจุกสนิทเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาล และใส่ในตู้เย็น

- หลีกเลี่ยงการสัมผัสของสารละลายนี้กับอากาศทั้งในช่วงการเตรียม, การใช้และการทำให้เกิดสี เนื่องจากไนโตรเจนไดออกไซด์จากอากาศอาจดูดซึมเข้าไป จะทำให้สารเคมีเกิดปฏิกิริยาไปแล้ว
- ก่อนใช้งานต้องนำมาทำให้อุณหภูมิสารละลายเท่าอุณหภูมิห้องก่อน และรีบนำส่วนที่เหลือเก็บในตู้เย็นตามเดิม สามารถเก็บไว้ใช้ได้ยาวนานหลายเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. สารละลายสต็อกไนโตรต์ ( $\text{NO}_2$ )

ซังโซเดียมไนโตรต์ ( $\text{NaNO}_3$ ) 2.03 กรัม ( ซังแบบละเอียด ) ละลายและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร สารละลายนี้เสถียรได้นานเป็นปีถ้าเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาลและแช่ในตู้เย็น

การเตรียมสารละลายไนโตรต์เพื่อทำการมาตรฐาน ให้ดูสารละลายสต็อกไนโตรต์มา 10 มิลลิลิตร และเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ( สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตรเมื่อทำให้เกิดสีจะเทียบเท่า 10 ไมโครลิตรของไนโตรเจนไดออกไซด์ )

## 7. สารละลายสำหรับเจือจาง (4% $\text{HNO}_3$ , 0.4% $\text{HCL}$ )

กรดไนตริก 40 มิลลิลิตรรวมกับกรดไฮโดรคลอริก 4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

## 8. กรดไนตริก 10%

นำกรดไนตริกเข้มข้นมา 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน โดยใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )

ปฏิกิริยา  $2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{I}_2 \leftrightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^-$  (ฉ-1)

$$\frac{\text{จำนวนโมล } \text{S}_2\text{O}_3^{2-}}{2} = \text{จำนวนโมล } \text{I}_2$$

การทดลอง

เปิดสารละลายไอโอดีน 20 มิลลิลิตร ใส่ Erlenmeyer Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 หยด

ไทเทรตกับ โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

จนได้สีฟางข้าว

จากนั้นเติมน้ำเบี่ยง 2 มิลลิลิตร

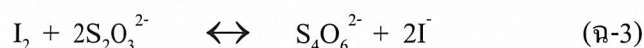
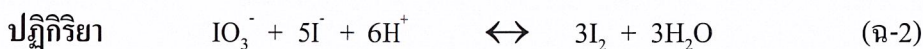
ไทเทรตจนได้สารละลายใสไม่มีสี

สูตรการคำนวณ

$$[\text{I}_2] = \frac{[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] * \text{Volume of } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{2 * \text{Volume of } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไครโอซัลเฟต ด้วยโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO<sub>3</sub>)



$$\text{จำนวน โมล IO}_3^- = \frac{\text{จำนวน โมล S}_2\text{O}_3^{2-}}{6}$$

### การทดลอง

เตรียมโพแทสเซียมไอโอเดต 0.005 M  
(ซึ่งโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 0.107 กรัม ละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร)

↓

เปิดสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 20 มิลลิลิตรลงใน Erlenmeyer Flask

↓

เติม 10% KI 10 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริก 1 M 5 มล. มิลลิลิตร.

↓

ไทเทรตกับโซเดียมไครโอซัลเฟตจนได้สีฟางข้าว

↓

เติมน้ำแข็ง 2 มิลลิลิตร. แล้วไทเทรตจนได้สารละลายใสไม่มีสี

### สูตรการคำนวณ

$$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = \frac{6 * [\text{KIO}_3] * \text{Volume of KIO}_3}{\text{Volume of Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ยววิ วิชาเบิล -สเปคโตรโฟโตมิเตอร์

สเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบบง่าย ๆ ชนิดที่ใช้ลำแสงเดี่ยว ได้แก่ Bausch and Lomb Spectronic 20 Spectrometer เครื่องมือแบบง่าย ๆ ใช้ grating แทนฟิลเตอร์ใช้งานในช่วงความยาวคลื่น 340 – 625 นาโนเมตร phototube ที่ใช้อาจขยายให้ได้จนถึงความยาวคลื่น 950 นาโนเมตร spectronic 20 จะใช้ reference phototube ช่วยชดเชยความไม่คงที่ของ output จากแหล่งแสง จึงไม่จำเป็นต้องมี power supply ที่ช่วยทำให้ความเข้มขึ้นจากแหล่งแสงนั้นคงที่

คลื่นแสงที่ออกจากแหล่งแสงจะถูกกระจายด้วย grating และสามารถเลือกความยาวคลื่นได้ตามต้องการ แสงที่ผ่านออกมาทาง exit slit จะมี bandwidth 20 นาโนเมตร

การใช้เครื่องมือชนิดลำแสงเดี่ยวมีหลักปฏิบัติดังนี้

1. เมื่อไม่มีคลื่นแสงตกกระทบเครื่องวัดสัญญาณ (เปิดชัตเตอร์) เซ็นมิเตอร์ต้องชี้ที่ศูนย์ (0 %T หรือ  $A = \infty$ ) ถ้าหับ Spectronic 20 จะมี occluder ที่เลื่อนมากั้นแสงไม่ให้ตกกระทบ phototube
2. บรรจตุ่วทำละลายบริสุทธิ์ในเซลล์ นำไปกั้นทางเดินแสง (เปิดชัตเตอร์) ปรับ gain ของเครื่องขยายหรือปรับความเข้มของแหล่งแสงให้เข็มของมิเตอร์ชี้ 100%T Spectronic 20 จะมี V-shaped slot สามารถเลื่อนเข้าออกได้เพื่อปรับให้เครื่องอ่าน 100% T หรือ  $A = 0$
3. นำเซลล์บรรจุสารละลายตัวอย่างไปกั้นทางเดินแสง แล้วอ่านค่า %T หรือ A จากมิเตอร์โดยตรง

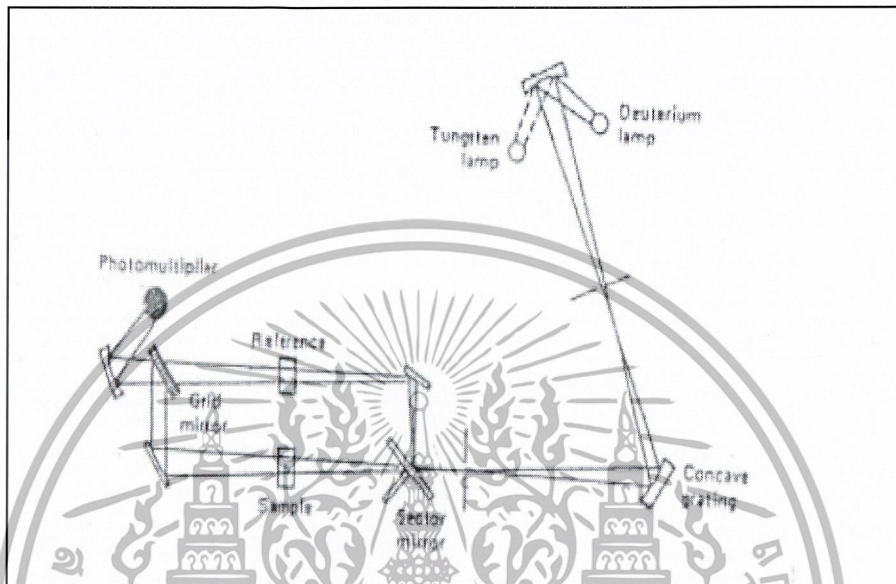
กรณีที่เปลี่ยนความยาวคลื่นใหม่ ต้องทำ 3 ขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นใหม่ เพราะความเข้มแสงจากแหล่งแสง และ response ของเครื่องวัดสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น เครื่องมือชนิดที่ใช้ลำแสงเดี่ยวต้องใช้แหล่งแสงที่ดีมีเสถียรภาพสูง เครื่องวัดและเครื่องขยายสัญญาณต้องมีคุณภาพดีด้วย

Beckman DU – 2 Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ชนิดที่ใช้ลำแสงเดี่ยวใช้ในช่วงอุลตราไวโอเลตและวิสิเบิล (210 – 1000 นาโนเมตร ) เครื่องมือชนิดนี้จะให้ bandwidth ตั้งแต่  $\pm 5$  ถึง  $\pm 2$  นาโนเมตร

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบเครื่องมือที่ใช้ Littrow prism แทน grating อุปกรณ์ที่เกี่ยวกับแสงทำด้วยควอทซ์ เพื่อต้องการใช้งานในช่วงอุลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ใช้ deuterium หรือ hydrogen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

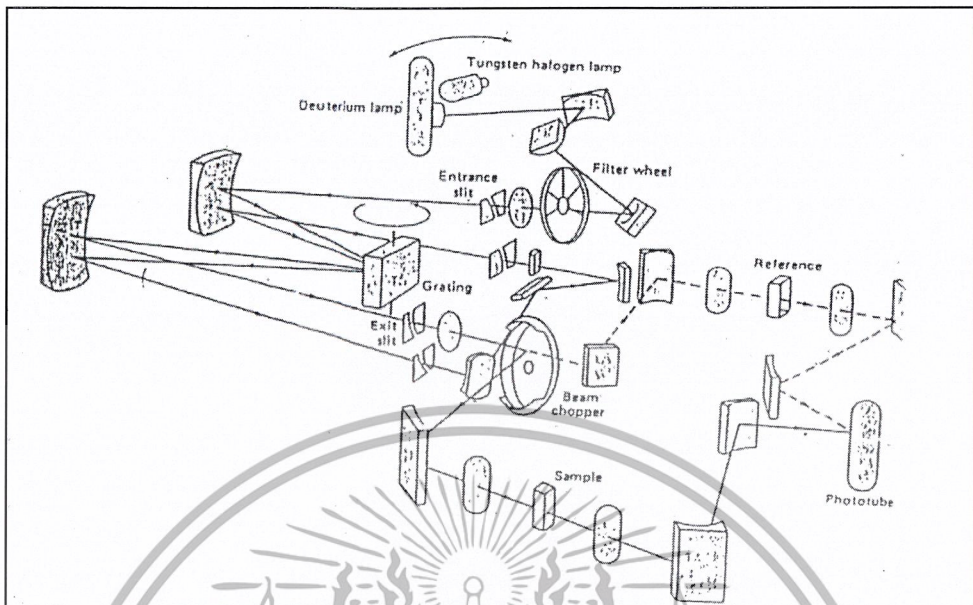
discharge tube เป็นแหล่งแสงที่ให้คลื่นแสงอุลตราไวโอเลต และหลอดทังสเตนให้คลื่นแสงวิสิเบิล ใช้กระจกสำหรับสะท้อนแสงให้ผ่านโมนโครมาเตอร์ แสงที่ผ่านออกจากexit slit จะผ่านเชลแล้วเข้าสู่เครื่องวัดสัญญาณต่อไป



รูปที่ 1-ข แสดงเครื่องมือที่ใช้ลำแสงคู่ที่ทำงานในช่วงอุลตราไวโอเลตและวิสิเบิล

แสงจากแหล่งแสงที่ถูกกระจายออก โดย grating จะผ่านออกทาง exit slit และถูกแยกออกเป็น 2 ลำแสงโดย sector mirror ลำแสงหนึ่งเคลื่อนผ่านสารละลายตัวอย่าง อีกลำแสงหนึ่งผ่านตัวทำละลายบริสุทธิ์ หรือ blank แล้วรวมกันอีกครั้งหนึ่ง แล้วเข้าสู่เครื่องวัดสัญญาณ เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของ 2 ลำแสงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-ข แสดงเครื่องมือชนิดที่ใช้ลำแสงคู่ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนขึ้น

เครื่องมือชนิดที่ใช้ลำแสงคู่มีขั้นตอนในการใช้งานดังนี้

1. เมื่อนำเซลล์ที่บรรจุด้วยตัวทำละลายบริสุทธิ์ หรือ blank ไปกั้นทางเดินแสงแล้ว ปรับปากกาของเครื่องบันทึกให้อยู่ที่ขีดศูนย์ ( $A=0$  หรือ  $100\%T$ )
2. เมื่อนำเซลล์ที่บรรจุด้วยตัวทำละลายบริสุทธิ์หรือ blank ที่อยู่ในช่องใส่ตัวอย่าง (อาจใช้ชัตเตอร์หรือสวิตช์ที่บแสงกั้นทางเดินแสง) แล้วปรับปากกาของเครื่องบันทึกให้อ่านได้  $A = \infty$  หรือ  $0\%T$

เมื่อ calibrate เครื่องมือเรียบร้อยแล้ว นำสารละลายตัวอย่างไปวัดเทียบกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ หรือ blank ได้วัด  $\%T$  หรือ  $A$  เป็นฟังก์ชันกับความยาวคลื่นได้ ความแตกต่างของสัญญาณจากลำแสงทั้งสองจะถูกขยายและบันทึกออกมา ซึ่งปัญหาที่เกี่ยวกับความเข้มของแสงจากแหล่งแสงไม่คงที่หรือ response ของเครื่องวัดสัญญาณที่เปลี่ยนตามความยาวคลื่นนั้นจะไม่มีผลต่อระบบนี้ เพราะจะวัดเปรียบเทียบ blank อยู่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ( Atomic Absorption Spectroscopy )

เทคนิคทาง อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เป็น ( Atomic Absorption Spectroscopy, AAS ) เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำมีสภาพความไวสูง และเป็นเทคนิคเฉพาะที่ตีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ก็ไม่สูงนัก ดังนั้นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ทันสมัย โดยทั่วไปจะมีเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์อยู่ด้วยเสมอ ความสามารถของเทคนิคนี้สูงมาก เพราะสามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 67 ธาตุ ซึ่งนับว่ามากพอสมควรสำหรับเครื่องมือเพียงอย่างเดียวทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ปี ค.ศ. 1953 Walsh ได้สร้างความสนใจและแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีต่าง ๆ ของการใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งในขณะนั้นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทางสเปกโทรสโกปี ได้แก่ เทคนิคคัลเลอร์ิเมตรี ( Colorimetry ) และเทคนิคทางอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรสโกปี ( Atomic emission spectroscopy ) และในปี ค.ศ. 1955 Walsh ได้พัฒนาเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุได้อย่างกว้างขวาง ช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และได้เปรียบกว่าการใช้วิธีทางอะตอมมิกอิมิสชัน ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้อย่างมาก ( แม้น และ อมร, 2534 )

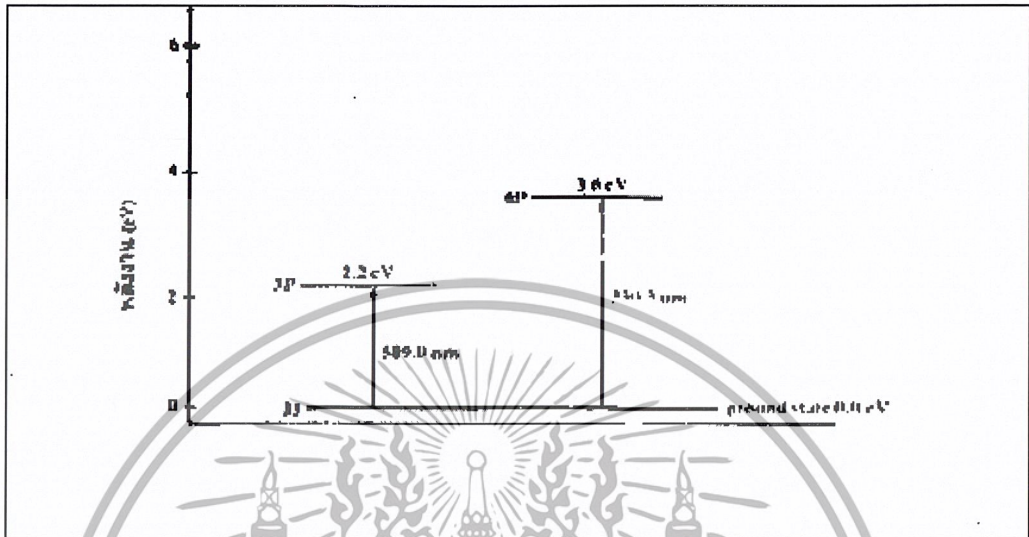
### 1. หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน ( Principles of Atomic Absorption )

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน เช่นอะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนได้ดีที่มีความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เพราะแสงที่มีความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสภาวะพื้นไปสู่สภาวะกระตุ้น ดังรูปที่ ก-1 ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จะเป็น Spectroscopic line ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

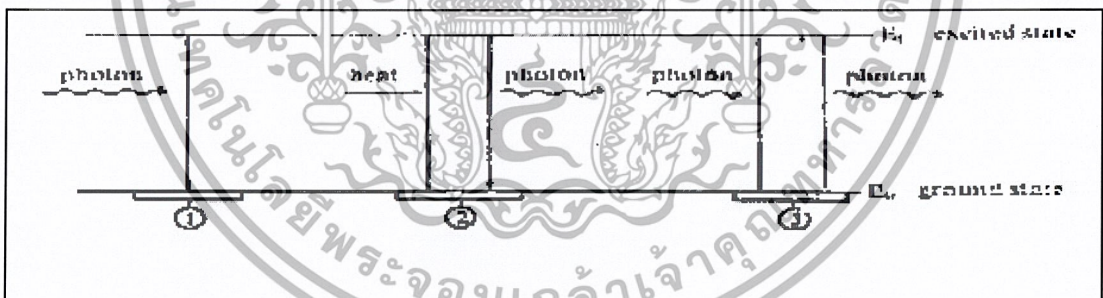
ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว ( Dissociation ) หรือเปลี่ยนเป็นไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( Vaporization ) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม ( atomization ) หรืออาจทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้



รูปที่ 3-ข ระดับพลังงานของอะตอมโซเดียม



รูปที่ 4-ข แสดง transition diagram สำหรับ

1. อะตอมมิกแอบซอร์พชั่น
2. อะตอมมิกอิมิสชั่น
3. อะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์

การเกิดอะตอมมิกแอบซอร์พชั่น อิมิสชั่น และมิกฟลูออเรสเซนซ์ นั้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4ข ซึ่งเป็นการเกิดทรานซิชันจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก (first excited state) มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 1 เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น ไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิกออบซอร์พชั่น

แบบที่ 2 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากความร้อน ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก แล้วปล่อยพลังงานออกมา เมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมา เรียกว่า อะตอมมิกอิมิสชั่น

แบบที่ 3 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนที่มาจากสเปกตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้น เมื่อกลับมาสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมา เรียกว่า อะตอมมิกอฟลูออเรสเซนซ์

กระบวนการที่สารประกอบแตกตัวเป็นอะตอมแล้วกลายเป็น ไอ หรือเกิดการกระตุ้น หรือแม้แต่เกิดแตกตัวเป็น ไอออนด้วยพลังงานความร้อนเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะของ Thermal equilibrium จำนวนอะตอมที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น ( $N_j$ ) ที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคกับจำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้นต่อหน่วยปริมาตร ( $N_0$ ) ดังนั้น  $N_0$  ก็เกิดปฏิภาค โดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย Boltzmann ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ  $N_j$  กับ  $N_0$  ดังแสดงในสมการที่ ข-1

$$N_j / N_0 = g_j / g_0 e^{-\Delta E_{kj} / kT} \quad (ข-1)$$

เมื่อ  $N_j$  และ  $N_0$  = จำนวนอะตอมของธาตุที่อยู่ในสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น  
 $g_j$  และ  $g_0$  = statistical weight ของสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น ซึ่งบอกถึงจำนวนสถานะของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเท่ากันของแต่ละระดับควอนตัม  
 $\Delta E = h\nu = E_j - E_0$  = ระดับพลังงานที่แตกต่างกันระหว่างสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น

$k$  = Boltzmann constant =  $1.38 \times 10^{-16}$  erg/deg.

$T$  = อุณหภูมิในหน่วยของศาสัมบูรณ์ ( K )

ดังนั้น จะเห็นว่า  $N_j / N_0$  จะมีค่ามากเมื่อ  $T$  สูงขึ้น และ  $\Delta E$  น้อย

$N_j / N_0$  จะมีค่าน้อยเมื่อ  $T$  ต่ำ และ  $\Delta E$  มาก

ความสัมพันธ์ของ  $N_j / N_0$  ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันดังแสดงในตารางที่ 1ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1-ข แสดงความสัมพันธ์ของ  $N_j / N_0$  ที่อุณหภูมิ 2000 K และ 3000 K

ธาตุ	Resonance line (nm)	g <sub>j</sub> /g <sub>0</sub>	ΔE (eV)	N <sub>j</sub> /N <sub>0</sub>	
				2000 K	3000 K
Na	589.0	2	2.10	$9.86 \times 10^{-4}$	$3.88 \times 10^{-4}$
Ca	422.7	3	2.93	$1.21 \times 10^{-7}$	$3.69 \times 10^{-5}$
Cu	224.8	2	3.82	$4.82 \times 10^{-16}$	$6.65 \times 10^{-7}$
Mg	285.2	3	4.35	$3.35 \times 10^{-11}$	$1.50 \times 10^{-5}$
Zn	213.9	3	5.80	$7.45 \times 10^{-11}$	$5.50 \times 10^{-10}$

จากตารางข้างบนนี้จะเห็นได้ว่า จำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งเป็นแหล่งที่จะให้อิมิสชันออกมาในการศึกษาทางอิมิสชันสเปกโตรสโกปีนั้น มีน้อยกว่าจำนวนอะตอมของธาตุที่อยู่ในสถานะพื้นมาก ๆ นี่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปีได้รับความนิยม และมีข้อได้เปรียบกว่าเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปีทั้งในเชิง sensitivity และ detection limit เพราะการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของธาตุที่มีมาก ๆ ย่อมจะง่ายกว่าการตรวจและวัดธาตุที่มีปริมาณน้อย ๆ นั่นคือ วัดปริมาณ  $N_0$  ย่อมง่ายกว่าวัด  $N_j$  นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าค่า  $\Delta E$  ของธาตุต่าง ๆ ยังแตกต่างกันด้วย ซึ่งค่า  $\Delta E$  นี้บอกให้ทราบว่าธาตุบางธาตุถูกกระตุ้นง่าย Cu และ Zn อุณหภูมิที่ใช้ก็มีส่วนสำคัญในการจะทำให้เกิดอะตอมเสรี แต่จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิของเปลวไฟ 3000 K จะเปลี่ยนอะตอมเสรีให้เป็นอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้นได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 2000 K

สำหรับค่า  $g_j$  และ  $g_0$  เป็น statistical weight ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นที่อิเล็กตรอนจะอยู่ในระดับพลังงานที่กำหนดให้ และสามารถหาได้จากทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม ( quantum mechanics ) ในสมการ 1 สามารถคำนวณหาค่าของ  $N_j / N_0$  ที่อุณหภูมิใด ๆ ที่กำหนดให้ได้ เมื่อทราบความถี่หรือความยาวคลื่นที่ธาตุจะเกิดทรานซิชัน ดังแสดงในตารางที่ 1-ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

statistical weight หาได้จากสมการ ซ-2

$$g = 2J + 1 \quad \text{----- (ซ-2)}$$

- เมื่อ  $J =$  Russell-Saunders coupling  
 $J = L + S$  หรือ  $L - S$   
 $L =$  total orbital angular momentum number  
 $= 0, 1, 2, 3$   
 $S =$  spin quantum number  $= \pm \frac{1}{2}$

โดยทั่วไปจะเขียนอยู่ในรูป  $N^M L g$

$N =$  principal quantum number

$M =$  multiplicity

เช่น การเกิดแตรนซิชั่นของ Cs 852.1 nm เป็นกรเกิดจาก

$$2_{P_{3/2}} \rightarrow 1_{S_{1/2}} \quad \text{และ} \quad g_j/g_0 = \left[ 2^{(3/2)} + \frac{1}{2}^{(1/2)} + 1 \right]$$

$$= 4/2$$

$$= 2$$

อะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ( $N_j$ ) เมื่อกลับมาอยู่ในสถานะพื้น ( $N_0$ ) จะให้โฟตอนออกมา โดยมีความเข้มของ emission lines ( $I_V$ ) หาได้จากสมการ ซ-3

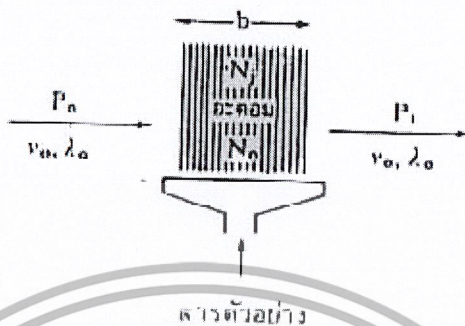
$$I_V = V \cdot A_{oj} \cdot h \nu N_0 (g_j/g_0) e^{-\Delta E/kT} \quad \text{----- (ซ-3)}$$

- เมื่อ  $V =$  ปริมาตรของเปลวไฟที่เห็นโดยดีเทกเตอร์  
 $A_{oj} =$  Einstein probability coefficient ในการเกิดแตรนซิชั่นจาก  $E_j \rightarrow E_0$  ต่อหน่วยเวลาโดยมีการให้โฟตอนออกมา

จากสมการ ซ-3 นี้ จะเห็น ได้ว่าความเข้มของเส้นสเปกตรัมที่เปล่งออกมาเป็นฟังก์ชันกับ  $\Delta E$  และ  $T$  ในทำนองเดียวกันอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้นก็จะเกิดแตรนซิชั่นจาก  $E_0 \rightarrow E_j$  โดยดูดกลืนพลังงานที่ความถี่เท่ากับ resonance frequency และ hollow cathode lamp ที่ผ่านเข้าไปในเปลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟ ซึ่งมีอะตอมของธาตุที่ต้องการหาอยู่ ( รูป 5-ข ) ปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นไปตาม absorption law ดังสมการ ง-4



รูปที่ 5-ข การกลายเป็นอะตอมของสารตัวอย่าง

$$P_t = P_0 e^{-K} \quad \text{--- (ข-4)}$$

$P_0$  = radiant power เริ่มต้น

$P_t$  = radiant power ที่ผ่าน

$K$  = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนซึ่งขึ้นกับ  $\lambda$  หรือ  $\nu$

$B$  = ความกว้างของเปลวไฟ หรือ absorbing medium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องมือปรับอิเล็กทรอนิกส์

(Flow Calibrations by Electronic Calibrators)

1. เปิดให้เครื่องปั๊มอากาศทำงานประมาณ 5 นาที เพื่อให้อัตราการไหลคงที่ อ่านค่าโดยประมาณจากโรตاميเตอร์ (ลิตร/ชั่วโมง)

2. ตรวจสอบสภาพเครื่อง Ultra Flo™ ก่อนเปิดควรตรวจสอบว่าพร้อมใช้งานหรือไม่ เกี่ยวกับสิ่งต่อไปนี้ (เปิด ON จะแสดงผลหน้าจอ

- แบตเตอรี่ หรือหม้อแปลงไฟกระแสสลับ (AC adaptor)
- น้ำสบู่ สามารถเกิดฟองได้อย่างน้อย 3 ฟิล์ม เมื่อกดสปริง (ปริมาณน้ำสบู่ที่น้อยไปจะเกิดฟิล์มฟองสบู่ไม่ดี อาจแตกก่อนถึงเซนเซอร์จุดที่ 2 แต่ถ้ามากเกินไปเกิดฟองสบู่ต่อเนื่องเมื่อมีอัตราการไหลสูง ทำให้เซนเซอร์ตรวจจับไม่ทัน)

3. ต่อเครื่องมือดังรูป ปั๊มให้มีอัตราการไหล 1000 ถึง 2000 มิลลิลิตร/วินาที สายบน (upper port) ต่อกับเครื่องปั๊ม สายล่าง (lower port) ต้องต่อกับอากาศบรรยากาศเสมอ

4. กดสปริงเพื่อสร้างฟิล์มฟองสบู่อย่างรวดเร็ว (แต่ละฟิล์มช่วงห่างกัน  $80 \times 10^{-6}$  วินาที) แสดงตัวเลขหน่วยมิลลิลิตร / นาที กรณีที่ฟองสบู่แตกหรือมากน้อยจนประมวลผลไม่ได้ จะแสดงผลหน้าจอ  เนื่องจากปริมาณจากฟองสบู่มีอัตราการไหลต่างกันเกิน 5% ในการเกิดฟองแต่ละชุด แต่ถ้าแสดง  แปลว่ากำลังคำนวณอยู่ ควรเปิดเครื่อง Ultra Flo™ ประมาณ 1 นาที ก่อนจะปรับเทียบ

5. ทำการกดสปริง และปล่อยอย่างรวดเร็ว ถ้าอัตราการไหลต่างกันต้องสังเกตการเกิดฟองให้เหมาะสมด้วย จะมีฟองสบู่เพียง 1 ฟองเท่านั้นที่เคลื่อนผ่านเซนเซอร์จึงให้ผลแม่นยำสูง ถ้ามีฟองเกิดมาก ให้กด และปล่อยสปริงใหม่จนกว่าจะได้ฟองที่เหมาะสม อ่านค่าที่แสดงผล ถ้าอัตราการไหลตรงตามความต้องการให้ลืออัตราการไหลของเครื่องปั๊มแต่ถ้าไม่ได้ให้ปรับจนได้ตามต้องการ

6. ทิ้งช่วงอย่างน้อย 3 วินาที ก่อนตรวจสอบใหม่ ลองตรวจสอบการรั่วไหลอีก 2 ครั้ง เพื่อความแน่นอนทำการทดสอบอ่านค่าอัตราการไหลอย่างน้อย 10 ครั้งและหาอัตราการไหลในหน่วยลิตรต่อวินาที

การตั้งโปรแกรมของเครื่องไมโครเวฟในการย่อยกระดาษกรองด้วยวิธีมาตรฐาน OSHA และ  
วิธีมาตรฐาน NIOSH

ตารางที่ 1-ซ การตั้งโปรแกรมของเครื่องไมโครเวฟในการย่อยกระดาษกรองด้วยวิธีมาตรฐาน  
OSHA และวิธีมาตรฐาน NIOSH

STEP	TIME	POWER	PRESS	TEMP 1	TEMP 2
1	00:02:00	250	0	0	0
2	00:02:00	0	0	0	0
3	00:06:00	250	0	0	0
4	00:05:00	400	0	0	0
5	00:05:00	600	0	0	0
6	00:00:00	0	0	0	0
7	00:00:00	0	0	0	0
8	00:00:00	0	0	0	0
9	00:00:00	0	0	0	0
10	00:00:00	0	0	0	0

VENT 00:05:00 ■ ROTORCTRL ON ■ TWIST ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฅ

### มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป (พ.ศ. 2538)

ตารางที่ 1-ฅ มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป (พ.ศ. 2538)

สารมลพิษ*	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 1 เดือน		ค่าเฉลี่ย 1 ปี***		วิธีการตรวจวัด
	มก. / ลบ.ม.	ppm	มก. / ลบ.ม.	ppm	มก. / ลบ.ม.	ppm	มก. / ลบ.ม.	ppm	มก. / ลบ.ม.	ppm	
ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	34.2	30	10.26	9	-	-	-	-	-	-	Non-dispersive infrared Detection
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO <sub>2</sub> )	0.32	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	Chemiluminescence
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO <sub>2</sub> )	780**	0.3	-	-	0.3	0.12	-	-	0.10	0.04** *	UV - Fluorescence
ฝุ่นรวม (TSP)	-	-	-	-	0.33	-	-	-	0.10	-	Gravimetric - High Volume
ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM-10)	-	-	-	-	0.12	-	-	-	0.05	-	Gravimetric - High Volume
โอโซน (O <sub>3</sub> )	0.20	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	Chemiluminescence
ตะกั่ว (Pb)	-	-	-	-	-	-	1.5**	-	-	-	Atomic Absorption Spectrometer

- หมายเหตุ \* : ค่าความเข้มข้น ของก๊าซฯ จำนวนที่ ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส /a : ค่ามาตรฐาน 802 เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
- \*\* : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 780 มกค./ลบ.ม. สำหรับบริเวณทั่วไป (ยกเว้นในพื้นที่แม่เมาะ)
- \*\*\* : ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต 780 มกค./ลบ.ม. สำหรับบริเวณทั่วไป (ยกเว้นในพื้นที่แม่เมาะ)

