การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ บริเวณสวนสาธารณะจตุจักร

USING LICHEN AS AIR POLLUTION INDEX AT CHATUCHAK PARK

ชุดา แจ่มจำรัส

ฐิติพร เปียวนิช

ณัฐภัทร ดาวทอง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USING LICHEN AS AIR POLLUTION INDEX AT CHATUCHAK PARK

CHUDA JAMCHAMRAT

THITIPORN PIAWANICH

NUTTHAPAT DAOTHONG

A SPEACIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIRMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUDE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACEDEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร
Using lichen as air pollution index at Chatuchak Park

ชื่อนักศึกษา นางสาวชุดา แจ่มจำรัส 59050544
นางสาวฐิติพร เปียวนิช 59050548
นายณัฐภัทร ดาวทอง 59050555

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2562

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2562

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย กรรมการ	
อ.ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร
Using lichen as air pollution index at Chatuchak Park

ชื่อนักศึกษา นางสาวชุดา แจ่มจำรัส 59050544
นางสาวฐิติพร เปียวนิช 59050548
นายณัฐภัทร ดาวทอง 59050555

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2562

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

บทคัดย่อ

การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักรได้ทำการสำรวจชนิด พร้อมเก็บตัวอย่างไลเคนที่พบ และตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 14 จุด ระหว่างเดือนกันยายน – พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ โดยแขวนหลอดพลาสติกโพลีเอทิลีนที่อยู่ภายในกล่องเหล็กติดตั้งบริเวณต้นไม้ เพื่อเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ 10 วัน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ผลของการศึกษาจากการสำรวจชนิดของไลเคนบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร พบไลเคนทั้งหมด 6 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Buellia* sp. โดยไลเคนที่พบจัดเป็นไลเคนที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศสูง พบปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 5.19 – 95.51 ppbv และความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 1704.16 - 2646.02 ppbv แสดงให้เห็นว่าสภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้

คำสำคัญ : ไลเคน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Using lichen as air pollution index at Chatuchak Park
Student	Miss Chuda Jamjumrat 59050544
	Miss Thitiporn Piawanich 59050548
	Mr. Nutthapat Daothong 59050555
Degree	Bachelor of Science
Department	Environmental Chemistry
Faculty	Science
University	KING MONGKUT'S INSTITUDE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Academic Year	2019
Advisor	Glinsukol Suwannarat

ABSTRACT

The use of lichens as an air quality index indicator at Chatuchak Park. Conducting type surveys and collecting samples of lichens found and measuring quality 14 check points. Between September - November 2019, sampling the atmosphere to determine the amount of sulfur dioxide (SO2) and nitrogen dioxide (NO2). Use passive sampling methods by hanging the Polyethylene plastic tube inside the iron box to install around the tree In order to collect air samples for 10 days. Analyzed for determination of concentration by ion chromatography. The results of the study from the survey of the types of lichens all 6 types of lichens were found. The most common was Buellia sp. The lichens found are lichens that are highly resistant to changes in air quality. The concentration of sulfur dioxide (SO_2) in the range of 5.19 - 95.51 ppbv and the concentration of nitrogen dioxide (NO_2) in the range of 1704.16 - 2646.02 ppbv. Shows that the weather is in fair enough

Keywords : lichens Sulfer dioxide Nitrogen dioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถดำเนินมาได้สำเร็จลุล่วง เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำติชมที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งกำลังใจที่ดีจากบุคคลหลายท่าน

ขอขอบพระคุณ ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ สำหรับคำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ คอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ การตรวจทาน และติชมผลงานในการจัดทำโครงงานพิเศษ รวมทั้งคอยดูแลเอาใจใส่ และให้กำลังใจที่ดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบโครงงานพิเศษ และได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องการตรวจทาน คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เพื่อแก้ไข ให้โครงงานพิเศษมีความถูกต้อง และสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนักวิทยาศาตร์ และเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้ออำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ และสถานที่ในการจัดทำโครงงานพิเศษ

กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยอบรมสั่งสอน คอยแนะนำให้คำปรึกษาให้ความรัก ความอบอุ่น กำลังใจที่ดี ความอุปการะ และการสนับสนุนมาโดยตลอด รวมถึงเพื่อน ๆ ที่รักซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือ คอยให้กำลังใจในทุก ๆ เรื่อง จนสามารถทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือสำหรับการจัดทำโครงงานพิเศษซึ่งมิได้กล่าวในที่นี้ ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ชุดา แจ่มจำรัส

ฐิติพร เปียวนิช

ณัฐภัทร ดาวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไลเคน (Lichen)	3
2.2 การเกิดขึ้นของไลเคน (Thallus Development)	4
2.3 ถิ่นธรรมชาติและที่อยู่อาศัย	4
2.4 การดำรงชีวิต	5
2.5 โครงสร้าง	5
2.5.1 รูปร่างลักษณะของไลเคน (Morphology of Lichen Thallus)	6
2.5.2 กายวิภาคของทัลลัส (Anatomy of Thallus)	10
2.5.3 การแพร่กระจายและการขยายพันธุ์ของไลเคน	12
2.5.4 วงจรชีวิตของไลเคน	13
2.5.5 ประโยชน์ของไลเคน	14
2.6 ไลเคนดัชนีวัดคุณภาพอากาศ	17
2.6.1 คุณสมบัติของการเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของไลเคน	18
2.7 ข้อดี – ข้อจำกัดของการใช้เลนตรวจสอบคุณภาพอากาศ	18
2.8 ไลเคนในเขตกรุงเทพมหานคร	19
2.8.1 กลุ่มทนทานสูง	20
2.8.2 กลุ่มทนทาน	22
2.8.3 กลุ่มอากาศดี	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 33
2.9.1 แหล่งที่มาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีในบรรยากาศ 34
2.9.2 ปฏิกิริยาการสลายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ 34
2.9.3 ผลกระทบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม 37
2.9.4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) 38
2.10 ออกไซด์ของไนโตรเจน 40
2.10.1 แหล่งที่มาและปฏิกิริยาของออกไซด์ของในโตรเจน (NO_x) 40
2.10.2 ผลกระทบของไนโตรเจนออกไซด์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม 43
2.10.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 45
2.11 วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ (Passive sampling) 46
2.11.1 หลักการ (Operating principles) 47
2.12 ข้อดีและข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ 48
2.12.1 ข้อดีของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ 48
2.12.2 ข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ 48
2.13 เทคนิคการใช้กระดาษกรอง 49
2.13.1 คุณสมบัติของกระดาษกรองที่ควรทราบ 49
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 51

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 55
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ 62
3.3 สารเคมี 63
3.4 วิธีการทดลอง 64
3.4.1 การสำรวจไลเคนในจุดเก็บตัวอย่าง 64
3.4.2 การเก็บตัวอย่างไลเคน 65
3.4.3 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ 65
3.4.4 การเตรียมตัวกลางดูดซับ 65
3.4.5 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพลาสสีพ 65
3.4.6 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ 67
3.4.7 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 67
3.4.7.1 วัดเส้นรอบวงของต้นไม้ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7.2 วัดความสูงของต้นไม้ 67
3.4.7.3 ค่าพีเอชของเปลือกไม้ 68
3.4.7.4 ลักษณะของเปลือกไม้ 68
3.4.7.5 วัดค่าความเข้มของแสง 68
3.4.7.6 อุณภูมิ 68
3.4.7.7 ความดันบรรยากาศ 68
3.4.7.8 ความชื้นสัมพันธ์ 69
3.4.7.9 ปริมาณน้ำฝน 69
3.4.7.10 ความเร็วลมและทิศทาง 70
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล
4.1 การศึกษาปัจจัยทางกายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคน 71
4.1.1 พีเอชของเปลือกไม้ 71
4.1.2 ลักษณะของเปลือกไม้ 72
4.1.3 ความเข้มแสง (Light Intensity) 72
4.1.4 อุณหภูมิ (Temperature) 72
4.1.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) 73
4.1.6 ปริมาณน้ำฝน (Rain) 73
4.1.7 เส้นรอบวงต้นไม้ 74
4.1.8 ความสูงของต้นไม้ 74
4.1.2.1 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมรอบบริเวณที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างอากาศ 74
4.2 การศึกษาชนิดของไลเคนบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร 77
4.2.1 ชนิดของไลเคน 77
4.3 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีพ 81
4.4 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีพ 84
4.5 เปรียบเทียบจำนวนไลเคนที่พบกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 87
4.6 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ตามการจัดแบ่งโซน 89
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการวิจัย 92
5.1.1 การศึกษาชนิดปริมาณของไลเคนและปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ 93
5.2 ข้อเสนอแนะ 93
เอกสารอ้างอิง 94
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ 99
ภาคผนวก ข โครมาโทแกรม 107
ภาคผนวก ค การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ 111
ภาคผนวก ง การคำนวณหาความเข้นข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ 114
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ 117
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ 124
ภาคผนวก ช การทำกราฟมาตรฐานซัลเฟต 131
ภาคผนวก ซ การทำกราฟมาตรฐานไนเทรต 133
ภาคผนวก ด การทำความสะอาดเครื่องแก้ว 135
ภาคผนวก ต พารามิเตอร์ต่าง ๆ 137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทนทานมลพิษในอากาศ	19
2.2 การประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคน	32
2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	38
2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	39
2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	45
2.6 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	45
3.1 จุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 14 จุด	57
4.1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่วัดได้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง	75
4.2 ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด	77
4.3 ปริมาณไลเคนที่พบในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด (ในหน่วย Thallus)	80
4.4 ชนิดของไลเคนกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สาหร่าย รา	3
2.2 ไลเคนชนิดครัสโตส	6
2.3 ไลเคนชนิดโฟลิโอส	7
2.4 ไลเคนชนิดฟรูทติโคส	8
2.5 ไลเคนชนิดสแควมูโลส	9
2.6 Homeomerous thallus	10
2.7 Heteromerous thallus	11
2.8 โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ	12
2.9 โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ	13
2.10 วงจรชีวิตของไลเคน	13
2.11 ไลเคนชนิด *Amandinea extunat* วงศ์ *Physciaceae* (ไฝพระอินทร์)	20
2.12 ไลเคนชนิด *Trypethelium eluteriae* วงศ์ *Trypetheliaceae* (ร้อยรู)	21
2.13 ไลเคนชนิด *Pyxine cocoes* วงศ์ *Physciaceae* (หัตถ์ทศกัณฑ์กุมน้ำแข็ง)	21
2.14 ไลเคนชนิด *Anthracothecium* วงศ์ *Pyrenulaceae* (สิวหัวช้างจิ๋ว)	22
2.15 ไลเคนชนิด *Dirinaria* วงศ์ *Physciaceae* (ริ้วแพร)	23
2.16 ไลเคนชนิด *Graphid* วงศ์ *Graphidaceae* (ลายเส้น)	23
2.17 ไลเคนชนิด *Lecanora* วงศ์ *Lecanoraceae* (ร้อยเหรียญ)	24
2.18 ไลเคนชนิด *Rinodina* วงศ์ *Physciaceae* (ธิดามะกอกดำ)	25
2.19 ไลเคนชนิด *Arthonia* วงศ์ *Arthoniaceae* (หลังตุ๊กแก)	25
2.20 ไลเคนชนิด *Bacidia & Caloplaca* วงศ์ *Bacidiaceae & Teloschistaceae* (โดรายากิ)	26
2.21 ไลเคนชนิด *Laurera benguelensis* วงศ์ *Trypetheliaceae* (ไหทองโรยขมิ้น)	27
2.22 ไลเคนชนิด *Trypethelium tropicum* วงศ์ *Trypetheliaceae* (พริกไทยร้อยเม็ด)	27
2.23 ไลเคนชนิด *Glyphis* และ *Sacographa*	28
2.24 ไลเคนชนิด *Physcia dimidiate* วงศ์ *Physciaceae* (สาวน้อยกระโปรงบานบางกอก)	29
2.25 ไลเคนชนิด *Chrysothrix* วงศ์ *Chrysothricaceae* (แป้งมณโฑ)	29
2.26 ไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* วงศ์ *Parmeliaceae* (ผักกาดหน่อแท่ง)	30
2.27 ไลเคนชนิด *Parmotrema praesorediosum* วงศ์ *Parmeliaceae* (ผักกาดหน่อฟอง)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.28 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 33
2.29 วัฏจักรของซัลเฟอร์ 37
2.30 กลไกระหว่างไฮดรอกไซด์ กับ ออกไซด์กับออกไซด์ของไนโตรเจน 42
2.31 ปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับออกไซด์ของไนโตรเจน 43
2.32 กลไกการแพร่ของอากาศ 46
2.33 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ 46
3.1 จุดเก็บตัวอย่าง และ สำรวจไลเคน 55
3.2 แผนภาพแสดงบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง 56
3.3 ตำแหน่งของกริดเฟรมสำหรับสำรวจไลเคน 64
3.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ 66
3.5 ภายในของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง 66
3.6 วิธีการใช้ไคลโนมิเตอร์ (Clinometer) วัดความสูงของต้นไม้ 67
3.7 เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) 68
3.8 การใช้เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter) 69
3.9 เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ 69
3.10 บารอมิเตอร์ 70
3.11 เซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดค่าความชื้นในบรรยากาศ 70
3.12 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge) 71
3.13 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) 71
4.1 ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด 78
4.2 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยรวมของทั้ง 3 ครั้ง 82
4.3 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่าง 14 จุด ทั้ง 3 ครั้ง 83
4.4 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรวมของทั้ง 3 ครั้ง 85
4.5 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่าง 14 จุด ทั้ง 3 ครั้ง 86
4.6 แผนภาพแสดงบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

TEA	ไตรเอทาโนลามีน
sp.	สปีชีส์ (species)
kPa	กิโลปาสคาล
ug/m^3	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
mol	โมล
mol m^{-2} s^{-1}	โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที
mol m^{-3}	โมลต่อลูกบาศก์เมตร
s	วินาที
m	เมตร
mL	มิลลิลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
µg	ไมโครกรัม
µL	ไมโครลิตร
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ppbv	ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร
N	ละติจูด (Latitude)
E	ลองจิจูด (Longitude)
MSL	ระดับน้ำทะเลปานกลาง
℃	องศาเซลเซียส
%v/v	ร้อยละโดยปริมาตร
pH	ค่าความเป็น กรด – ด่าง
SO_2	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
NO_2	ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญที่เริ่มมีการนำขึ้นเป็นวาระแห่งชาติในหลายประเทศทั่วโลก เช่น ปัญหามลพิษทางอากาศ ปัญหามลพิษทางน้ำ ปัญหามลพิษทางดิน จนก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นตามมา เช่น ปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเป็นต้น ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในหลาย ๆ ด้าน ปัญหามลพิษทางอากาศจัดเป็นปัญหาสำคัญต้องดำเนินการเพื่อแก้ไข และป้องกันเป็นอันดับแรก กิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดปัญหามลพิษทางอากาศ เช่น การปล่อยควัน และไอเสีย จากยานพาหนะในกิจกรรมคมนาคมขนส่ง การปล่อยควันพิษจากปล่องควันของโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้จากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น จากครัวเรือน จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยี และเทคนิคต่าง ๆ ในการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซพิษในบรรยากาศมีหลากหลายวิธีให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร ซึ่งสวนสาธารณะแห่งนี้มีโอกาสที่จะเกิดผลกระทบทางด้านมลพิษทางอากาศจากควัน และไอเสียของการใช้ยานพาหนะของประชากรบริเวณนั้น อาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ โดยทางผู้จัดทำวิจัยเลือกใช้วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ ซึ่งเป็นวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศที่ทำได้ง่าย ประหยัดใช้พื้นที่น้อย และสะดวกต่อการวิเคราะห์ โดยใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร เนื่องจากไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่อ่อนไหวต่อสภาพอากาศเป็นอย่างมาก จึงได้ทำการศึกษาชนิดของไลเคน และความสามารถในการทนต่อสภาพอากาศมาเปรียบเทียบกับปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เนื่องจากไลเคนไวต่อปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาไอออนซัลเฟต ไนเทรต ที่อยู่ในบรรยากาศได้ วิธีการนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิจัย และผลที่ได้น่าเชื่อถือ และใช้ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาชนิดของไลเคนที่มีอยู่ในบริเวณโดยรอบสวนสาธารณะจตุจักร
2) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่มีอยู่ในอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร
3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไลเคนกับสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) พื้นที่เก็บอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร
2) เก็บตัวแบบพาสซีฟ โดยเก็บตัวอย่างแบบสุ่มกระจายคลอบคลุมพื้นที่สวนสาธารณะจตุจักร จำนวน 14 จุด
3) ศึกษาชนิดพันธุ์ของไลเคน
4) ระยะเวลาในการทดลอง : ระหว่างเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2562
5) ทำการเก็บตัวอย่างครั้งละ 10 วันต่อเนื่องเป็นจำนวน 3 ครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร
2) ทราบถึงชนิดของไลเคนที่มีอยู่ในสวนสาธารณะจตุจักร
3) ทราบถึงผลกระทบของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่ส่งผลต่อปริมาณไลเคนที่อาศัยอยู่ในบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร
4) สามารถบ่งชี้คุณภาพอากาศอย่างง่ายของพื้นที่สวนสาธารณะจตุจักรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไลเคน (Lichen) (พิบูลย์, 2548)

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่แปลกแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เพราะเกิดจากสิ่งมีชีวิต 2 ชนิดอยู่ร่วมกันระหว่าง รา เรียกว่า มายคอไบออนท์ (Mycobiont) และสาหร่าย เรียกว่า โฟโตไบออนท์ (Photobiont) แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Mutuanl Symbiosis) โดยราทำหน้าที่ป้องกันอันตรายช่วยดูดซับความชื้น และแร่ธาตุอาหารบางอย่างที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตให้กับสาหร่าย ขณะที่สาหร่ายสังเคราะห์อาหารสำเร็จให้กับรา ทั้งนี้ไลเคนมักดำรงชีวิตด้วยการเกาะอาศัยอยู่บนผิวหน้าของวัสดุต่าง ๆ โดยพบทั้งวัสดุธรรมชาติ เช่น เปลือกไม้ ใบไม้ ดิน หิน แมลง และวัสดุอื่น ๆ เช่น ขวดพลาสติก แผ่นโลหะ เป็นต้น

สำหรับชนิดของสาหร่ายที่จัดว่าเป็นโฟโตไบออนท์นั้น จำแนกได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ พวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue Green algae) คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นองค์ประกอบซึ่งไลเคนพวกที่มีสาหร่ายสีเขียวเป็นองค์ประกอบทัลลัสจะเป็นสีเขียวอมเทา ในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทัลลัสจะเป็นสีเขียวเข้ม เขียวขี้ม้าจนถึงดำ

(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไลเคน (กระทรวงศึกษาธิการ, 2555)

(ก) สาหร่าย (Photobiont)

(ข) รา (Mycobiont)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเกิดขึ้นของไลเคน (Thallus Development) (พิบูลย์, 2548)

ไลเคนกำเนิดมาจากรา และสาหร่ายที่มีสหสัมพันธ์กันแบบเฉพาะเจาะจง นอกจากนั้นแล้วยังขึ้นกับสภาพแวดล้อมด้วย กล่าวคือ สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะกับการเติบโตของทั้งรา และสาหร่ายมีผลต่อการพัฒนาเป็นโครงสร้างพื้นฐานเปรียบได้ว่าเป็นร่างกายของไลเคน เรียกว่า ทัลลัส (Thallus) ซึ่งพัฒนาการเกิดทัลลัสของไลเคน อาจใช้ทฤษฎี ยีน ฟอร์ ยีน (Gene-for-gene) ซึ่งราที่ก่อให้เกิดเป็นไลเคนไม่สามารถอยู่ได้อย่างอิสระในธรรมชาติ และมีชีวิตได้ในสภาพที่ต้องอาศัยสาหร่ายเฉพาะเท่านั้น

ทฤษฎี ยีน ฟอร์ ยีน (gene-for-gene theory) คือ สภาพที่มีความซึ้นสูง สาหร่ายจะสร้างสารบางชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นสารโปรตีน เช่น เลคติน (Lectin) หรือคอนคานาวาลิน (Concanavalin) หรือโปรตีนชนิดอื่น ๆ ซึ่งถูกควบคุมด้วยยีนเฉพาะจากเซลล์ของสาหร่าย และปล่อยออกมากระตุ้นให้สปอร์หรือเส้นใยราที่เป็นคู่เฉพาะตื่นตัวงอกเป็นเส้นใยเข้าสัมผัส ณ ตำแหน่งจุดเชื่อม (Specific binding site) บนผนังเซลล์ของสาหร่าย สารโปรตีนดังกล่าวไม่เพียงกระตุ้นให้ราตื่นตัวเท่านั้นยังกระตุ้นให้ยีนของราสร้างโปรตีนที่มีคุณสมบัติเป็นเอนไซม์ เช่น คิวติเนส (Cutinase) เพคติเนส (Pectinase) เซลลูเลส (Cellulase) ดังนั้นเมื่อราสัมผัสกับผนังของเซลล์สาหร่ายก็จะสามารถเจาะทะลุผนังเซลล์สาหร่ายได้โดยตรงด้วยโครงสร้างที่เรียกว่า อินเฟคชัน เพ็ก (Infection peg) แต่สาหร่ายบางชนิดทำหน้าที่ป้องกันการเจาะทะลุผนังเซลล์จากอินเฟคชันเพ็กและฮอสตอเรีย (Haustoria) ที่ราสร้างขึ้น

ในหลายเหตุการณ์พบว่า ราสามารถเจาะทะลุผนังเซลล์ของสาหร่ายได้สำเร็จแต่การพัฒนาเป็นทัลลัสของไลเคนไม่เกิดขึ้นเนื่องจากสาหร่ายตายก่อนกำหนด การเกิดเป็นทัลลัสของไลเคนขึ้นอยู่กับการสัมผัสของรา และสาหร่าย จากการเข้าสัมผัสของรา และสาหร่ายทำให้การเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์แบบพัฒนาไปด้วยกัน

2.3 ถิ่นธรรมชาติและที่อยู่อาศัย (พิบูลย์, 2548)

ไลเคนเจริญเติบโตได้ทุกสภาวะอากาศ ตั้งแต่เขตร้อนชื้นใกล้ศูนย์สูตร (Tropical) หรือเขตร้อนแห้งแบบทะเลทราย (Desert) จนถึงเขตหนาวจัด (Tundra) แถบอาร์คติดจนถึงขั้วโลก และพบได้ทุกสภาพพื้นที่ตั้งแต่แถบชายทะเลจนถึงภูเขาสูง ในพื้นที่ที่สภาพของอากาศรุนแรง มักพบความหลากหลายชนิดของไลเคนมากกว่าในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้เนื่องจากไลเคนเจริญเติบโตช้าไม่สามารถแข่งขันกับพืชชนิดอื่นได้ แต่ละปีอาจจะเจริญเติบโตได้เพียง 1 - 2 เซนติเมตรเท่านั้น โดยทั่วไปเราสามารถพบไลเคนได้ตามดิน หิน และต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การดำรงชีวิต (พิบูลย์, 2548)

การเจริญเติบโตของไลเคนเกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายโดยมีน้ำที่ได้จากชั้นบรรยากาศในสภาพหมอก ฝน และน้ำค้างเป็นวัตถุดิบ

ทัลลัสของไลเคนไม่มีโครงร่าง หรืออุปกรณ์ในการป้องกันการสูญเสียน้ำเหมือนพืชชั้นสูง ดังนั้นการสังเคราะห์ด้วยแสงของไลเคนเกิดขึ้นได้เฉพาะในตอนที่ทัลลัสมีน้ำเท่านั้นในตอนบ่ายเมื่อสภาพของอากาศมีน้ำน้อยลง น้ำในทัลลัสของไลเคนจะลดลงตามไปด้วยสภาวะอย่างนี้ไลเคนจะพักตัว ไลเคนบางชนิดเมื่อสภาพของอากาศแห้งแล้งสามารถพักตัวได้นานหลายเดือนต่อเมื่อได้รับน้ำทัลลัสของไลเคนจะฟื้นตัวขบวนการหายใจเกิดอย่างรวดเร็ว และเมื่อมีแสงสว่างขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดได้ตามปกติ

ในธรรมชาติเวลากลางคืนทัลลัสของไลเคนซึมซับน้ำจากบรรยากาศจนอิ่มตัวเมื่อตอนใกล้สว่าง และเมื่อแสงแดดปรากฏขึ้นการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารจะเกิดขึ้นทันทีเวลาบ่ายเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นน้ำในทัลลัสลดลงไลเคนจะพักตัวดังนั้นจะเห็นว่าช่วงระยะเวลาในการนำคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มาใช้เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นช่วงเวลาสั้นซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ไลเคนเจริญเติบโตช้ากว่าพืชชั้นสูงอื่น ๆ

2.5 โครงสร้าง (Thomas, 2008)

ในปัจจุบันการอยู่ร่วมกันแบบอาศัยเพศมีวิวัฒนาการอย่างกว้างขวางโดยเกิดจากการกระตุ้นโครงสร้างภายในเซลล์สืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างการเจริญเติบโตของพืชมีการพัฒนาแม้ว่าจะมีความซับซ้อนเพียงใด รูปร่าง และลักษณะของไลเคนเกิดจากการอยู่ร่วมกันในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมของรา และสาหร่าย โครงสร้างของไลเคนมีความแตกต่างมากมาย และมีรูปร่างที่ไม่จำกัดแน่นอน

รูปร่างการเจริญเติบโตของไลเคนมีไม่จำกัดขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์แสง และอัตราการเจริญเติบโตของไลเคนชนิดนั้น ๆ สำหรับราในไลเคนทำหน้าที่สะสมแสงเพื่อนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม แม้ว่าจะอยู่ในที่มืดลึก หรือสภาพทะเลทราย

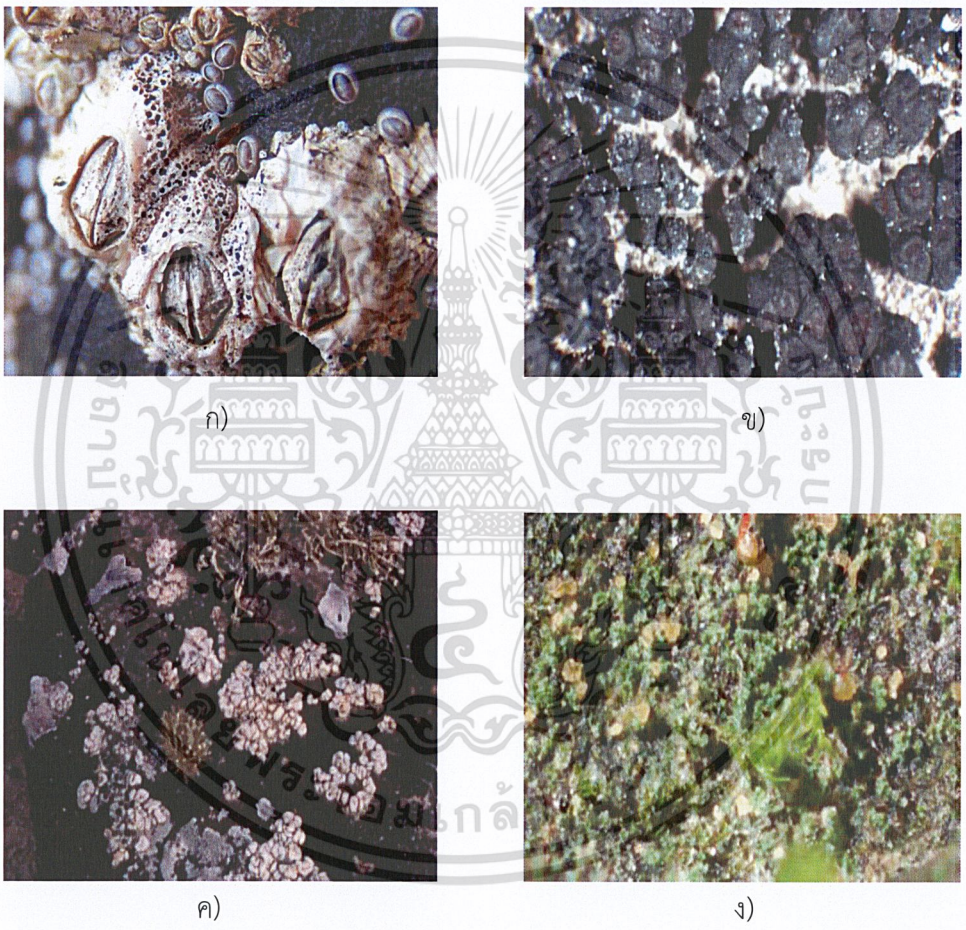
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 รูปร่างลักษณะของไลเคน (Morphology of Lichen Thallus)

(Natureman, 2010) จำแนกได้เป็น 4 ประเภทหลัก

1) ครัสโตส (Crustose)

ไลเคนชนิดครัสโตส บ้างเรียกว่า “พวกต่างดวง” หรือ “พวกแผ่น” มีลักษณะคล้ายฝุ่นผงติดอยู่ตามเปลือกไม้ หรือหิน โดยมีการเจริญเติบโตบางราบติดไปกับที่เกาะอาศัยไม่สามารถลอกออกจากที่เกาะอาศัยได้โดยง่ายถ้าต้องการลอกออกมาจำเป็นต้องสกัด หรือแกะที่เกาะอาศัยติดไปมีการเติบโตขยายออกจากจุดศูนย์กลางโดยอาจเติบโตได้เพียง 0.5 - 2.5 มิลลิเมตร/ปี



ก) ข) ค) ง)

รูปที่ 2.2 ไลเคนชนิดครัสโตส

ก) *Arthopyrenia halodytes* (Ayrshire, 2008)

ข) *Anema nummularium* (Nimis, 2001)

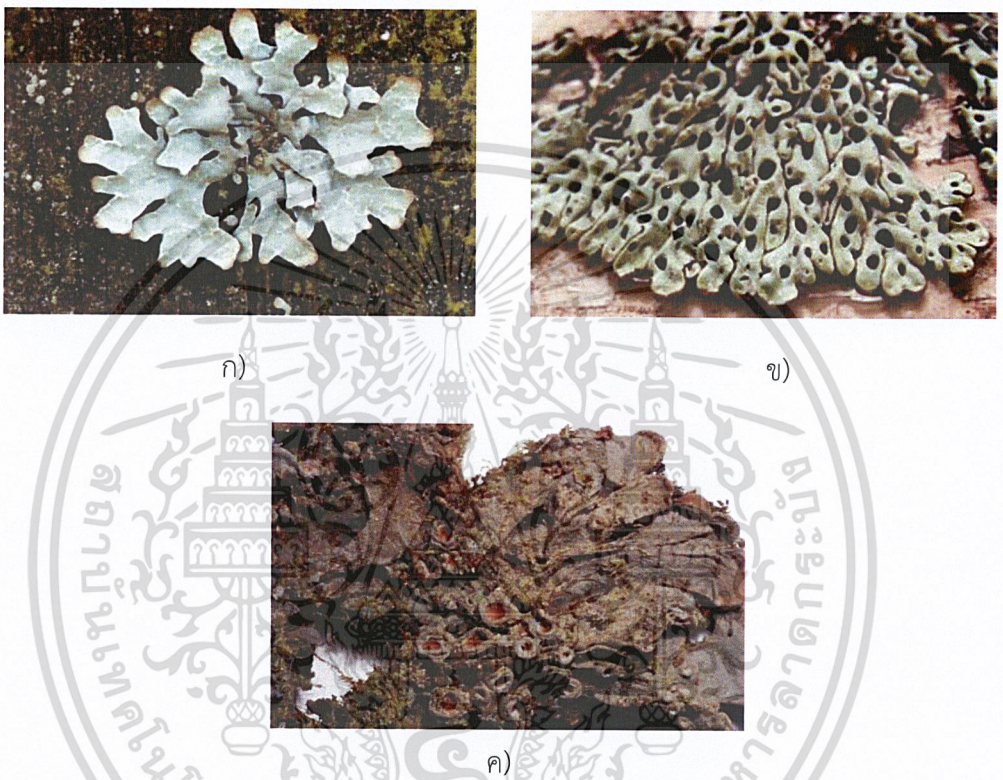
ค) *Mobergia calculiformis* (Spjut, 2004)

ง) *Vezdaea rheocarpa* (Stapper, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) โฟลิโอส (Foliose)

ไลเคนชนิดโฟลิโอส บ้างเรียกว่า “พวกใบ” มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ เหมือนใบไม้เล็ก ๆ ยึดเกาะตามเปลือกไม้เฉพาะจุด หรือบริเวณขอบ มักมีรอยหยักคล้ายเห็ดหูหนูเกาะติดกับหิน หรือเปลือกไม้ไม่มั่นคงหลุดได้ง่าย



ก) ข) ค)

รูปที่ 2.3 ไลเคนชนิดโฟลิโอส

ก) *Parmelia sulcate* (James, 2004)

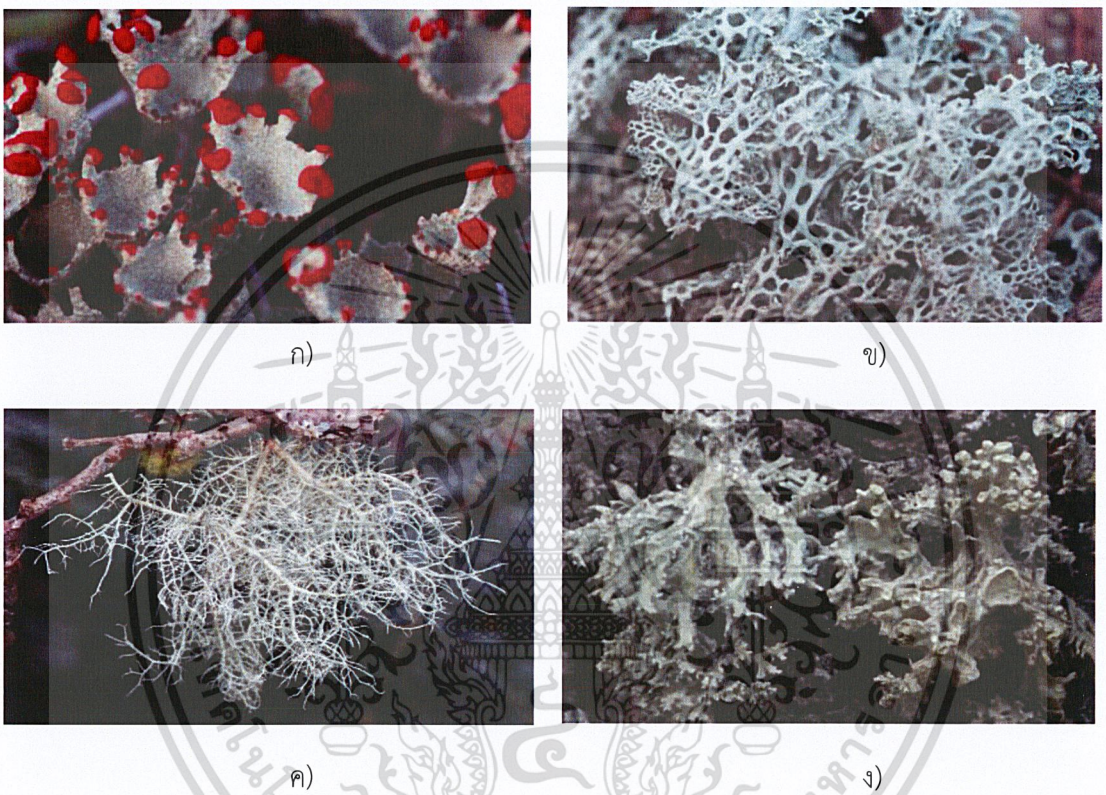
ข) *Menegazzia pertransita* (Anonymous, 2018)

ค) *Physma byrsaem* (Tropical lichens, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ฟรูทติโคส (Fruticose)

ไลเคนชนิดฟรูทติโคส บ้างเรียกว่า “พวกพุ่มกอ” มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน หรือคล้ายรากฝอย กับรากแขนงบ้างก็ว่าคล้ายต้นไม้เล็ก ๆ ที่มีโคนต้น และกิ่งก้านสาขาโดนมีส่วนฐานยึดติดกับวัตถุแล้วชูยอดตั้งขึ้น หรือห้อยลงมีการเติบโตขยายออกตามความยาวโดยอาจเติบโตได้เพียง 1-3 เซนติเมตร/ปี



ก) ข) ค) ง)

รูปที่ 2.4 ไลเคนชนิดฟรูทติโคส

ก) *Cladia retipora* (Tatiana , 2012)

ข) *Cladonia coccifera* (Michal & Adam Dutkiewicz, 2014)

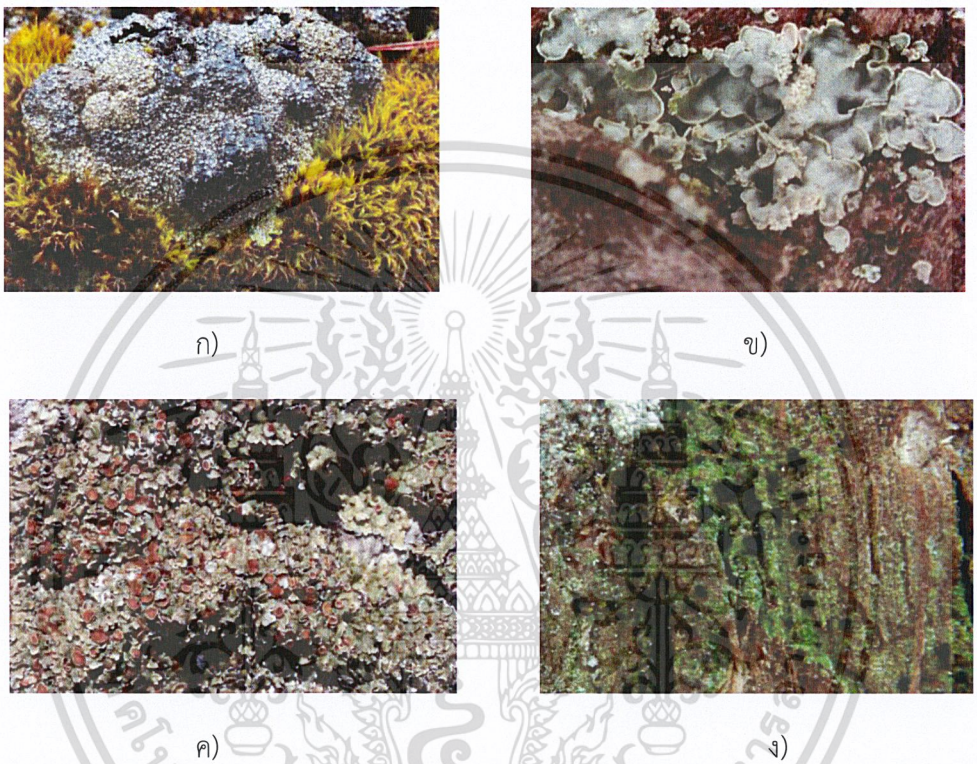
ค) *Ramalina pollinaria* (Haynold, 2004)

ง) *Usnea filipendula* (Opiola, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สแควมูโลส (Squaremulose)

มีลักษณะเป็นรูปคล้ายเส้นด้าย หรือเกล็ดเล็ก ๆ คล้ายเกล็ดปลา ชนิดนี้พบเห็นได้ค่อนข้างยากเพราะมันจะอยู่ในสภาพธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ และมีอากาศบริสุทธิ์มาก ๆ เท่านั้นมีการเติบโตขยายออกตามความยาว โดยอาจเติบโตได้เพียง 1 - 3 เซนติเมตร/ปี



ก) ข) ค) ง)

รูปที่ 2.5 ไลเคนชนิดสแควมูโลส

ก) *Catapyrenium cinereum* (Thompson, 1984)

ข) *Normandina pulchella* (Mussellav, 2002)

ค) *Squaremarina cartilaginea* (Yorkshire, 2010)

ง) *Lopadium disciforme* (Smith, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กายวิภาคของทัลลัส **(**Anatomy of Thallus**)** (สวทช., 2547)

โครงสร้างพื้นฐานของไลเคนเรียกว่า ทัลลัส (Thallus) โดยมีส่วนที่ราใช้สืบพันธุ์ที่เรียกว่า อะโพธีเซีย (Apothecia) แบบต่าง ๆ ติดอยู่บนหรือฝังอยู่ในทัลลัสเมื่อนำทัลลัสผ่าตามขวาง (Cross-section) พบการจัดเรียงตัวของสาหร่าย และราแบบใดแบบหนึ่ง ดังนี้

1) ทัลลัสแบบโฮมิโอเมอรัส (Homeomerous thallus)

ทัลลัสที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของมายโคไบออนท์ และโฟโตไบออนท์ ไม่เกิดเป็นเขต หรือชั้นที่แน่นอน กล่าวคือ เส้นใยของรา และสาหร่ายประสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบสามารถพบได้กับไลเคนสกุลคอลเล็มมา (Collema) และเลบโตเจียม (Leptogium)

ก) ข)

รูปที่ 2.6 Homeomerous thallus

ก) ไลเคนสกุลคอลเล็มมา (Collema) (Tigerente, 2006)

ข) ไลเคนสกุลเลบโตเจียม (Leptogium) (Daniel, 2009)

2) ทัลลัสแบบเฮทเทอโรเมอรัส (Heteromerous thallus)

เป็นทัลลัสที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างมายโคไบออนท์ และโฟโตไบออนท์แบ่งเป็นชั้นอย่างเป็นระเบียบ ดังนี้

- ชั้นคอร์เท็กซ์ (Cortex layer) ด้านบน

ประกอบด้วยเส้นใย (Mycellium) ของราอัดกันค่อนข้างแน่นชั้นนี้ทำหน้าที่ช่วยปกป้องสาหร่ายจากแสงแดดที่รุนแรง และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่เลวร้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชั้นสาหร่าย (Algal layer)

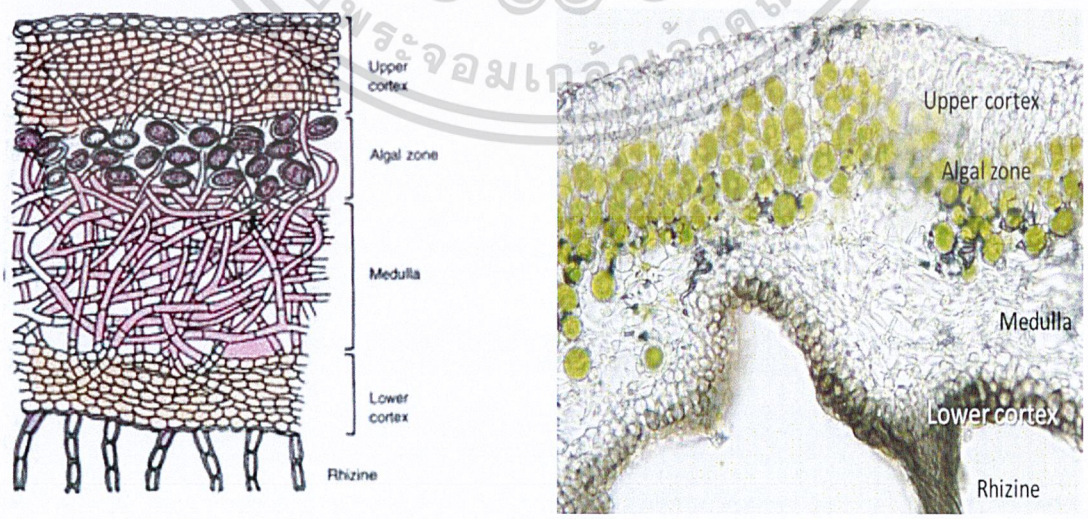
ชั้นของสาหร่ายเป็นชั้นที่อยู่ถัดจากชั้นคอร์เท็กซ์ด้านบนลงมา ตำแหน่งของความหนาของชั้นสาหร่ายในไลเคนแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมของการมีชีวิตอยู่รอดข้อสำคัญ คือ สาหร่ายจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของแสงพอเหมาะต่อการเจริญเติบโต

- ชั้นเมลดูลา (Medula layer)

เกิดจากการที่เส้นใยของรา ประสานตัวตามแนวยาวแบบหลวม ๆ โดยทั่วไปชั้นนี้มีลักษณะคล้ายปุยฝ้าย อาจมีสีแตกต่างกันตั้งแต่ขาว เหลือง ส้ม ทั้งนี้เนื่องจากไลเคนจะสร้างสารธรรมชาติเรียกว่า Secondary Metabolite ที่มีลักษณะเฉพาะพิเศษแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของสาหร่ายซึ่งสารธรรมชาติที่ไลเคนสร้างไม่จำเป็นจะต้องสะสมอยู่ในชั้นเมดดูลา ไลเคนบางชนิดอาจสะสมสารธรรมชาติไว้ที่คอร์เท็กซ์ด้านบนซึ่งสารธรรมชาติดังกล่าวไม่พบในพืชชั้นสูง ชั้นเมดดูลาเป็นส่วนที่ดูดซับความชื้นเป็นที่เก็บอาหารสะสม และช่วยในการแลกเปลี่ยนอากาศ

- ชั้นคอร์เท็กซ์ (Cortex) ด้านล่าง

ประกอบด้วยมายซีเลียมของที่อัดตัวค่อนข้างแบนช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้บ้าง ถ้าเป็นไลเคนแบบโฟลิโอสชั้นนี้อาจมีมายซีเลียมของรารวมตัวกันเป็นเส้นเรียวคล้ายรากพืช เรียกว่าไรซีน (Rhizine) ใช้สำหรับยึดเกาะกับพื้นที่อาศัยส่วนไลเคนพวกครัสโตสไม่มีคอร์เท็กซ์ชั้นล่างแต่จะมีมายซีเลียมของราชั้นเมดดูลาเกาะติดอยู่กับ substrate โดยตรงไลเคนที่มีสาหร่ายสีเขียวเป็นโฟโตไบออนท์ มีทัลลัสแบบเฮทเทอโรเมอรัส



รูปที่ 2.7 Heteromerous thallus (Asta & Kritartha, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

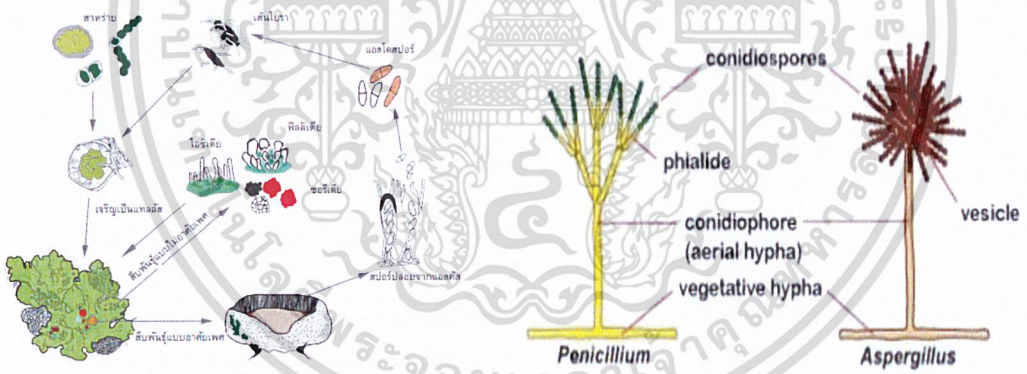
2.5.3 การแพร่กระจายและการขยายพันธุ์ของไลเคน (สวทช., 2547)

ไลเคนพบได้แทบทุกแห่งในโลกตั้งแต่หนาวจัดแบบทุนดรา เช่น ทวีปแอนตาร์คติค (Antarctic) ซึ่งอยู่ที่ละติจูด 86 องศาใต้ ที่ร้อนจัดแบบทะเลทราย (Desert) และร้อนชื้น (Tropic) ก็พบไลเคนบนเทือกเขาหิมาลัยซึ่งสูงถึง 7,500 เมตร และชายฝั่งทะเลก็พบไลเคนเช่นกัน แต่ไลเคนไม่สามารถเติบโตได้ในที่ ๆ มีมลภาวะทางอากาศ

ไลเคนแพร่พันธุ์ได้ 2 แบบ คือ แบบมีเพศ (Sexual reproduction) และแบบไม่มีเพศ (Asexual reproduction) ดังนี้

1) การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual reproduction)

เกิดขึ้นเมื่อสปอร์ที่อยู่ในอะโพธีเซียถูกดีดออกไปแล้วถูกพัดพาไปที่ต่าง ๆ โดยลม น้ำฝน เมื่อพบสาหร่ายที่เหมาะสมก็สัมพันธ์กันเกิดเป็นไลเคนชีวิตใหม่ การขยายพันธุ์แบบนี้มีข้อเสีย คือ มีเพียงราเท่านั้นที่ถูกพัดพาไป แต่คู่ของราคือสาหร่ายไม่ได้ติดไปด้วยทำให้อาจไม่มีโอกาสพบสาหร่ายที่เหมาะสม ข้อดีของวิธีนี้ คือ สปอร์ของรานั้นทนสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายได้นานนับปี สามารถมีชีวิตต่อได้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2017)

2) การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual reproduction)

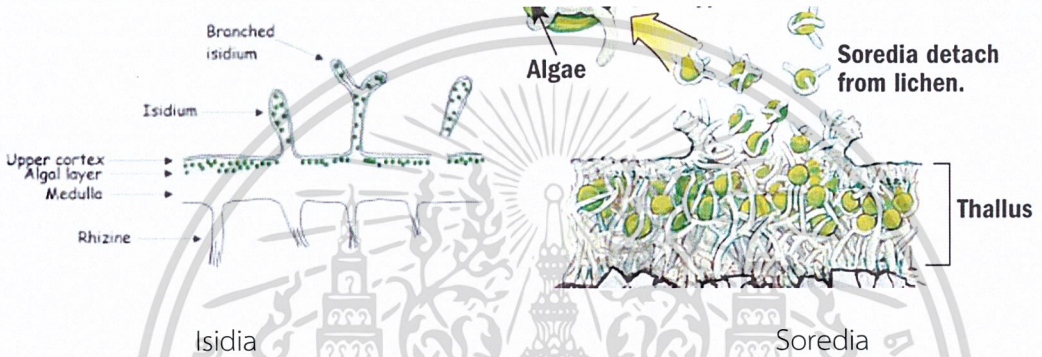
เกิดจากการฉีกขาดของทัลลัสแล้วงอกเป็นไลเคนต่อไป หรือไลเคนสร้างโครงสร้างที่มีทั้งราและสาหร่ายอยู่ด้วยกัน ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ

2.1 ไอซีเดีย (Isidia) ลักษณะรูปแท่งคล้ายเข็มเล็ก ๆ จำนวนมากซึ่งหักง่ายจะถูกพาไปยังที่ต่าง ๆ ด้วยวิธีการเดียวกับสปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ซอรีเดีย (Soredia) ประกอบด้วย เส้นใยรา และสาหร่ายที่ประสานกันหลวม ๆ อยู่ที่ผิวของไลเคนมีลักษณะคล้ายขนมถ้วยฟูเล็ก ๆ

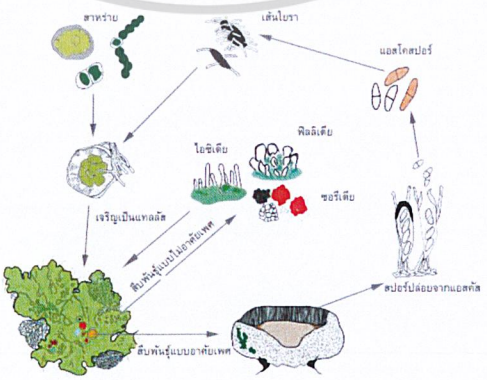
การที่ Isidia และ Soredia หลุดกันออกจากทัลลัสแล้วถูกพัดพาไปที่อื่นเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็เจริญเป็นไลเคนต่อไป วิธีนี้มีข้อดี คือ สาหร่าย และราติดไปด้วยกันทำให้เติบโตใหม่ได้เร็ว ส่วนข้อเสีย คือ ไม่สามารถทนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้เป็นเวลานาน นอกจากนี้การฉีกขาดของทัลลัสแล้วถูกพัดพาไปที่อื่นก็ทำให้เติบโตเป็นไลเคนใหม่ได้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Plant Science, 2014)

2.5.4 วงจรชีวิตของไลเคน (หน่วยวิจัยไลเคน มหาลัยวิทยาลัยรามคำแหง, 2555)

เมื่อรา และสาหร่ายรวมตัวกันจนเกิดเป็นไลเคนต่อมาไลเคนนั้นเติบโตขึ้น พอถึงระยะหนึ่งจะสร้างโครงสร้างสืบพันธุ์ ได้แก่ แอโพธีเชีย เพอริทีเชีย ไอซิเรีย ซอรีเดีย เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะเจริญต่อไปเป็นไลเคนทัลลัสใหม่ต่อไป



รูปที่ 2.10 วงจรชีวิตของไลเคน (สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 ประโยชน์ของไลเคน (สวทช., 2547)

1) ด้านอาหาร

ไลเคนไม่มีแป้งที่แท้จริง หรือแม้แต่เซลลูโลส (Celluose) แต่มีสารพวกไลเคนนิน (Lichenin) ที่ผนังเซลล์ของไฮฟีของรา ซึ่งนำมาใช้เป็นอาหารได้แต่ต้องกำจัดสารบางอย่างที่ไม่ต้องการออกก่อน ในซีกโลกทางเหนือมีไลเคน Cetraria islandica หรือ Iceland moss ซึ่งเมื่อนำมาผ่านกระบวนการที่กำจัดรสขมของสารไลเคนออกไปแล้วนำมาทำซุป หรือต้มกับนมรับประทานเป็นอาหาร และยาช่วยย่อย นอกจากนี้ยังใช้ป่นเป็นผงผสมแป้งทำขนมปังกรอบสำหรับนักเดินเรือ เรียกว่า “Sea biscuit” ทำให้ขนมปังอยู่ทนทานไม่ถูกแมลงรบกวนส่วนในฟินด์แลนนำไลเคนนี้กับไลเคน *Cladonia* sp. หรือ Reindeer moss ผสมกับแป้งไรน์ (Rye) ใช้ในการทำขนมปัง

2) ด้านสมุนไพรและยา

ชาวอียิปต์โบราณใช้ไลเคนเป็นส่วนประกอบของยา และสมุนไพรโดยใน ค.ศ. 1864 มีการค้นพบโถที่บรรจุเมล็ด และส่วนของพืชต่าง ๆ รวมทั้งไลเคนที่มีอายุประมาณ 1700 - 1800 ปีก่อนคริสกาล ไลเคนที่พบ คือ Evernia furfuracca ซึ่งไม่เติบโตในอียิปต์จึงเข้าใจว่า ไลเคนชนิดนี้ถูกสั่งเข้ามาพร้อมกับ Cetraria islandica ในฐานะยาจากต่างแดน

ในยุโรปประมาณคริสตวรรษที่ 15 มีความเชื่อในแนวทางธรรมชาติในการบำบัดรักษามีไลเคนหลายชนิดที่ใช้รักษาโรค และอาการต่าง ๆ เช่น Usnea barbata, Lobaria pulmonaria, Xanthoria parietina, Peltigera canina เป็นต้น ไลเคนที่มีรสขม เช่น Pertusaria amara ถูกใช้แทนควินิน ไลเคนชนิดนี้ผู้เขียนเคยพบที่อุทยานแห่งชาติขุนตาล

Cetraria oslandica ซึ่งมีสาร Cetrarin เป็นไลเคนที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางพบว่าสารนี้ช่วยให้กล้ามเนื้อในกระเพาะอาหารเคลื่อนที่อาจช่วยทำให้การย่อยอาหารดีขึ้นนอกจากนี้ยังเป็นสารที่ทำให้ประสาทตื่นตัว (Nerve Excitement) ด้วย

3) การฟอกย้อม

ไลเคนถูกใช้เป็นสีย้อมมานานตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณ ไลเคนที่รู้จักกันดี คือ *Rocella tinctorial* และชนิดอื่น ๆ ในสกุลนี้โดยให้สีที่เรียกว่า Orchil เป็นโทนสีม่วงสารตั้งต้น คือ Erythrin, Lecanoric Acid (Orseillic Acid), Erythrinic Gyrophoric Evernic และ Ramalic Acid ไลเคนที่มีสารเหล่านี้สามารถให้สี Orchil ได้มีไลเคนประมาณ 20 ชนิดที่ให้สี Orchil โดยฝรั่งเศสและฮอลแลนด์เป็นประเทศที่เคยผลิตสีจากไลเคนในเชิงอุตสาหกรรมสีเหล่านี้ใช้ย้อมสีเหล่านี้ใช้ย้อมเส้นใยจากสัตว์ เช่น ขนสัตว์และไหมแต่ย้อมเส้นใยจากพืช เช่น ฝ้ายไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกระดาษลิตมัสเตรียมจาก Erytholein, Erythrolitmus และ Azolitmin ซึ่งเป็นสารที่ได้จากไลเคนเช่นกัน โดยในสภาพที่เป็นกลางให้สีม่วง และให้สีแดงเมื่อเป็นกรด สีน้ำเงินเมื่อเป็นด่าง กระดาษลิตมัสซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในการตรวจสอบความเป็นกรด - ด่าง ส่วนมากผลิตในเนเธอร์แลนด์

นอกจากนี้ยังมีไลเคนอื่น ๆ ที่ให้สีย้อม ได้แก่ *Umbilicaria pustulatu*, *Gyrophora* sp., *Parmelia* sp., ที่สำคัญคือ *Lacanora tartarea* ซึ่งให้สีแดงใช้มากในสวีเดน และสกอตแลนด์ Linnaeus (1760) พบว่า ที่ Lappland มีการใช้ไลเคน *Parmelia omphalodes* เป็นสีย้อมสีน้ำตาล ไลเคนให้สีต่าง ๆ ได้หลายสี เช่น

- สีแดง ได้จาก *Parmelia saxatilis*
- สีน้ำตาลแดง ได้จาก *Haematoma ventosum*, *H.occineum*
- สีเหลืองน้ำตาล ได้จาก *Parmelia conspersa* (Salazinic acid)
- สีน้ำตาล ได้จาก *Parmelia perlata*, *P. Physodes*, *Lobaria pulmonaria* และ *Cetraria islandica*
- สีเหลืองได้จาก *Xanthoria parietina*, *Cetraria funlperium, Teloscluistes flavicans,*
  Letharia vutellina, Leocanora parella, Pertusaria melaleuc และ *Usneabarbata*
  ส่วน *Candellariella vutellina* และ *Xanthoria lychnea* ให้สีเหลืองที่ใช้ย้อมเทียนในพิธีทางศาสนาในสวีเดน

4) ด้านการหมัก

นอกจากสมบัติในการเป็นแอสตรินเจนของ *Cetraria islandica* และ *Lobaria pulmonaria* นำมาใช้ในการฟอกหนังแล้วยังพบว่า *Lobaria pulmonaria* นำมาแทนที่ฮอพ (Hop) ในการหมัก ทำเบียร์ในไซบีเรียมีการเก็บไลเคนที่เติบโตบนต้นสนมาหมักทำเบียร์ซึ่งได้เบียร์ที่มีรสชาติคล้ายกับที่หมักด้วยฮอพมากแต่แรงกว่า ในคริสควรรษที่ 19 มีการมใช้ไลเคนในการทำเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ในสวีเดน ไลเคนที่ใช้มีหลายชนิด เช่น *Cladonia rangiferina, Cetraria islandica, Alectoria jubata, Physia ciliaris, Ramalina fraxinea* และ *Usnea florida* เป็นต้น โดยต้องนำไลเคนมาผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อให้ Lichenin เปลี่ยนเป็น Glucose แล้วจึงหมักให้เป็นแอลกอฮอล์ พบว่า *Cladonia rangiferina* มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 68 ทำให้กลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นบรั่นดีที่มีคุณภาพดีโดยไลเคน 1 กิโลกรัม สามารถกลั่นเป็นแอลกอฮอล์ได้ถึงครึ่งลิตรมีการตั้งโรงงานกลั่นสุราจากไลเคนในสวีเดน แต่ต้องปิดกิจการไปใน ค.ศ.1884 เนื่องจากหาวัตถุดิบได้ไม่พอเพียง

5) ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอางและน้ำหอม

- ไลเคนในน้ำหอม

ในฝรั่งเศสไลเคน *Evenia prunastri* ซึ่งเรียกว่า oak moss ผสมในน้ำหอมด้วย นอกจากนี้มี *Lobaria pulmonaria* นอกจากให้กลิ่นที่ชื่นใจแล้วยังติดทนนานอีกด้วยโดยใช้สารสกัดจากไลเคนผสมกับกลิ่นอื่น ๆ

- ไลเคนทำความสะอาดผม

ในศตวรรษที่ 17 มีการใช้ผงจากไลเคน *Ramalina calciaris* ใส่ผมทำให้ผมสวย และสะอาดโดยกำจัดรังแคนอกจากนี้มี *Evernia prunestri, Physcia ciliaris* หรือ *Usnea* sp. คุณค่าของไลเคนในการดูด และรักษากลิ่นถูกผลิตเป็นอุตสาหกรรมใน Montpellier ในฝรั่งเศสซื้อขายกันในราคาสูง

6) การใช้ไลเคนบอกอายุหินและโบราณวัตถุ

เมื่อผิวหน้าวัตถุใด ๆ เริ่มเปิดหรือสัมผัสอากาศ จะมีไลเคนเข้ามาเกาะอาศัย และเติบโต ทำให้ขนาดของไลเคนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุไลเคนที่นิยมใช้ในกรณีนี้ คือ *Rhizocarpon geographicum* ไลเคนมีอายุยืนยาวมาก มีรายงานว่าไลเคนในเขตทุนดราบางชนิดมีอายุยืนยาวถึง 4,000 ปี เมื่อเราทราบอัตราการเติบโตของไลเคนก็จะสามารถประเมินอายุของวัตถุนั้นได้วิธีการนี้เรียกว่า ไลเคนโนเมตรี (*Lichenometry*) ใช้ประเมินอายุของหิน และโบราณสถานในกรณีของนารายณ์บรรทมสินธุ์ ซึ่งเคยมีความไม่มั่นใจว่าโบราณวัตถุชิ้นที่ไทยได้รับคืนมาจากชิคาโกนั้นเป็นของจริงหรือปลอมก็ได้ใช้ไลเคนเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจ คือ ถ้าโบราณวัตถุมีไลเคนขนาดใหญ่พอสมควรเกาะอยู่ก็น่าจะเป็นของจริงเพราะแสดงว่าโบราณวัตถุชิ้นนี้ได้เคยอยู่ในที่แจ้งได้รับน้ำและแสงมานานพอสมควรจนทำให้ไลเคนเติบโตจนมีขนาดใหญ่ได้

7) การใช้ไลเคนเป็นดัชนีบ่งบอกมลภาวะและคุณภาพอากาศ

ไลเคนเป็นพืชที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศเนื่องจากไลเคนใช้น้ำ และอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำสภาพของฝน หมอก และน้ำค้างเพื่อการเจริญเติบโตเมื่อมีมลพิษในบรรยากาศละลายอยู่ในน้ำจึงเป็นอันตรายต่อไลเคนโดยตรง อีกทั้งไลเคนไม่มีส่วนที่สามารถป้องกันโครงสร้างภายใน เช่นเดียวกับพืชชั้นสูงมลพิษจากบรรยากาศจึงเข้าไปถึงเซลล์ต่าง ๆ และทำอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกระบวนการดำรงชีวิตจนตายในที่สุดจะสังเกตได้ว่าไม่ค่อยพบไลเคนในเขตเมืองเพราะมีมลพิษในอากาศสูงไลเคนจึงเป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศได้เป็นอย่างดี

2.6 ไลเคนดัชนีวัดคุณภาพอากาศ (เสถียร, 2553)

ไลเคนเป็นทรัพยากรทางชีวภาพที่มีความสำคัญมีส่วนช่วยทำให้อากาศบริสุทธิ์ขึ้นโดยการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ไลเคนหลายชนิดมีความไวต่อสารมลพิษในอากาศจึงสามารถใช้ในการประเมินคุณภาพอากาศ ประเมิน และทำนายสภาพของป่าไม้อีกทั้งใช้ประมาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ได้ด้วย

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่ทนทานต่อมลพิษทางอากาศการหายไป หรือการปรากฏขึ้นของไลเคนบางชนิดรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของไลเคน เช่น การเกิดการฟอกขาวของไลเคนเนื่องจากวิกฤตก๊าซมลพิษในอากาศจึงสามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศได้ไลเคนถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้มลพิษทางอากาศที่แพร่หลายในประเทศแถบยุโรปและอเมริกา โดยมีวิธีการมาตรฐานต่าง ๆ ในการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

นอกจากนี้จำนวนประชากรก็สะท้อนถึงระดับของผลกระทบจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ซึ่งมีความสัมพันธ์ผกผันกับความหลากชนิด และจำนวนของไลเคนโดยในเขตตัวเมืองที่มีประชากรหนาแน่น และพื้นที่ใกล้เขตอุตสาหกรรมจะพบความหลากชนิด และจำนวนของไลเคนลดลงขณะที่เขตนอกตัวเมืองที่มีจำนวนประชากรน้อยกว่าพบความหลากชนิดของไลเคนเพิ่มขึ้น

ข้อจำกัดของสภาพแวดล้อม ดังนี้

1. สภาพแวดล้อมไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง

2. มีความแห้งแล้ง และเปียกสลับกัน

3. มีที่ยึดเกาะ

4. มีสารอาหารน้อย

นักวิทยาศาสตร์บางคนกล่าวว่า ไลเคน คือ ราที่มีวิวัฒนาการถึงขีดสุดเพราะมันกลายเป็นราที่สังเคราะห์แสงได้ แต่ไลเคนไม่มีนิสัยเหมือนราทั่วไป คือ ไม่เป็นกาฝากคอยขโมยดูดธาตุอาหารจากต้นไม้ที่มันเกาะอยู่แถมยังไม่ก่อโรคให้ต้นไม้ที่เกาะอยู่อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 คุณสมบัติของการเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของไลเคน (Verein Deutscher Ingenieure, 1995)

1) ไลเคนได้รับแร่ธาตุ สารอาหาร จากบรรยากาศโดยตรง

2) ไลเคนไม่มีแวกซ์ (Wax) และคิวทิเคิล (Cuticle) ช่วยปกป้องโครงสร้างภายในของไลเคน เช่นเดียวกับพืชชั้นสูงที่มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งเคลือบป้องกันอยู่ถ้าอากาศมีมลพิษสารพิษจึงเข้าถึงไลเคนเพื่อทำอันตรายได้โดยตรง

3) ไลเคนไม่มีการผลัดใบต่างจากพืชทั่วไป ไลเคนจึงสะสมสารพิษเอาไว้จนป่วย และตายไป

4) ในสภาพที่มีความชื้น ไลเคนจะมีความอ่อนไหวต่อมลภาวะอากาศมาก เนื่องจากไลเคนมีการเพิ่มอัตราการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์

5) ไลเคนมีการเจริญเติบโตช้า และมีชีวิตยืนยาว สามารถสะสมสารพิษไว้ในทัลลัส และไลเคนไม่สามารถขับออกมาได้จึงสามารถบอกระดับปริมาณของสารพิษที่สะสมอยู่ในปัจจุบันได้

2.7 ข้อดี – ข้อจำกัดของการใช้เลนตรวจสอบคุณภาพอากาศ (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

ปัจจุบันหลายประเทศในยุโรปออกกฎระเบียบให้ใช้ไลเคนตรวจสอบคุณภาพอากาศควบคู่ไปกับการใช้เครื่องตรวจวัดอากาศเพราะแต่ละวิธีมีจุดอ่อนจุดแข็งต่างกันจึงสามารถเสริมกันได้ดี

ข้อดี

- ผลกระทบของมลภาวะต่อไลเคนปรากฏอยู่นานจึงแสดงให้เห็นสภาพอากาศโดยรวมในบริเวณนั้นแม้กิจกรรมที่สร้าง มลภาวะจะไม่ได้เกิดขึ้นอยู่ในขณะที่ทำการสำรวจก็ตาม
- ไลเคนอ่อนไหวต่อมลพิษมากกว่ามนุษย์ การสำรวจไม่พบไลเคนจึงเป็นการเตือนภัยล่วงหน้า ก่อนจะเกิดเป็นปัญหารุนแรง
- มีราคาถูกเพราะอาศัยการสังเกตเท่านั้นจึงสามารถกำหนดจุดตรวจสอบได้มากกว่าการใช้เครื่องตรวจวัดอากาศให้ภาพสภาพอากาศในพื้นที่ได้ละเอียด

ข้อจำกัด

- ไม่สามารถระบุประเภทของมลภาวะได้แต่สามารถใช้ดูเป็นภาพรวมคร่าว ๆ ของมลภาวะอากาศ
- ไม่สามารถให้ค่ามาตรฐานได้เหมือนหน่วยวัดเคมี
- ต้องอาศัยความรู้ความสามารถในการจำแนกชนิดพันธุ์
- ไลเคนแต่ละชนิดทนทานต่อมลพิษในอากาศได้ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ไลเคนในเขตกรุงเทพมหานคร (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

นักชีววิทยาสำรวจพบไลเคนในเขตกรุงเทพมหานครประมาณ 30 ชนิด ซึ่งสามารถคัดเฉพาะตัวที่เด่น ๆ ได้เพียง 17 ชนิด สามารถพบได้ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร และตามที่ราบลุ่มแถบนี้โดยแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทนทานมลพิษในอากาศ ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทนทานมลพิษในอากาศ (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

กลุ่ม	วงศ์(Family)	ชนิด(Species)	ชื่อสามัญ
ทนทานสูง	*Physciaceae*	*Amandinea extunat*	ไฝพระอินทร์
		Pyxine cocoes	หัตถ์ทศกัณฑ์กุมน้ำแข็ง
	Trypetheliaceae	*Trypethelium eluteriae*	ร้อยรู
	Pyrenulaceae	*Anthracothecium*	สิวหัวช้างจิ๋ว
ทนทาน	*Physciaceae*	*Dirinari*	ริ้วแพร
		Rinodina	ธิดามะกอกดำ
		Physcia dimidiate	สาวน้อยกระโปรงบานบางกอก
	Graphidaceae	*Graphid*	ลายเส้น
		Glyphis & Sacographa	กลุ่มลายเส้นผลรวม
	Lecanoraceae	*Lecanora*	ร้อยเหรียญ
	Arthoniaceae	*Arthonia*	หลังตุ๊กแก
	Bacidiaceae & Teloschistaceae	*Bacidia & Caloplaca*	โดรายากิ
	Trypetheliaceae	*Laurera benguelensis*	ไฟทองโรยขมิ้น
		Trypethelium tropicum	พริกไทยร้อยเม็ด
	Chrysothricaceae	*Chrysothrix*	แป้งมณโฑ
อากาศดี	*Parmeliaceae*	*Parmotrema tinctorum*	ผักกาดหน่อแท่ง
		Parmotrema - praesorediosum	ผักกาดหน่อฟอง

ที่มา: ปรับปรุงมาจากมูลนิธิโลกสีเขียว, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 กลุ่มทนทานสูง

1) ไฝพระอินทร์ ชนิด Amandinea extunat วงศ์ Physciaceae

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผง มีสีเขียวขี้ม้า ผืนของไลเคนจะแตกเป็นร่องร่างแห

- มักแตกหน่อเป็นผงแป้ง

- ผลกลมนูนสีดำด้าน ดูเหมือนแปะลงบนผืนไลเคน (ไม่ฝังจมอย่างผลสิวหัวช้างจิ๋ว)

การกระจาย

พบมากในเขตเมือง รวมทั้งริมถนนใหญ่ และแหล่งมลภาวะอื่น ๆ รวมถึงพื้นที่เกษตรที่ใช้ปุ๋ยมากด้วย

รูปที่ 2.11 ไลเคนชนิด *Amandinea extunat* วงศ์ *Physciaceae* (ไฝพระอินทร์) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

2) ร้อยรู ชนิด *Trypethelium eluteriae* วงศ์ *Trypetheliaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผง มีสีเขียว ผิวเรียบมัน แต่บางครั้งอาจมีลักษณะยับย่น

- มีผลหลายผลเชื่อมรวมเป็นกลุ่มสีเหลือง จึงเห็นผลหนึ่งกลุ่มมีรูสปอร์หลายรู

การกระจาย

พบได้ทั่วไปทั้งใน และนอกเมืองรวมทั้งบริเวณริมถนนใหญ่ แต่ผิวมักเกิดการฟอกขาว หรือมีสภาพหงิกย่น ผลจะมีสีออกน้ำตาลเข้ม หรือสีดำคล้ำในที่ที่มีมลภาวะ พบขึ้นมากตามต้นนนทรีในเขตกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 ไลเคนชนิด *Trypethelium eluteriae* วงศ์ *Trypetheliaceae* (ร้อยรู)
(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

1) หัตถ์ทศกัณฑ์กุมน้ำแข็ง ชนิด *Pyxine cocoes* วงศ์ *Physciaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทใบ มีผืนใบสีเขียวเทา หรือเทาซีด ขึ้นยึดติดแน่นบนวัตถุที่เกาะ
- ปลายแผ่นใบมักเกยซ้อนทับกัน และมีลักษณะคล้ายฝ้าสีขาว หรือผลึกเกล็ดน้ำแข็ง
- แตกหน่อเป็นผงแป้งตามขอบแขนงใบ
- ผลเป็นเม็ดแบน กลม สีดำ แต่ไม่ค่อยพบออกผล

การกระจาย

พบได้ทั่วไปทั้งใน และนอกเมืองรวมทั้งบริเวณริมถนนใหญ่ และจะพบขึ้นเยอะมากในพื้นที่เกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยมากในที่ที่มีมลภาวะจะพบว่าริมแผ่นใบมักเกิดการฟอกขาวในเขตกรุงเทพมหานครไม่พบออกผล

รูปที่ 2.13 ไลเคนชนิด *Pyxine cocoes* วงศ์ *Physciaceae* (หัตถ์ทศกัณฑ์กุมน้ำแข็ง)
(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สิวหัวช้างจิ๋ว ชนิด *Anthracothecium* วงศ์ *Pyrenulaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผง เป็นแผ่นสีขาวเทาแตกระแหงเป็นร่องร่างแห
- ผลกลมนูนผุดขึ้นมา ขนาดเล็กมากสีน้ำตาลเข้ม หรือดำเห็นรูสปอร์ตรงกลางได้ชัดเจน

การกระจาย

พบได้ทั่วไปทั้งใน และนอกเมืองแต่สิวหัวช้างชนิดที่มีผลขนาดใหญ่มักพบได้ในที่ที่มีอากาศดี โดยเฉพาะในป่าดิบ

รูปที่ 2.14 ไลเคนชนิด *Anthracothecium* วงศ์ *Pyrenulaceae* (สิวหัวช้างจิ๋ว) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

2.8.2 กลุ่มทนทาน

1) ริ้วแพร ชนิด *Dirinaria* วงศ์ *Physciaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทใบมีสีเขียวเทา หรือเขียวตองอ่อนขึ้นติดแน่นกับวัตถุที่เกาะ
- แขนงใบเบียดกันแน่นบีบนูนขึ้นเป็นลอนดูคล้ายผ้าแพรย่น
- แตกหน่อเป็นกระจุกผงแป้งกลม ๆ คล้ายขนมถ้วยฟู หรือดอกกะหล่ำ
- ผลสีน้ำตาล หรือดำ มีขอบสีเดียวกับผืนไลเคน แต่ไม่พบสร้างผลในกรุงเทพ

การกระจาย

พบทั่วไปทั้งใน และนอกเมืองบางครั้งพบขึ้นใกล้ถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 ไลเคนชนิด *Dirinaria* วงศ์ *Physciaceae* (ริ้วแพร) (ไลเคนบ้านเรา, 2555)

2) ลายเส้น ชนิด *Graphid* วงศ์ *Graphidaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผงฝืนดวงมักเป็นสีขาวเทา หรือเขียวมะกอก
- ผลมีลักษณะเหมือนลายเส้นสีดำ หรือขาวขอบผลยกเป็นสันดูคล้ายริมฝีปาก
- บางชนิดออกผลติดกันเป็นรูปแฉก หรือดาวบางชนิดที่พบในป่าเรียงตัวคล้ายอักษรจีน

การกระจาย

กระจายตัวเป็นกลุ่มใหญ่ มีมากมายหลายชนิด ขึ้นกระจายทั่วไปโดยเฉพาะในเขตร้อนพบได้ตั้งแต่ในป่าต่าง ๆ ถึงตามสวนในเมืองใหญ่ ความทนทานมลภาวะจะแตกต่างกันตามชนิด หลายชนิดทนทาน และพบได้บ่อยในกรุงเทพมหานครโดยเฉพาะบนต้นลั่นทม

รูปที่ 2.16 ไลเคนชนิด *Graphid* วงศ์ *Graphidaceae* (ลายเส้น) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ร้อยเหรียญ ชนิด *Lecanora* วงศ์ *Lecanoraceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผงผืนไลเคนมีสีเขียวเทา หรือเสีเทา
- ผลมีลักษณะกลมแบน มีสีน้ำตาลอ่อน หรือสีเขียวอ่อนมีขอบสีเดียวกับผืนไลเคนเป็นปุ่ม ๆ เหมือนสายลูกปัด และยกนูนสูงกว่าตัวผลจึงเห็นขอบได้ชัดเจนดูคล้ายเหรียญสิบบาท มักออกผลเต็มผืนไลเคน

การกระจาย

พบทั่วไปทั้งเมือง และนอกเมืองไม่ค่อยพบผลสีเขียวในกรุงเทพมหานคร

รูปที่ 2.17 ไลเคนชนิด *Lecanora* วงศ์ *Lecanoraceae* (ร้อยเหรียญ)
(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

4) ธิดามะกอกดำ ชนิด *Rinodina* วงศ์ *Physciaceae*

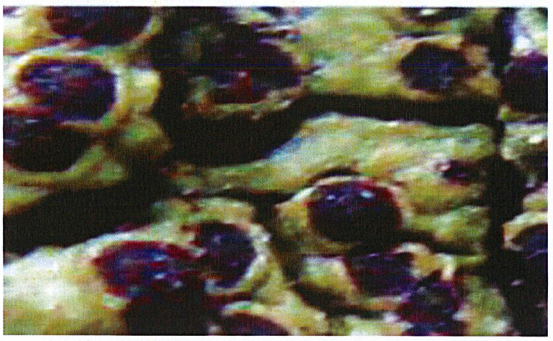
ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผงผืนไลเคนมีสีเขียวมะกอก หรือสีเขียวขี้ม้า
- ผลมีลักษณะกลมแบนมีสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำขอบสีเดียวกับผืนไลเคนไม่ยกนูนสูงขึ้นมากนักจึงเห็นไม่ชัดเจน

การกระจาย

พบได้ทั่วไปแต่เนื่องจากมีขนาดเล็ก และสีกลมกลืนกับไลเคนอื่น ๆ โดยเฉพาะเมื่อขึ้นอยู่ในดงไฝพระอินทร์ ทำให้สังเกตได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ไลเคนชนิด *Rinodina* วงศ์ *Physciaceae* (ธิดามะกอกดำ)

(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2552)

5) หลังตุ๊กแก ชนิด *Arthonia* วงศ์ *Arthoniaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผงผืนไลเคนมีสีขาวเทามักมีรอยแตกระแหงดูคล้ายนาแห้ง
- ผลมีรูปร่างไม่แน่นอน ที่พบในกรุงเทพมักมีลักษณะคล้ายร่องหนองน้ำสีดำ น้ำตาล ถึงแดงเข้มดูคล้ายฟันกรามที่ได้ทำการอุดฟัน

การกระจาย

พบได้ทั่วไปบางครั้งจะพบใกล้ถนน

รูปที่ 2.19 ไลเคนชนิด *Arthonia* วงศ์ *Arthoniaceae* (หลังตุ๊กแก)

(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

6) กลุ่มโดรายากิ ชนิด *Bacidia & Caloplaca* วงศ์ *Bacidiaceae & Teloschistaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผง มีสีเขียวอมเทาเขียวตองอ่อน ถึงเขียวเข้ม
- มักแตกหน่อเป็นฟอง หรือผงแป้งทำให้ผิวของผืนไลเคนดูขรุขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลอวบเป่ง มีสีครีม หรือสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม
- Bacidia ตอนเป็นผลอ่อน รูปร่างจะออกกลมแบน และเห็นขอบสีอ่อนชัดเจน เมื่อแก่ขึ้นผลจะเป่งขึ้นเรื่อย ๆ จนกลมนูน รูปร่างเบี้ยวคล้ายเห็ดหูหนู และไม่เห็นขอบ
- ผล Caloplaca เห็นขอบสีอ่อนได้ตลอด ตั้งแต่ผลอ่อนถึงผลแก่

การกระจาย

สามารถพบขึ้นนอกเขตเมืองมากกว่าในเมือง

รูปที่ 2.20 ไลเคนชนิด *Bacidia & Caloplaca* วงศ์ *Bacidiaceae & Teloschistaceae* (โดรายากิ) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

7) ไหทองโรยขมิ้นชนิด *Laurera benguelensis* วงศ์ *Trypetheliaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผงในสภาพดีผืนไลเคนจะเป็นสีเขียว และมักมีผงฝุ่นสีเหลืองถึงส้มเหมือนมีผงขมิ้นโรยหน้าจนบางครั้งเห็นเป็นสีเหลืองส้มทั้งผืนแต่ในบริเวณที่มีมลภาวะผืนไลเคนมักเกิดการฟอกขาว
- มักออกผลจำนวนมากติดกันแน่นทั้งผืนตัวผลดูคล้ายกระปุกหรือไหกระเทียมดองสีเหลือง มีรูหนึ่งรูตรงกลาง

การกระจาย

สามารถพบขึ้นนอกเขตเมืองมากกว่าในเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 ไลเคนชนิด *Laurera benguelensis* วงศ์ *Trypetheliaceae* (ไหทองโรยขมิ้น) (ไลเคนบ้านเรา, 2555)

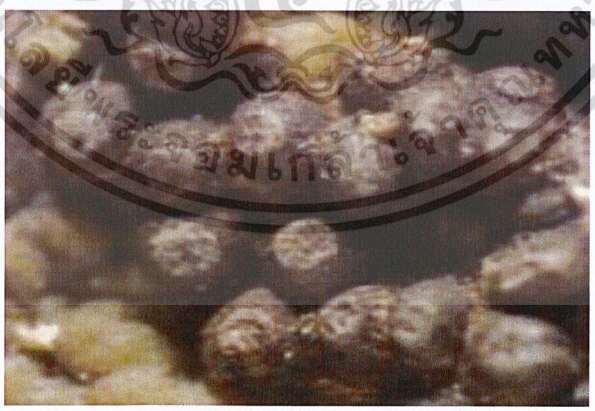
8) พริกไทยร้อยเม็ด ชนิด *Trypethelium tropicum* วงศ์ *Trypetheliaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวง หรือผงมีสีเขียวถึงสีเขียวขี้ม้าผิวเรียบมันแต่บางครั้งอาจดูเป็นลักษณะย่น
- ออกผลสีดำด้านคล้ายเมล็ดพริกไทยจำนวนมากกระจายเป็นกอง ๆ ตัวผลมักเชื่อมติดกัน แต่ยังเห็นผลเดี่ยว ๆ แต่ละผลมีหนึ่งรูเมื่อสปอร์แตกจะดูคล้ายเมล็ดพริกไทย

การกระจาย

พบขึ้นนอกเมืองมากกว่าในเมือง



รูปที่ 2.22 ไลเคนชนิด *Trypethelium tropicum* วงศ์ *Trypetheliaceae* (พริกไทยร้อยเม็ด) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

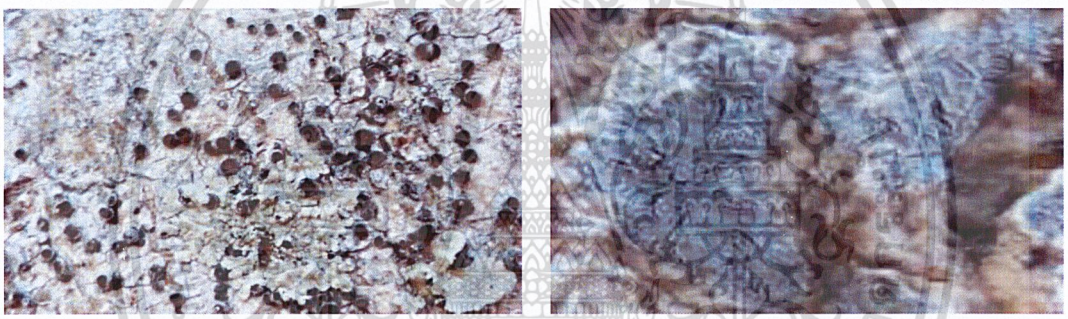
9) กลุ่มลายเส้นผลรวม ชนิด *Glyphis & Sacographa* วงศ์ *Graphidaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวงหรือผง
- ผลหลายผลเชื่อมรวมเป็นก้อนเดียวกันดูเผิน ๆ คล้ายขนมเม็ดแมงลักเมื่อส่องใกล้ ๆ จะเห็นรูสปอร์หลายรู

การกระจาย

เป็นไลเคนวงศ์เดียวกันกับพวกลายเส้นแต่ละชนิดอาจมีความทนทานต่อมลภาวะอากาศต่างกัน จากการสังเกตในเบื้องต้นพวกสาคูถั่วดำ (Glyphis) มักจะทนมลภาวะได้ค่อนข้างดี บางครั้งพบขึ้นใกล้ถนนในขณะที่พวกบุ้งขนเทา (Sacographa) จะอ่อนไหวกว่า และพบได้ง่ายนอกเมือง



(ก) (ข)

รูปที่ 2.23 ไลเคนชนิด (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

(ก) Glyphis (สาคูถั่วดำ)

(ข) Sacographa (บุ้งขนเทา)

10) สาวน้อยกระโปรงบานบางกอก ชนิด *Physcia dimidiate* วงศ์ *Physciaceae*

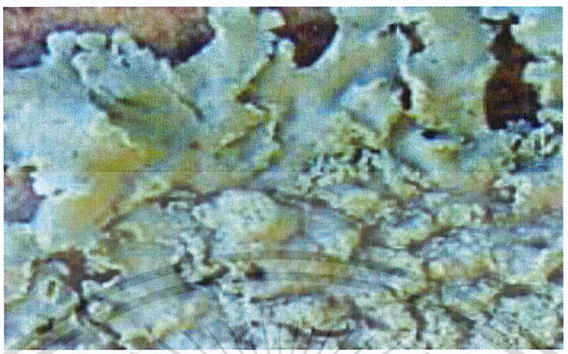
ลักษณะเด่น

- ใบขนาดเล็ก ขอบใบหยักละเอียด มีลักษณะแผ่พลิ้วบานเหมือนระบายชายกระโปรง
- ตัวใบเผยขึ้นมา ไม่แนบติดวัตถุที่เกาะอย่างหัตถ์ทศกัณฑ์กุมน้ำแข็ง หรือริ้วแพร
- อาจเห็นรากเทียมเป็นเส้นเดียวสีขาวใกล้ขอบใบ
- แตกหน่อเป็นฟองผงแป้งจำนวนมากตรงกลางผืนไลเคนดูเหมือนดอกกะหล่ำ
- ไม่พบว่าออกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจาย

มักจะพบในบริเวณที่ค่อนข้างชื้นไลเคนสกุลนี้ส่วนใหญ่ไม่ทนต่อมลภาวะ แต่ชนิดที่พบในกรุงเทพมหานครจะเป็นชนิดที่ค่อนข้างทนทาน บางครั้งจะพบขึ้นใกล้ถนนใหญ่



รูปที่ 2.24 ไลเคนชนิด *Physcia dimidiate* วงศ์ *Physciaceae* (สาวน้อยกระโปรงบานบางกอก) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

11) แป้งมณโฑ ชนิด *Chrysothrix* วงศ์ *Chrysothricaceae*

ลักษณะเด่น

- เป็นผงฝุ่นสีเขียวตองอ่อนสดบางครั้งมีสีเหลืองสด
- ไม่พบออกผล

การกระจาย

พบนอกเมืองมากกว่าในเมือง

รูปที่ 2.25 ไลเคนชนิด *Chrysothrix* วงศ์ *Chrysothricaceae* (แป้งมณโฑ) (ไลเคนบ้านเรา, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 กลุ่มอากาศดี

1) ผักกาดหน่อแท่ง ชนิด *Parmotrema tinctorum* วงศ์ *Parmeliaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทใบขนาดใหญ่มีสีเทาขาว หรือเขียวอมเทา ขอบใบโค้งมนคล้ายใบผักสลัดโอ๊คลีฟ
- ในเวลาที่แห้งหน้าใบของไลเคนจะมีสีเทา ส่วนในเวลาที่เปียกจะมีสีเขียวใต้ใบมีสีน้ำตาลดำ
- แตกหน่อเป็นแท่งเล็ก ๆ ทั่วใบ
- ไม่พบออกผล

การกระจาย

พบได้ทั่วไปตามต้นไม้สวน และป่าต่าง ๆ ถ้าสภาพอากาศดี มักพบขึ้นบนกิ่งไม้มากกว่าบริเวณลำต้นปัจจุบันไม่พบในเขตกรุงเทพมหานคร

(ก) (ข)

รูปที่ 2.26 ผักกาดหน่อแท่ง ชนิด *Parmotrema tinctorum* วงศ์ *Parmeliaceae* (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

(ก) ไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* วงศ์ *Parmeliaceae* (ผักกาดหน่อแท่ง)

(ข) ภาพขยาย การแตกหน่อเป็นแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผักกาดหน่อฟอง ชนิด *Parmotrema praesorediosum* วงศ์ *Parmeliaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทใบขนาดมีสีเทาขาว หรือเขียวอมเทา ขอบใบหยักเหมือนใบผักกาดหอม
- ในเวลาที่แห้งหน้าใบของไลเคนจะมีสีเทาส่วนในเวลาที่เปียกจะมีสีเขียวใต้ใบมีสีน้ำตาลดำ แตกหน่อเป็นฟองผงแป้งริมขอบใบ
- ไม่พบออกผล

การกระจาย

พบได้ทั่วไปตามต้นไม้ สวน และป่าต่าง ๆ ถ้าสภาพอากาศดี มักพบขึ้นบนกิ่งไม้มากกว่าบริเวณลำต้นปัจจุบันไม่พบในเขตกรุงเทพมหานคร

(ก) (ข)

รูปที่ 2.27 ผักกาดหน่อฟอง ชนิด *Parmotrema praesorediosum* วงศ์ *Parmeliaceae* (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

(ก) ไลเคนชนิด *Parmotrema praesorediosum* วงศ์ *Parmeliaceae* (ผักกาดหน่อฟอง)

(ข) ภาพขยาย การแตกหน่อเป็นฟองผงแป้งริมขอบใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคนที่มีการแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทนมลภาวะอากาศสามารถจำแนกกลุ่มได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคน (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2555)

กลุ่มไลเคนที่พบ	คุณภาพอากาศ
พบกลุ่มอากาศดีทั่วไป	อากาศดี
Fruticose และ/หรือ Squanmulose	-
พบกลุ่มทนทานมากที่สุด: Foliose	อากาศพอใช้
พบกลุ่มทนทานสูงมากกว่ากลุ่มอื่น: Crustose > Foliose	อากาศแย่
พบเฉพาะกลุ่มทนทานสูง: Crustose	อากาศแย่มาก
ไม่พบไลเคน	มีมลภาวะทางอากาศรุนแรง

ที่มา: ปรับปรุงมาจากมูลนิธิโลกสีเขียว, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2558)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสีไม่ไวไฟที่ระดับความเข้มข้นสูง จะมีกลิ่นฉุนแสบจมูก เมื่อทำปฏิกริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศจะเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และจะรวมตัวเป็นกรดกำมะถัน เมื่อมีความชื้นเพียงพอหากอยู่ร่วมกับอนุภาคมวลสารที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น มังกานีส เหล็ก และ วานาเดียม จะเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนเกิดเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และเป็นกรดกำมะถันเช่นกัน การสันดาปเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานในการดำรงชีพของมวลมนุษย์ ซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาคมลสาร กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทั้งสองเช่นกัน ก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และละอองกรด กำมะถัน ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง นอกจากนี้ก๊าซนี้ยังทำให้น้ำฝนที่ตกลงมามีสภาพความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งจะทำลายระบบนิเวศน์ ป่าไม้ แหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมถึงการกัดกร่อนอาคาร และโบราณสถานอีก

รูปที่ 2.28 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2558)

ที่พบในบรรยากาศคือ SO_2, H_2S และ SO_3 การวิเคราะห์ทั่วไปจะจัดในรูปของ SO_2 เนื่องจากพบว่าจากแหล่งกำเนิดที่ปล่อยของเสียโดยตรงนั้นจะพบ SO_3 ปนอยู่กับ SO_2 เพียง 1 - 3% เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 แหล่งที่มาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีในบรรยากาศ (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2555)

1. ในธรรมชาติ ได้แก่ ภูเขาไฟระเบิด การย่อยสลายของต้นไม้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแบคทีเรีย ซึ่งรวมให้ถึง 55.2% ในธรรมชาติทั่วไปจะมีปริมาณน้อยในบรรยากาศ คือ 0.02 - 0.1 ppm. แต่ถ้าพบในปริมาณสูงแล้วส่วนมากจะเกิดจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิงหรือวัสดุที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบปฏิกิริยาการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2 \qquad (2.1)$$

2. เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การใช้ยานพาหนะ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยควันพิษจากปล่องควันสู่บรรยากาศ

การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเฉพาะจากถ่านหินซึ่งมีซัลเฟอร์เฉลี่ย 1 – 9 % ส่วนในน้ำมันดิบจะมีซัลเฟอร์ 1 – 3 % แต่เมื่อถูกผลิตเป็นก๊าซโซลีนจะมีซัลเฟอร์เหลืออยู่เพียง 100 - 300 ppm กระบวนการกลั่นน้ำมัน และแก๊สในโรงงานปิโตรเลียมก็เป็นแหล่งสำคัญที่มีการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปะปน ซึ่งแก๊สทั้งสองนี้จะถูกกำจัดต่อโดย Clause-reaction ได้เป็นกำมะถันที่เป็นของแข็ง

$$2H_2S + SO_2 \longrightarrow 3S + 2H_2S \qquad (2.2)$$

อุตสาหกรรมการถลุงโลหะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พวกเหล็ก ได้แก่ การถลุงแร่ เนื่องจากโลหะมีค่าส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสินแร่ซัลไฟต์ ซึ่งจะต้องกำจัดออกโดยการเผาในบรรยากาศแล้วให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาด้วย ดังสมการ

$$2NiS(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2NiO(s) + 2SO_2(g) \qquad (2.3)$$

สารประกอบซัลเฟอร์รูปอื่น ๆ จะอยู่ในรูปรีดิวซ์ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งมีแหล่งที่ปล่อยจากธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ หรือจากการย่อยสลายด้วยแบคทีเรียในภาวะที่ไร้ออกซิเจน

2.9.2 ปฏิกิริยาการสลายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2555)

SO_2 ในบรรยากาศมีอายุประมาณ 3 วัน หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนในรูปต่าง ๆ โดยอาศัยปฏิกิริยาต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

Homogenius reactions ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยากับสารที่ว่องไวในบรรยากาศได้ดีในวันที่ฟ้าปลอดโปร่ง กลไกการเกิดมีดังนี้

$$SO_2 + OH^- \longrightarrow HSO_3^- \quad (2.4)$$

$$HSO_3 + O_2 \longrightarrow O_3 + HOO^- \quad (2.5)$$

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 \quad (2.6)$$

$$H_2SO_4 + \text{น้ำปริมาณมาก} \longrightarrow H_2SO_4(aq) \quad (2.7)$$

ปฏิกิริยารวม คือ

$$SO_2 + OH^- + O_2 + \text{น้ำปริมาณมาก} \longrightarrow HOO + H_2SO_4\ (aq) \quad (2.8)$$

Heterogenous reaction พบว่า เป็นปฏิกิริยาหลักของออกซิเดชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยมักเกิดในวันที่บรรยากาศมีเมฆ หรือหมอกหนาแน่น เนื่องจากความสามารถในการละลายในน้ำได้ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้เกิดกรดได้ ดังสมการ

$$SO_2(g) \longleftrightarrow SO_2(aq) \quad (2.9)$$

$$SO_2(aq) + H_2O \longleftrightarrow HSO_3^-(aq) + H_3O^+\ (aq) \quad (2.10)$$

$$HSO_3^- + H_2O \longleftrightarrow SO_3^{2-}\ (aq) + H_3O{+}(aq) \quad (2.11)$$

HSO_3 จะทำปฏิกิริยาต่อกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

$$HSO_3^- + O_3 \longleftrightarrow HOOSO_2^-\ (aq) + H_2O \quad (2.12)$$

$$SO_3^{2-} + O_3 \longrightarrow SO_4^{2-}\ (aq) + O_2 \quad (2.13)$$

โอโซนเป็นออกซิแดนต์อีกประเภทที่ทำปฏิกิริยากับไบซัลไฟต์ไอออนที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างต้นดังนี้

$$HSO_3^- + O_3 \longrightarrow SO_4^{2-}(aq) + H_3O{+}(aq) + O_2 \quad (2.14)$$

$$SO_3^{2-} + O_3 \longrightarrow SO_4^{2-}(aq) + O_2 \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปฏิกิริยากับแสง (Photochemical reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่ต้องอาศัยแสงแดดเข้ามาช่วย โดยช่วงความยาวคลื่นที่จะให้เกิด SO_2 ที่สภาวะเร้าจะเกิดที่ 294 nm

$$SO_2 \longrightarrow SO_2^- \quad (2.16)$$

SO_2 จะเกิดปฏิกิริยาต่อกับ O_2 หรือ H_2O ในบรรยากาศ ดังนี้

$$SO_2^- + O_2 \longrightarrow SO_3^- \quad (2.17)$$

(ถ้าบรรยากาศมี NO_x หรือ Hydrocarbons ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วขึ้น)

$$SO_3^- + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 \quad (2.18)$$

มีการศึกษาว่าในสภาวะที่มีแสงแดดเมื่อ SO_2 มีความเข้มข้น 5 - 30 ppm และมีความชื้น 32 – 91 % ปฏิกิริยาที่เกิดทั้งหมด คือ

$$SO_2 + ½\ O_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 \quad (2.19)$$

ถ้าบรรยากาศมีเกลือของโลหะ เช่น NaCl หรือ NH3 อยู่ก็จะเปลี่ยนรูปต่อเป็นเกลือซัลเฟต เช่น

$$H_2SO_4 + 2NaCl \longrightarrow NaSO_4 + 2HCl \quad (2.20)$$

$$H_2SO_4 + 2NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 \quad (2.21)$$

3. ปฏิกิริยาเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytie reaction)

เกิดในสภาวะที่มีความชื้นสูง และมีอนุภาคมวลสาร (Particulate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3 \quad (2.22)$$

$$H_2SO_3 + 1/2\ O_2 \longrightarrow H_2SO_4 \quad (2.23)$$

กรดซัลฟิวริกที่เกิด จะทำปฏิกิริยาต่อกับเกลือโลหะ หรือแอมโมเนียได้เหมือนกรณีแรก

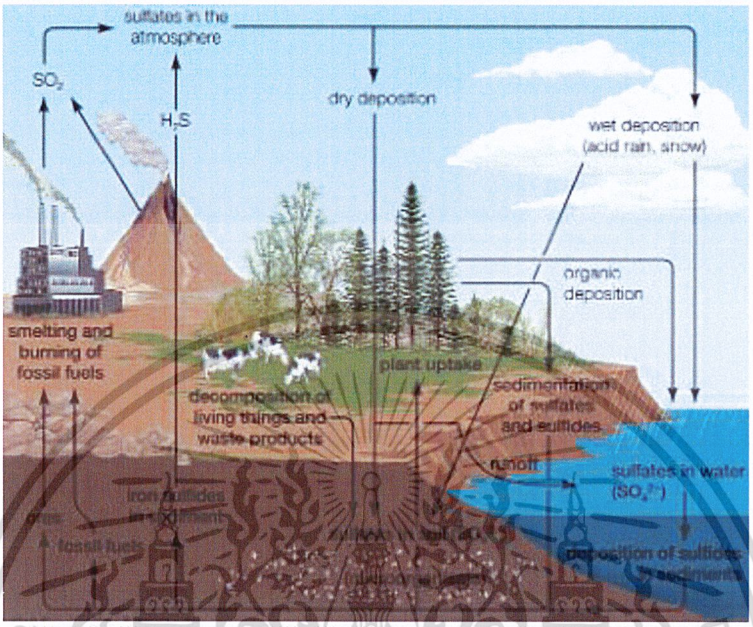
4. ปฏิกิริยากับแอมโมเนียเมื่อมีความชื้น

$$SO_2 + 2NH_3 + H_2O + 1/2\ O_2 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 \quad (2.24)$$

ในส่วนของการสลายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นพบว่า ในที่สุดจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟิวริก - ซัลเฟต และกรดไฮโดรคลอริก ลงมาสู่พื้นดินพร้อมน้ำฝนซึ่งเป็นเหตุให้น้ำฝนมีค่าพีเอชต่ำ เรียกน้ำฝนนี้ว่า ฝนกรด (acid rain) (ค่าพีเอชช่วง 5.0 - 2.1 ทำให้เกิดความเสียหายต่อดิน)

เอกสารนี้มีการสงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ก่อน

ในการศึกษาการสลายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่า ครึ่งหนึ่งของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะสลายตัวโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นเกลือซัลเฟต หรือกรดซัลฟิวริก และที่เหลืออีกครึ่งหนึ่งจะถูกกำจัดโดยอาจจะรวมกับน้ำ หรือกรณีที่ไม่รวมก็ตามบนพื้นดิน พืชผัก และในน้ำ



รูปที่ 2.29 วัฏจักรของซัลเฟอร์ (Dick, 1992)

2.9.3 ผลกระทบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและการอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555)

1. การสูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Gaseous SO_2) ในปริมาณที่สูงแม้ระยะเวลาสัมผัสจะสั้นก็ตามจะทำให้เกิดการหายใจลำบากได้ชั่วขณะสำหรับผู้ที่เป็นหอบหืด หรือผู้ที่ทำงานกลางแจ้ง การสัมผัสก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรืออนุภาคของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะทำให้เกิดโรคของระบบทางเดินหายใจ และทำให้ผู้ที่เป็นโรคหัวใจมีอาการแย่ลง

2. การสูดอนุภาคของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 Particles) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่น ๆ ในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละอองเล็ก ๆ ของซัลเฟตซึ่งเมื่อสูดฝุ่นละอองของซัลเฟตเข้าไปจะเข้าไปสะสมในปอดเมื่อสะสมมากขึ้นก็จะทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจทำให้มีปัญหาเรื่องการหายใจ การหายใจลำบาก และเกิดโรคของระบบทางเดินหายใจอีกทั้งเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตก่อนเวลาอันควร

3. การลดทัศนวิสัยของการมองเห็นโดยเมื่อแสงหักเห หรือถูกดูดกลืนโดยก๊าซ หรืออนุภาคของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะลดทัศน์วิสัยของการมองเห็นโดยฝุ่นละอองซัลเฟตจะเป็นตัวลดทัศน์วิสัยการมองเห็นได้มากกว่า

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทำให้เกิดฝนกรดทั้งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในอากาศทำให้เกิดกรดขึ้นซึ่งเมื่อตกมาสู่พื้นโลกในรูปของฝน หิมะ หมอก น้ำค้าง หรือตกลงมาเป็นอนุภาคที่แห้งก็ตามจะทำให้เกิดฝนกรดขึ้น และลมสามารถที่จะพาฝนกรดเหล่านี้ไปได้ไกลถึงหลายร้อยไมล์

5. การทำลายพืช และแหล่งน้ำ ฝนกรดจะทำลายป่า หรือพืชผลทางเกษตรกรรม และทำให้ดินมีความเป็นกรดรวมถึงน้ำในแม่น้ำลำคลอง หรือทะเลสาบมีความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งทำให้นิเวศวิทยาไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำซึ่งเมื่อเกิดขึ้นเป็นเวลานานจะทำให้ความหลากหลายทางชีวภาพของพืช และสัตว์ในระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไป

6. การทำลายทัศนียภาพของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เป็นกรดจะกัดกร่อนบ้านเรือนอาคารสถานที่ รวมถึงสี ทำให้โบราณสถาน อนุสาวรีย์ต่าง ๆ เสียหาย และไม่สวยงามเหมือนก่อน

2.9.4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm. (0.10 มก./ลบ.ม.)
24 ชม.	ไม่เกิน 0.012 ppm. (0.30 มก./ลบ.ม.)
1 ชม.	ไม่เกิน 0.3 ppm. (780 มก./ลบ.ม.)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

ความเข้มข้น (ppb)	คุณภาพอากาศ	แนวทางการป้องกันผลกระทบ
0 - 25	ดี	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
26 - 120	ปานกลาง	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
121 - 305	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคารบุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็ก และผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคารเป็นเวลานาน
มากกว่า 610	อันตราย	บุคคลทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคารสำหรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรอยู่ภายในอาคาร

ที่มา: ปรับปรุงมาจากกรมควบคุมมลพิษ, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ออกไซด์ของไนโตรเจน (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2555)

ชนิดของออกไซด์ของไนโตรเจน ได้แก่ N_2O, NO, NO_2, N_2O_5 และ NO_3 แต่ละชนิดที่มักพบในบรรยากาศทั่วไป คือ ไนตรัสออกไซด์ (N_2O), ไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2) โดยเฉพาะไนตริกออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดได้เองตามธรรมชาติ (Natural source) และจากการกระทำของมนุษย์ (Antropogenic source) นั้นพบว่าเป็นสารที่ว่องไว และจะทำปฏิกิริยาต่อในบรรยากาศ และส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำอันก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ของมนุษย์

2.10.1 แหล่งที่มาและปฏิกิริยาของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

- ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นแก๊สที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเกิดได้เองตามธรรมชาติโดยปฏิกิริยา Denitrification ของธาตุไนโตรเจนในรูปไนเทรตไอออนที่มีในดินที่มีออกซิเจนน้อย ดังสมการ

$$2NO_3^- + 2(CH_2O) + 2H_3O^+ \longrightarrow N_2O + 2CO_2 + 5H_2O \quad (2.25)$$

แล้วถูกปล่อยในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ จากนั้นจะค่อย ๆ เคลื่อนที่ต่อไปยังอากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และเกิดโฟโตลิซิสต่อได้ที่ความสูงจากพื้นโลกมากกว่า 20 กิโลเมตร ได้เป็น 2 สมการต่อไปนี้

$$N_2O + hV \longrightarrow NO + N \ (\lambda<250 \text{ nm}) \quad (2.26)$$

$$N_2O + hV \longrightarrow N_2 + O \ (\lambda<250 \text{ nm}) \quad (2.27)$$

N_2O สามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อกับอะตอมของออกซิเจนเกิดเป็นไนตริกอออกไซด์ ดังสมการ

$$N_2O + O \longrightarrow 2NO \quad (2.28)$$

จากปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไนตรัสออกไซด์จัดเป็นมลพิษปฐมภูมิโดยจะสามารถให้ไนตริกออกไซด์จัดเป็นมลพิษปฐมภูมิโดยจะสามารถให้ไนตริกออกไซด์ที่เป็นสารมลพิษทุติยภูมิ แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันนักสิ่งแวดล้อมได้ให้ความสำคัญกับไนตรัสออกไซด์มากขึ้นเนื่องจากเป็นที่ทราบกันว่าให้ผลรวมต่อการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกด้วย เพราะสมบัติของตัวสารเองและเป็นออกไซด์ของไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในบรรยากาศ (0.3 ppm) โดยมีอัตรการปล่อยที่มีแนวโน้มในการเพิ่ม 0.3 % ต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี และไม่เสถียรในบรรยากาศจัดเป็นมลพิษทั้งประเภทปฐมภูมิและทุติยภูมิ เกิดได้จากธรรมชาติ และกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม รวมถึงในเครื่องยนต์ต่าง ๆ กระบวนการเผาไหม้นี้เองที่ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้แก๊สที่มีมากที่สุดในบรรยากาศ (79 %) คือ ไนโตรเจนเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศ ดังสมการ

$$N_2 + O_2 \longrightarrow 2NO \text{ (2000 °C)} \qquad (2.29)$$

ลำดับประเภทเชื้อเพลิงที่ปล่อยไนตริกออกไซด์เรียงจากปริมาณมากไปน้อยได้ ดังนี้ ถ่านหิน > น้ำมันปิโตรเลียม > แก๊ส สำหรับจากธรรมชาตินอกจากไนตรัสออกไซด์จะให้ไนตริกออกไซด์ พบว่าฟ้าผ่าก็เป็นแหล่งกำเนิดหลักของไนตริกออกไซด์ และเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับการเผาไหม้ได้เช่นกัน ไนตริกออกไซด์เป็นแก๊สที่ว่องไวจึงพบว่าหลังจากที่ถูกปล่อยในบรรยากาศได้ 4 - 6 วันก็จะถูกออกซิ-ไดส์ต่อด้วยอะตอมของออกซิเจน หรือโอโซนแล้วให้ไนโตรเจนออกมาให้ดังนี้

$$NO + O \text{ หรือ } O_3 \longrightarrow NO_2 \qquad (2.30)$$

- ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นแก๊สที่มีสีน้ำตาลปนแดงจัดเป็นมลพิษทั้งประเภทปฐมภูมิและทุติยภูมิแหล่งที่มาจากทั้งธรรมชาติ และมนุษย์ทำ โดยพบว่าทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิง และจากฟ้าผ่าจะให้ไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ดังสมการ

$$N_2 + 2O_2 \longrightarrow 2NO_2 \qquad (2.31)$$

ไนโตรเจนไดออกไซด์จะให้กรดไนตริก โดยจะมีกลไกการเกิดในเวลากลางวัน และกลางคืนที่ต่างกัน

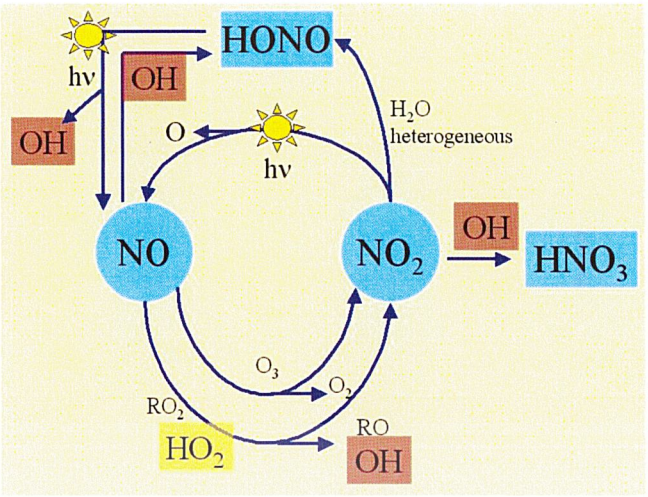
$$\text{กลางวัน } NO_2 + OH^- + M \longrightarrow HNO_3 + M \qquad (2.32)$$

กลางคืนจะมีอนุมูลอิสระไนเทรตเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้เป็นกรดไนตริก ดังนี้

$$NO_3^- + NO_2 \longrightarrow N_2O_5 \qquad (2.33)$$

$$N_2O_5 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3 \qquad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 กลไกระหว่างไฮดรอกไซด์กับออกไซด์กับออกไซด์ของไนโตรเจน (Uherek, 2003)

กรดไนตริกจะถูกกำจัดให้ออกจากบรรยากาศได้ทั้งในรูปของเหลว หรือแห้งก็ได้ลงสู่พื้นโลก ในบางกรณีกรดไนตริกจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียซึ่งระเหยจากปัสสาวะของสัตว์ และสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนได้เป็นสารประกอบแอมโมเนียมไนเทรต ดังนี้

$$NH_3 + HNO_3 \longrightarrow NH_4NO_3 \qquad (2.35)$$

แอมโมเนียที่เกิดนี้จะถูกกำจัดจากบรรยากาศสู่พื้นโลกโดยอาจรวมตัวกับน้ำ หรืออยู่ในรูปแอโรซอลที่เป็นของแข็ง

NO_x โดยเฉพาะไนตริกออกไซด์เป็นสารเคมีเริ่มต้นหลักที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโฟโตเคมิคัลสม็อก ซึ่งก่อให้เกิดสารมัธยันต์ที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมนุษย์

สุดท้าย NO_x จะกลายเป็นไนไทรต์ หรือไนเทรตที่รวมกับอนุภาคมลพิษโดยเกิดผ่านบางปฏิกิริยาดังตัวอย่าง และแสดงดังรูปที่ 2.31

1. ออกซิเดชันโดยโอโซนคือ

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2 \qquad (2.36)$$

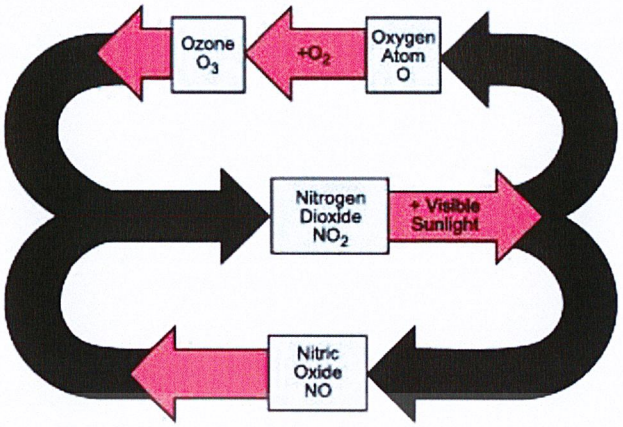
$$NO_2 + O_3 \longrightarrow NO_3 + O_2 \qquad (2.37)$$

2. ปฏิกิริยากับแสง

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2 + \Delta H \qquad (2.38)$$

$$NO_2 + h\nu \longrightarrow NO + O \qquad (2.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 ปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับออกไซด์ของไนโตรเจน (Craig Freudenrich, 2001)

ปฏิกิริยาหลังจากนี้อาจเกิดได้ ดังนี้

$$3NO_2 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3 + NO \qquad (2.40)$$

หรือ $$2NO_2 + H_2O \longrightarrow HNO_3 + HNO_2 \qquad (2.41)$$

แต่พบว่าปฏิกิริยาที่ให้ HNO_3 เร็วที่สุดเกิด ดังนี้

$$N_2O_5 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3 \qquad (2.42)$$

และ อาจจะให้สารต่อเป็น

$$NH_3 + HNO_3 \longrightarrow NH_4NO_3 \qquad (2.43)$$

2.10.2 ผลกระทบของไนโตรเจนออกไซด์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและการอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555)

ผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมจาก NO_x นั้นมีได้หลายรูปแบบ เนื่องจาก Nitrogen Oxide มีสารประกอบหลายตัวที่อยู่ในกลุ่มของ Nitrogen Oxide ได้แก่ Nitrogen dioxide, Nitrie Acid, Nitrous Oxide และ Nitrie Oxide สรุปผลต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม มีดังนี้

1. ทำให้เกิดก๊าซโอโซนในระดับพื้นดิน (Smog) ซึ่งเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง NO_x กับสารระเหยอินทรีย์ (Volatile Organic Compounds หรือ VOC_s) โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการรับผลกระทบ ได้แก่ เด็ก คนชราผู้ที่เป็นโรคปอด หรือหลอดลม เช่น โรคหอบหืด และผู้ที่ทำงาน หรือออกกำลังกายนอกบ้านซึ่งเมื่อสัมผัสเป็นเวลานาน ๆ เป็นประจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะทำให้มีการทำลายของเนื้อเยื่อปอดทำให้การทำงานของปอดลดลง นอกจากนั้นโอโซนจะสามารถถูกพัดพาไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทำให้เกิดผลกับประชาชน หรือสิ่งแวดล้อมที่อยู่ห่างไกลออกไปได้รวมถึงมีผลต่อการลดผลผลิตทางการเกษตรด้วย

2. ฝนกรด NO_x และ SO_x สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดกรดและเมื่อตกลงมายังพื้นผิวโลกไม่ว่าจะเป็นฝน หมอก หิมะ หรืออนุภาคแห้งบางทีสามารถที่จะถูกพาไปได้ไกลหลายร้อยไมล์ ฝนกรดจะทำให้เกิดการกัดกร่อนอาคารบ้านเรือน รถยนต์ อนุสาวรีย์ หรือโบราณสถานต่าง ๆ และทำให้แหล่งน้ำต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ทะเลสาบมีความเป็นกรดและไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตตามปกติของพืช หรือสัตว์ที่อาศัยในแหล่งน้ำนั้น

3. ฝุ่นละอองขนาดเล็ก NO_x ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ความชื้น หรือสารประกอบอื่นๆ ในอากาศทำให้เกิดกรดไนตริก หรือฝุ่นละอองขนาดเล็กอื่น ๆ และฝุ่นละอองขนาดเล็กดังกล่าวทำให้มีผลต่อระบบหายใจ และทำลายเนื้อเยื่อปอด และเป็นสาเหตุของการตายก่อนเวลาอันสมควร อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจได้ลึกทำให้ผู้มีโรคระบบทางเดินหายใจอยู่แล้วมีอาการแย่ลงจากเดิมเช่นผู้ที่มีถุงลมโป่งพอง หลอดลมอักเสบ และทำให้ผู้ที่เป็นโรคหัวใจมีอาการแย่ลงจากเดิม

4. คุณภาพของแหล่งน้ำแย่ลง การที่มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำสูงขึ้นโดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งจะทำให้รบกวนสมดุลของสารอาหารต่าง ๆ ในแหล่งน้ำทำให้พืชบางชนิดเจริญเติบโตมากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้เกิดการลดของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ทำให้จำนวนประชากรของปลาและหอยลดลง

5. การเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศ ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งอยู่ในตระกูลไนโตรเจนออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก (Greenhouse effect) ถ้ามีการสะสมในบรรยากาศปริมาณที่มากจะทำให้อุณหภูมิของโลกค่อย ๆ สูงขึ้นซึ่งจะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อมนุษยชาติทำให้ระดับน้ำทะลสูงขึ้น และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากต่อพืช และสัตว์

6. สารเคมีที่เป็นพิษ NO_x ทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ หรืออาจจะเป็นโอโซนจะได้สารประกอบตัวใหม่ที่เป็นพิษซึ่งบางตัวเป็นสาเหตุของการผ่าเหล่าทางชีวภาพ (Biological mutation) โดยตัวอย่างของสารประกอบที่เกิดขึ้นที่เป็นพิษ เช่น nitrate radical, nitroarenes และ nitrosamines

7. การลดทัศนวิสัยของการมองเห็น อนุภาคของไนเทรต และไนโตรเจนไดออกไซด์จะขัดขวางการผ่านของแสงอาทิตย์ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองหรือสวนสาธารณะต่าง ๆ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เพื่อการค้า

2.10.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
1 ชม.	ไม่เกิน 0.17 ppm. (0.32 มก./ลบ.ม.)
2 ชม.	ไม่เกิน 0.03 ppm. (0.057 มก./ลบ.ม.)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2555

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

ความเข้มข้น(ppb)	คุณภาพอากาศ	แนวทางการป้องกันผลกระทบ
0 - 85	ดี	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
86 - 170	ปานกลาง	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
171 - 600	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคารบุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็ก และผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคารเป็นเวลานาน
601 - 1,202	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคารบุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็ก และผู้สูงอายุควรจำกัดการออกกำลังภายนอกอาคาร
มากกว่า 1,202	อันตราย	บุคคลทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคารสำหรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรอยู่ภายในอาคาร

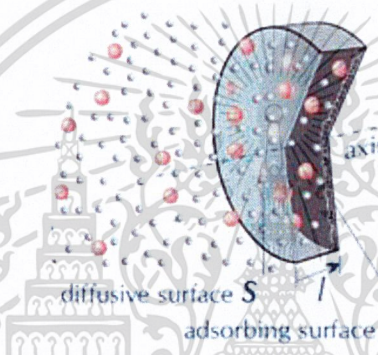
ที่มา: ปรับปรุงมาจากกรมควบคุมมลพิษ, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

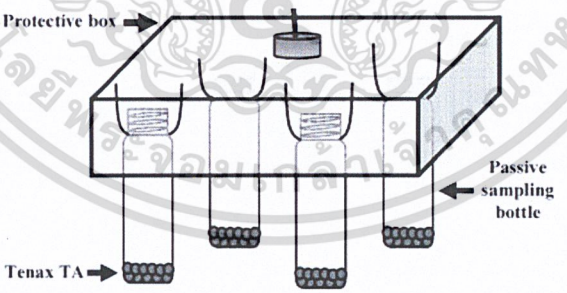
2.11 วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ (Passive sampling) (สิทธิชัย, 2551)

เป็นวิธีที่อาศัยการแพร่ (Diffusion) ของสารมลพิษในอากาศปนเปื้อนอยู่โดยแก๊สที่ต้องการศึกษาสามารถแพร่จากอากาศเข้าไปยังตัวดูดซับที่เหมาะสมแล้วนำตัวที่ดูดซับไปทำการสกัดแล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ต้องการทราบความเข้มข้นได้

อุปกรณ์การเก็บแบบพาสซีพนี้มีราคาถูกกว่าเครื่องมือชนิดแอคทีฟมาก ขั้นตอนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างไม่ยุ่งยาก สารเคมีที่ใช้หาได้ง่าย และมีราคาถูกรวมทั้งไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์นี้จึงมีราคาถูก ขนาดเล็กน้ำหนักเบา ใช้ติดตามตัวได้ สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ และสามารถนำไปใช้ตรวจวัดคุณภาพอากาศได้ในทุกสถานที่ เช่น ในชุมชน ในเมือง ในโรงงานอุตสาหกรรม ในชนบท ในป่า และสามารถใช้ติดตามคุณภาพอากาศได้พร้อมกันในหลาย ๆ แห่งได้



รูปที่ 2.32 กลไกการแพร่ของอากาศ (Sigma-Aldrich Ltd., 2010)



รูปที่ 2.33 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบพาสซีพ (Thammakhet, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 หลักการ (Operating principles) (Gair, 1991)

หลักการของการเก็บตัวอย่างแบบ passive diffusion ตาม (Gair, 1991) มีหลักการตาม Fick's law ดังสมการ (2.56)

$$F = -D\frac{dc}{dx} \tag{2.56}$$

เมื่อ F คือ ฟลักซ์ของมวลสาร (mol $cm^{-2}s^{-1}$)

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (Diffusion coefficient) ($cm^{-2}s^{-1}$)

c คือ ความเข้มของสารมลพิษในหลอด (mol cm^{-3})

x คือ ความยาวของการแพร่ (cm)

ปริมาณของก๊าซที่เดินทางโดย Fick's law จากอากาศโดยรอบไปที่ก้นหลอด หาได้จากสมการ (2.57)

$$Q = F(\pi r^2)t \tag{2.57}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณของก๊าซ (mol)

t คือ ระยะเวลาที่รับสัมผัส (วินาที)

r คือ รัศมีของหลอด (m)

แทนค่า F จากสมการ (2.56) ลงใน (2.57)

$$Q = -D\frac{dc}{dx}(\pi r^2)t \tag{2.58}$$

$$\frac{dc}{dx} = \frac{c1-c0}{l} \tag{2.59}$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ (mol cm^{-3})

C_0 คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษของตัวดูดซึม (mol cm^{-3})

L คือ ความยาวของหลอด (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจำนวนโมลของ SO_2 หรือ NO_2 ที่เก็บได้คือ

$$Q = \frac{D(C1-C0)(\pi r^2)t}{l} \quad (2.60)$$

สำหรับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในอากาศโดยรอบ (D) คือ 1.27×10^{-5} m^2 s^{-1} สมมติให้ sorbent มีประสิทธิภาพ 100 % ดังนั้น c_0 = 0 ความเข้มข้นของ SO_2 คิดได้จากสมการ

$$C1 = \frac{Q*l}{\pi r^2 * t * 1.27 * 10^{-5}} \ \mu g/m^3 \text{ of } SO_2 \quad (2.61)$$

เมื่อ Q คือปริมาณของ SO_2 (μg) ที่ได้จากการคำนวณ SO_4^{2-} (μg)

2.12 ข้อดีและข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (สมพร, 2548; Cruz *et.al.*, 2005)

จากการที่ได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้ทำให้ทราบว่าการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ด้วยอุปกรณ์พาสซีฟ มีข้อดี และข้อจำกัด ดังนี้

2.12.1 ข้อดีของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

อุปกรณ์ที่ใช้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีราคาถูก สามารถผลิตได้ง่าย และสะดวกในการติดตั้ง เหมาะสำหรับการตรวจวัดแบบบุคคลปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ไม่ต้องใช้ปั๊มดูดอากาศเหมือนที่ใช้กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟ สามารถใช้ตรวจวัดมวลสารได้ทั้งในระยะสั้น และระยะยาวสามารถทำซ้ำได้หลายค่า

2.12.2 ข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

ต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างค่อนข้างนานอยู่ในช่วงประมาณ 1 หรือ 2 อาทิตย์เป็นอย่างน้อยไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นสูงสุดของมวลสารได้ และผลการตรวจวัดอาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้น

ดังนั้น วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟจึงเป็นวิธีการที่มีการทดลอง และศึกษาเพื่อหาปริมาณก๊าซ และสารระเหยต่าง ๆ หลายชนิดเนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากมาก มีราคาถูก อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการทดลองต่ำจึงมีการทดลอง และพัฒนาวิธีการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการเก็บตัวอย่าง และเพื่อให้มีความสะดวกในการนำไปใช้ได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 เทคนิคการใช้กระดาษกรอง

การกรองเป็นวิธีแยกของแข็งที่ไม่บริสุทธิ์ออกจากของเหลว หรือสารละลาย หรือเป็นการแยกสารที่เป็นของแข็งที่อยู่ในรูปผลึก หรือตะกอนออกจากของเหลว หรือสารละลายโดยใช้ตัวกรอง เช่น กระดาษกรอง การกรองที่มีประสิทธิภาพดีนั้นขึ้นอยู่กับการเลือกอุปกรณ์การกรองที่เหมาะสมกับลักษณะของตะกอนและใช้เทคนิคที่ถูกต้อง กระดาษกรองมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับลักษณะ และขนาดของตะกอนตลอดจนจุดประสงค์ของการแยกตะกอนแตกต่างกัน

กระดาษกรองที่ใช้ทั่วไปแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ผลิต มี 3 ประเภท

1. Cotton linters filter paper : ผลิตจากใยฝ้าย ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีความยาวน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร และเหมาะสำหรับการผลิตกระดาษกรอง

2. α-cellulose filter paper : ผลิตจากเยื่อไม้ เส้นใยจากพืชซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเซลลูโลสมีคุณสมบัติ ไม่ละลายในด่าง (17.5% NaOH ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) มีส่วนประกอบของขี้เถ้าขั้นต่ำ ไม่ฉีกขาดง่าย ดูดซับความชื้น มีการต้านทานต่อการไหลของอากาศสูง และมีราคาแพง

3. Glass fibres filter paper: วัตถุดิบหลักเป็นเส้นใยจาก Borosilicate glass หรือ Alkali glass ซึ่งอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.5 - 1.5 ไมโครเมตร

2.13.1 คุณสมบัติของกระดาษกรองที่ควรทราบ

เราควรเลือกกระดาษกรองที่มีคุณภาพ เหมาะกับวัตถุประสงค์การใช้งานมีมาตรฐานรับรอง เช่น ผ่านการทดสอบคุณภาพตามมาตรฐานของ DIN ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศเยอรมัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. ปริมาณเถ้า (Ash content) ทดสอบตามวิธีมาตรฐานของ DIN 53 138 โดยเผากระดาษกรอง 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสในถ้วยแพลทตินัม จะต้องมีเถ้าเหลือ 0.1 - 0.25% ของน้ำหนักกระดาษกรองสำหรับกระดาษกรองที่ใช้งานด้านปริมาณวิเคราะห์ และ 0.01% สำหรับกระดาษกรองที่ใช้งานด้านคุณภาพวิเคราะห์

2. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange capacity) กระดาษกรองชนิด cellulose fiber จะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน carboxyl group (COO) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น cation exchanger และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูงกว่ากระดาษกรองชนิด cotton linter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Dry bursting strength ความทนต่อการฉีกขาดของกระดาษในสภาพแห้งทดสอบโดยนำกระดาษกรองมาขึงให้ตึงไว้บน rubber diaphragm ที่มีพื้นที่ผิว 10 cm^2 แล้วเพิ่มแรงดันอากาศจนกระทั่งกระดาษขาด มีหน่วยเป็น $kg.cm^{-2}$

4. Wet bursting strength ความทนต่อการฉีกขาดของกระดาษในสภาพเปียกชื้น ตามวิธีมาตรฐานของ DIN 53 139

5. ความยืดหยุ่น (Tensile strength) ทดสอบโดยนำกระดาษกรองขนาด 15 mm x180 mm มาขึงให้ตึง แล้วเพิ่มแรงดึงจนกระดาษขาด มีหน่วยเป็น kg/15 mm

6. ความหนา (Thickness) วัดโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า touch-pressure device มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

7. ความเร็วในการกรอง ทดสอบตามวิธีมาตรฐานของ DIN 53 137 โดยวัดอัตราการไหลของน้ำกลั่น (20 °C) 10 ml ผ่านกระดาษกรอง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 cm แล้วพับม้วนเป็น 1/4)

8. น้ำหนักกระดาษกรอง (Basis weight) ทดสอบตามวิธีมาตรฐานของ DIN 53 104 โดยชั่งกระดาษกรองขนาด 10 cm x 10 cm มีหน่วยเป็น g/m^2

9. Gurley test เป็นการทดสอบเวลาที่ใช้ในการกรองอากาศปริมาตร 100 ml ที่ความดัน 31 mmH_2O ผ่านกระดาษกรองขนาดพื้นที่หน้าตัด ¼ ตร.นิ้ว

10. ความทนต่อแรงต้านอากาศ (Air Resistance) ทดสอบโดยผ่านอากาศลงบนกระดาษกรองด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร (เทียบเท่าความเร็วลม 1 m/s) จนกระดาษขาด มีหน่วยเป็น mmH_2O

11. ขนาดรูพรุน (Pore size) ขนาดรูพรุนของกระดาษกรองเป็นค่า over-rated factor ที่สามารถชี้บงประสิทธิภาพการกรองได้

12. Capillary rise ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไปบนกระดาษกรอง ซึ่งทดสอบโดยตัดกระดาษกรองเป็นแถบยาวขนาดหน้ากว้าง 15 mm จุ่มปลายข้างหนึ่งลงในน้ำกลั่น (20 °C) เป็นเวลา 10 นาที

13. ระดับการดูดซับ (Absorption Capacity) ปริมาณน้ำที่กระดาษกรองสามารถดูดซับไว้ได้ คำนวณจากผลต่างของน้ำหนักกระดาษกรอง (ขนาด 100 ตร.ซม.) ก่อน และหลังดูดซับน้ำต่อพื้นที่ผิวกระดาษกรองมีหน่วยเป็น $ml.cm^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. Retention ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน DIN 53 138 เพื่อดูประสิทธิภาพการกรองว่าใช้เวลาในการกรองตะกอนนานเท่าไรโดยทดสอบการกรองตะกอน iron (III) oxide, lead sulphate, calcium oxalate, barium sulphate

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุธีรา, 2550 ได้ติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศโดยใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในเขตเทศบาล จังหวัดลำพูน และศึกษาความหลากหลายของไลเคนในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2547 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2548 โดยแบ่งพื้นที่ทำการศึกษาในเขตเทศบาลเป็นตารางขนาด 500×500 ตารางเมตรจำนวน 30 ตาราง สุ่มเลือกต้นมะม่วง (Magifera indica L.) วัดเส้นรอบวงที่ตำแหน่งสูงจากพื้นดิน 150 เซนติเมตร ตารางละ 6 ต้น รวมทั้งหมด 180 ต้น นำกริดเฟรม (Grid frame) ขนาด 20×50 ตารางเซนติเมตร แบ่งเป็น 10 ช่องเล็ก ช่องละ 10×10 ตารางเซนติเมตร ทาบกับลำต้นมะม่วงโดยให้ขอบล่างของกริดเฟรมสูงจากระดับพื้นดิน 100 เซนติเมตร พบว่ามีไลเคนกลุ่มโฟลิโอส 3 สกุล ครัสโตส 7 สกุล และเลอโพส 1 กลุ่มนำความถี่ของจำนวนไลเคนที่พบมาคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) ในเขตเทศบาลจังหวัดลำพูน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลำดับชั้นคุณภาพอากาศ (Air Quality Class : AQC) คือ ชั้นที่ 1 มีดัชนีมีคุณภาพอากาศตั้งแต่ 0.0 -7.4 บ่งชี้บริเวณที่มีมลพิษทางอากาศสูงมาก ซึ่งแสดงด้วยสีแดง พบ 7 ตาราง ชั้นที่ 2 มีดัชนีคุณภาพอากาศตั้งแต่ 7.5 – 14.8 บ่งชี้บริเวณที่มีมลพิษทางอากาศสูงถึงมาก แสดงด้วยสีส้มแดง พบ 22 ตาราง และชั้นที่ 3 มีดัชนีคุณภาพอากาศเท่ากับ 14.9 – 22.2 บ่งชี้บริเวณที่มีมลพิษทางอากาศสูง แสดงด้วยสีส้ม พบว่าในเขตเทศบาลจังหวัดลำพูนนั้นมีมลพิษทาง

อมรรัตน์, 2552 ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพในการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในปี 2552 โดยใช้แผนที่ไลเคนในการจัดการคุณภาพอากาศ และใช้การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการตรวจวัดคุณภาพอากาศปฐมภูมิ, ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยไอออนโครมาโทกราฟี พื้นที่ในการศึกษามีทั้งหมด 46 จุด (1×1 กิโลเมตร) และได้เก็บไลเคนจากต้นมะม่วงทั้งหมด 278 ต้น พบไลเคนทั้งหมด 29 ชนิดซึ่งเป็นไลเคนชนิดครัสโตส 22 ชนิด และเป็นไลเคนชนิดโฟลิโอส 7 ชนิดส่วนไลเคน 5 ชนิด ที่พบมากที่สุด คือ *Hyperphyscia adglutinata, Pyxine cocoes, Physcia dimidiate, Lecanora leprosa* และ *Opegrapha stirto* ในศูนย์กลางของเมืองจะพบน้อยกว่าพื้นที่ด้านนอก ทำการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) ซึ่งมีความแตกต่างกัน 4.7 ถึง 29.2 และทำการหาชั้นของคุณภาพอากาศ (Air Quality Class : AQC) โดยกำหนดจากไลเคนได้ 4 ระดับชั้น โดยใช้สีในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งขอบเขตของมลพิษอากาศ จากสมการของเพียร์สันแสดงให้เห็นดัชนีความหลากหลายของไลเคน (Lichen Diversity Index : LDI) มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ($r = -0.446$, $p < 0.01$) และความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($r = -0.470$, $p < 0.01$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับพีเอชของเปลือกไม้ ($r = 0.144$, <0.01) พีเอชของเปลือกไม้มีค่าแตกต่างกัน 5.09 ถึง 5.62 ดัชนีความหลากหลายของไลเคน (Lichen Diversity Index : LDI) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญไปยังเปลือกไม้ ($r = -0.004$, $p < 0.01$) สรุปได้ว่า ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลกับความหลากหลายของไลเคนในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

ชุมพล, โชติกา และปริญญา, 2554 ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการสำรวจชนิดพร้อมเก็บตัวอย่างไลเคนที่พบ และตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 13 จุด ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2554 – เดือนมกราคม พ.ศ.2555 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีพชนิดหลอด โดยแขวนหลอดเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ 15 วัน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีพร้อมตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 4 วงศ์ 7 สกุล และ 7 ชนิด ได้แก่ *Chrysothrix xanthine, Graphis* sp., *Lecanora* sp., *Dirinaria* sp., *Pycnidia* sp. และ *Pyxine cocoes* ชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Pyxine cocoes* และ *Dirinaria* sp., และปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษา พบว่า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2554 , เดือนธันวาคม พ.ศ.2554 และเดือนมกราคม พ.ศ.2555 ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 2.211 – 7.970, 4.173 – 12.654, และ 2.933 – 12.356 ppbv ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) โดยจุดเก็บตัวอย่างคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ และประตูทางเข้า - ออกสถาบันฝั่งถนนมอเตอร์เวย์ มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด ผลที่ได้จากการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ และตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สรุปได้ว่า ในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีคุณภาพอากาศพอใช้

จันทร์พิมพ์, พรพรรณ และ สิธยา, 2555 ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะลาดกระบัง(สวนพระนคร) ได้ทำการสำรวจชนิดพร้อมเก็บตัวอย่างไลเคนที่พบ และตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 12 จุด ระหว่างเดือนกรกฎาคม – กันยายน พ.ศ. 2555 ทำการเก็บตัวอย่างกาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

เอกสารนี้ ... การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ เก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ 15 วัน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

ผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 2 วงศ์ 3 สกุลและ 3 ชนิด ได้แก่ *Buellia* sp., *Pyxine cocoes* และ *Graphis* sp. ชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Pyxine cocoes* และปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษาพบว่า ช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน พ.ศ.2555 ทั้ง 12 จุด มีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2.755 – 8.099 และปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 3.890 – 11.262 จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความสำคัญเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$) สรุปได้ว่าบริเวณสวนสาธารณะลาดกระบัง(สวนพระนคร) มีคุณภาพอากาศพอใช้

J.C. Marques, PhD University of Coimbra Department of Life Sciences, Coimbra, Portugal February, 2012 กลุ่มของไลเคนอิพิไลติก ถูกนำเสนอเป็นตัวชี้วัดคุณภาพอากาศในเขตเมืองเมดิเตอร์ เรเนียนในภาคใต้ของโปรตุเกส เกี่ยวกับการใช้ที่ดินในท้องถิ่น: การจราจร พื้นที่สวนสาธารณะ และบ้าน (พื้นที่อยู่อาศัย) และใช้ค่า pH ของเปลือกไม้เป็นตัวแทนของคุณภาพอากาศ ประเมินความหลากหลายของไลเคนอิพิไลติกโดยใช้ค่าความหลากหลายของไลเคน (LDV) ค่า LDV ทั่วโลกจะลดลงในพื้นที่การจราจรรวมถึงค่าสัมบูรณ์ของ LDV สำหรับกลุ่มการทำงานที่ตรวจสอบซึ่งมีพื้นที่การจราจรต่ำกว่าพื้นที่สีเขียว และบ้าน อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของกลุ่มไลเคนมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าสัมพัทธ์ของชนิดไลเคน ตัวอย่างกลุ่มไลเคน oligotrophic, hygrophytic และacidophilous ไลเคนมีความอ่อนไหวต่อมลภาวะที่เกิดจากการจราจรและค่าลดลงอย่างชัดเจนใกล้กับถนน กลุ่มไลเคนเหล่านี้เป็นตัวแทนที่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีการจราจรโดยเฉพาะในพื้นที่สวนสาธารณะ และที่อยู่อาศัย ส่วนกลุ่มไลเคน eutrophic, xerophytic และ basophilous จะมีมากในพื้นที่การจราจร กลุ่มงานที่มีความละเอียดมากจะมีความน่าเชื่อถือมากกว่างานที่มีความหลากหลายโดยรวมสำหรับการประเมินผลกระทบของมลพิษทางอากาศในพื้นที่เขตเมืองเล็ก ๆ

StefanoLoppi, 1998 ผลของการสำรวจสารไลเคนเพื่อบ่งชี้คุณภาพอากาศในภูเขาทาคาโอะ มีรายงานความร้อนใต้พิภพของ Amiata (Tuscany, Central Italy) บนพื้นฐานของการสุ่มตัวอย่างดัชนีความบริสุทธิ์บรรยากาศ (IAP) 153 ดัชนีได้มีการวาดแผนที่อากาศในบริเวณพื้นที่ที่มีคุณภาพ ค่า IAP ที่ต่ำที่สุดถูกบันทึกไว้ในพื้นที่ซึ่งครอบคลุมโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีระยะทางประมาณ 500 เมตร รูปแบบโดยรวมของค่า IAP ที่เพิ่มขึ้นด้วยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพชี้ให้เห็นว่ามลพิษทางอากาศจากการติดตั้งความร้อนใต้พิภพเป็นสาเหตุหลักของการแบ่งเขตของชุมชนไลเคน ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารปนเปื้อนหลักที่รับผิดชอบในการลดลงของไลเคนรอบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ

Mohd, 2012 การศึกษาคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคนทำการศึกษาที่ University Kebangsaan Bangi campus. ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อกำหนดขอบเขตของมลพิษโดยใช้ไลเคนสถานที่นี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น อายุของมหาวิทยาลัยมีมากกว่า40ปี, ความหนาแน่นประชากร, สิ่งก่อสร้าง การจราจรในมหาวิทยาลัย รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ด้วยที่อาจส่งผลต้นปาล์มใน UKM ประกอบด้วย 36 สายพันธุ์ในหมู่พวกเขา *Roystenia oleracea, R. regia, Veitchia merillii, Cocos nucifera, Bentinckia nicobarica, Archontophoenix alexandrae, Livistona rotundifolia, Areca catechu* และ *Chrysalidocarpus lutescens* ซึ่งเป็นที่โฮสต์ที่ดีสำหรับไลเคนมีการคัดเลือกพื้นที่ 27 แห่งทั่ววิทยาเขตของ UKM และประกอบด้วยต้นปาล์ม 110 ต้นมีปริมาณไนโตรเจน และค่า pH ของแต่ละโฮสต์ที่ความสูง 1 เมตร และ 2 เมตรเหนือพื้นดินต้นปาล์มแต่ละต้นได้รับการคัดเลือกตามตำแหน่งทางภูมิศาสตร์เช่นใกล้กับถนน, เนินเขา, ป่าสงวน, แม่น้ำ, สนามกอล์ฟ และที่พักของนักเรียนสถานที่ถูกบันทึกโดยใช้ GPS และข้อมูลทั้งหมดถูกป้อนใน GIS ค่า pH ที่ความสูง 1m ของปาล์ม(โฮสต์) เท่ากับ 4.87 ± 0.48 ในขณะที่ค่า pH ที่ความสูง 2 m เท่ากับ 4.88 ± 0.46 ปริมาณไนโตรเจนที่ความสูง 1 เมตรเท่ากับ 0.5940 ± 0.4437% และความสูง 2 เมตรเท่ากับ 0.6586 ± 0.5698% ไลเคนที่เจริญเติบโตบนโฮสต์คือไลเคน *epiphytic* จากสกุล / สปีชีส์ *Arthonia, Caloplaca, Chrysothrix, Dirinaria, Hyperphyscia adglutinata, Laurera, Lecanographa, Lecanora, Parmotrema tinctorum, Parmotrema praesorediosum, Physcia, Pyxine cocoes, Rinodina, Trypethelium* และ *Graphidaceae.* การศึกษาแบบ Quadrant ที่แต่ละโฮสต์สำหรับไลเคน epiphytic ให้ค่าคุณภาพอากาศที่สถานที่การศึกษาเพราะไลเคนแต่ละตัวจะให้ค่าเฉพาะตามสภาพของมลพิษทางอากาศการกำหนดคุณภาพอากาศสามารถกำหนดได้จากค่ารวมของไลเคนในแต่ละด้านผลการวิจัยพบว่าคุณภาพอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับคือคะแนนมากกว่า 10 คือ อากาศที่สะอาด 0 - 10 อยู่ในระดับปานกลาง , -10 ถึง 0 เป็นมลพิษเล็กน้อย และน้อยกว่า -10 มีมลพิษสูง การศึกษาแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของไลเคนทีปาล์ม(โฮสต์)ที่ UKM สอดคล้องกับคุณภาพอากาศ โดยรวมคะแนนคุณภาพอากาศที่ UKM คือ 8.39 ± 4.33 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง

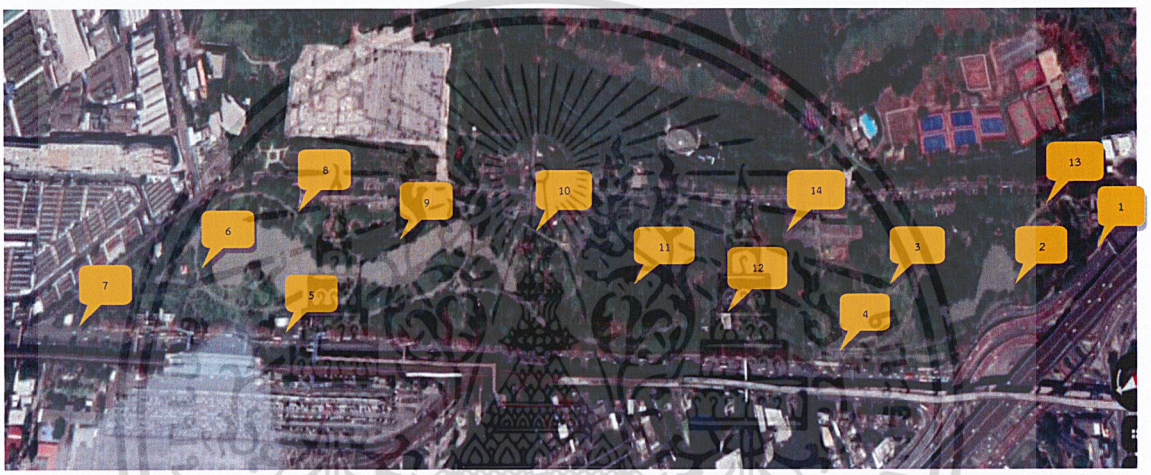
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

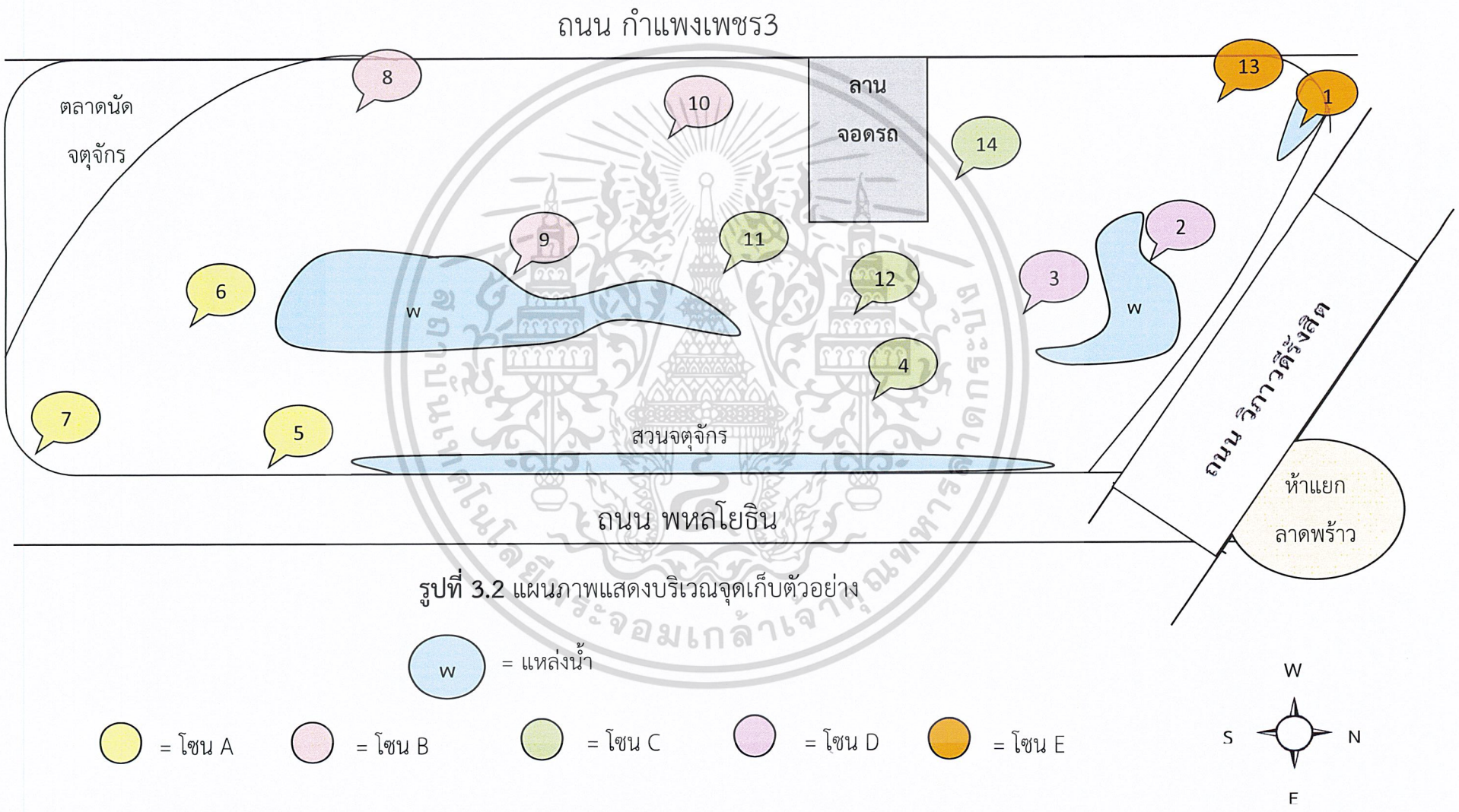
3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

ทำการศึกษาบริเวณสวนจตุจักรโดยมีพื้นที่ทั้งหมด 100 ไร่ กำหนดจุดเก็บตัวอย่างเป็นแบบสุ่ม โดยติดตั้งอุปกรณ์บริเวณที่พบไลเคน มีจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 จุด โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่าง และสำรวจไลเคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



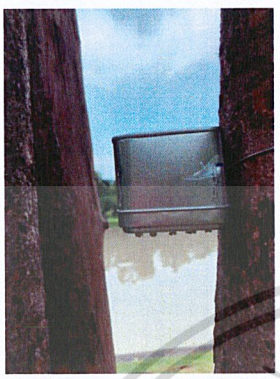
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 14 จุด

จุดเก็บตัวอย่าง	บริเวณที่ทำการศึกษา	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	บริเวณ	พิกัดทางภูมิศาสตร์
1		จามจุรี	อยู่ใกล้บ่อน้ำด้านในสุดของบริเวณสวนสาธารณะ	อยู่บริเวณติดถนน วิภาวดีรังสิต จัดเป็นโซน E	13°48.51¨ N 100°33.31¨ E 5 m MSL
2		แปรงล้างขวด	อยู่ใกล้บ่อน้ำ มีต้นไม้ชนิดเดียวกันโดยรอบ	อยู่ทางทิศด้านทิศเหนือของสวนสาธารณะจัดเป็นโซน D	13°48.46¨ N 100°33.30¨ E 6 m MSL
3		แคนา	อยู่ติดบริเวณทางเดิน ใกล้ที่พักพนักงาน	อยู่ทางทิศด้านทิศเหนือของสวนสาธารณะจัดเป็นโซน D	13°48.40¨ N 100°33.27¨ E 5 m MSL

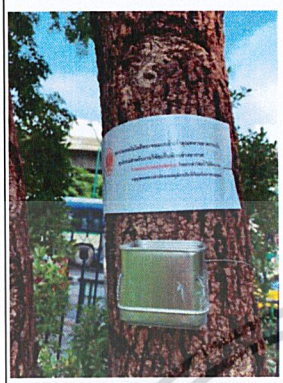
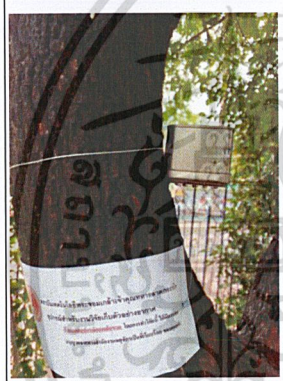
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 14 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	บริเวณที่ทำการศึกษา	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	บริเวณ	พิกัดทางภูมิศาสตร์
4		ไทรย้อยใบทู่	อยู่ใกล้บ่อน้ำขนาดใหญ่ มีต้นไม้โดยรอบ ไม่หนาแน่น ใกล้ลานจอดรถ	อยู่กลางสวนสาธารณะจตุจักร จัดเป็นโซน C	13°48.37¨ N 100°33.28¨ E 6 m MSL
5		อินทผลัม	อยู่ใกล้ถนนที่มีการสัญจรหนาแน่น มีต้นไม้ชนิดเดียวกันบริเวณรอบ	อยู่บริเวณติดถนนพหลโยธิน จัดเป็นโซน A	13°48.07¨ N 100°33.10¨ E 5 m MSL
6		ตะลุมพุก	ติดกับทางเดินที่มีผู้คนสัญจร	อยู่บริเวณติดถนนพหลโยธิน จัดเป็นโซน A	13°48.09¨ N 100°33.09¨ E 4 m MSL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 14 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	บริเวณที่ทำการศึกษา	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	บริเวณ	พิกัดทางภูมิศาสตร์
7		ชมพู่พันธุ์ทิพย์	อยู่ติดถนนใหญ่ที่มีการสัญจรหนาแน่น มีต้นไม้ชนิดเดียวกันบริเวณรอบ	อยู่บริเวณติดถนนพหลโยธิน จัดเป็นโซน A	13°48.03¨ N 100°33.08¨ E 8 m MSL
8		มะขาม	อยู่ติดถนนใหญ่ที่มีการสัญจรหนาแน่น มีต้นไม้ชนิดเดียวกันบริเวณรอบ	อยู่บริเวณติดถนนกำแพงเพชร 3 จัดเป็นโซน B	13°48.14¨ N 100°33.08¨ E 7 m MSL
9		ประดู่บ้าน	อยู่ใกล้บ่อน้ำขนาดใหญ่ ต้นไม้ไม่หนาแน่น	อยู่บริเวณติดถนนกำแพงเพชร 3 จัดเป็นโซน B	13°48.18¨ N 100°33.12¨ E 7 m MSL

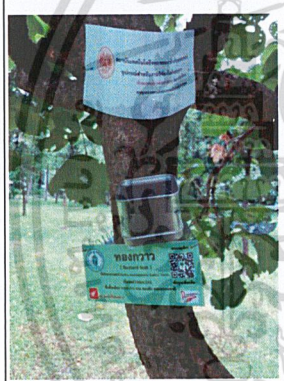
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 14 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	บริเวณที่ทำการศึกษา	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	บริเวณ	พิกัดทางภูมิศาสตร์
10		กระทิง	มีไม้พุ่มบริเวณรอบ อยู่ใกล้สำนักงานสวนจตุจักร	อยู่บริเวณติดถนนกำแพงเพชร 3 จัดเป็นโซน B	13°48.25¨ N 100°33.16¨ E 5 m MSL
11		ประดู่	มีต้นไม้หนาแน่น ต้นไม้โดยรอบสูงและใหญ่	อยู่กลางสวนสาธารณะจตุจักร จัดเป็นโซน C	13°48.29¨ N 100°33.21¨ E 9 m MSL
12		อินทนิลน้ำ	ใกล้ลานจอดรถ มีต้นไม้ชนิดเดียวกันโดยรอบ	อยู่กลางสวนสาธารณะจตุจักร จัดเป็นโซน C	13°48.33¨ N 100°33.24¨ E 9 m MSL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 14 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	บริเวณที่ทำการศึกษา	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	บริเวณ	พิกัดทางภูมิศาสตร์
13		มะม่วง	ต้นไม้ไม่หนาแน่น อยู่ด้านในสุดของสวนสาธารณะ	อยู่บริเวณติดถนน วิภาวดีรังสิต จัดเป็นโซน E	13°48.50¨ N 100°33.29¨ E 5 m MSL
14		ทองกวาว	ต้นไม้ไม่หนาแน่น ติดบริเวณทางเดิน	อยู่กลางสวนสาธารณะจตุจักร จัดเป็นโซน C	13°48.37¨ N 100°33.23¨ E 6 m MSL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (Iron Chromatrograph) รุ่น DX 600 ยี่ห้อ Metrohm
2. หลอดเก็บตัวอย่างอากาศขนาด 10 มิลลิลิตร
3. กล่องเหล็กบรรจุหลอดเก็บตัวอย่างอากาศขนาด 5 × 6 × 5 เซนติเมตร
4. แผ่นกรองเซลลูโลส (Membrane Filter) ยี่ห้อADVANTEC
5. เครื่องอัลตราโซนิค (Ultra sonic) รุ่น 136H บริษัท Fisher Scientific Worldwild
6. เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure Organax Catridge) รุ่น Millipak-40
7. เครื่อง GPS
8. เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux/Fc Light Meter) รุ่น LX-1330B ยี่ห้อ Ponpe
9. เครื่องวัดพีเอช (PH Meter) รุ่น 860 ยี่ห้อ Consort
10. กริดเฟรม (Grid frame) ขนาด 20 × 50 เซนติเมตร
11. ไคลโนมิเตอร์ (Clinometer)
12. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
13. ตู้อบ ยี่ห้อ Memmert
14. แผ่นกรองที่มีรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
15. ไมโครปิเปต ขนาด 100 ไมโครลิตร
16. ถุงซิปพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง
17. ปากคีบพลาสติก
18. โกร่งบดสาร
19. ตลับเมตร
20. มีดพกพา
21. เครื่องแก้วสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมี

1. สารละลายไตรเอทาโนลามีน (Triethanolamine ; TEA) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA

2. สารละลายมาตรฐานซัลเฟต (SO_4^{2-}) เข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ MEARK

3. สารละลายมาตรฐานไนเตรต (NO_3^-) เข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ MEARK

4. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ MEARK

5. สารละลายโซเดียมไฮโดเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA

6. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ (AR grade)

7. อะซีโตน (acetone) ยี่ห้อ Fisher Scientific เกรดวิเคราะห์ (AR grade)

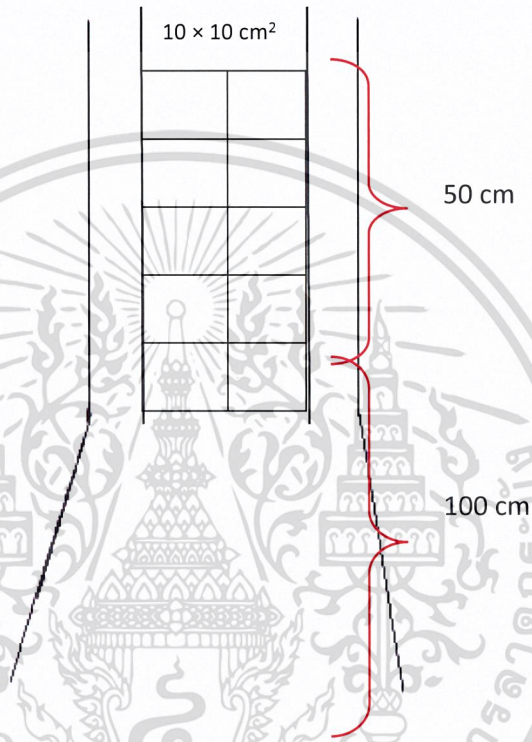
8. น้ำความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การสำรวจไลเคนในจุดเก็บตัวอย่าง

โดยการใช้กริดเฟรม (Grid frame) ขนาด 20 × 50 เซนติเมตร ซึ่งแบ่งเป็น 10 ตาราง ขนาด 10 × 10 เซนติเมตร ทาบลงบนลำต้นของต้นไม้ในจุดเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงจากขอบบนของกริดเฟรม 150 เซนติเมตร เหนือระดับพื้นดิน



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของกริดเฟรมสำหรับสำรวจไลเคน (Verein Deutscher Ingenieure, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเก็บตัวอย่างไลเคน

การเก็บตัวอย่างไลเคนต้องเก็บด้วยความระมัดระวัง เพราะไลเคนมีการเจริญเติบโตที่ช้ามาก ซึ่งก่อนเก็บตัวอย่างเราควรจะทำการถ่ายรูปของไลเคน เพื่อจะได้นำมาเปรียบเทียบสีที่แท้จริง เมื่อมีการเก็บตัวอย่างมาแล้ว สีของไลเคนอาจเปลี่ยนแปลงตามสภาพ และการถ่ายรูปจะต้องมีไม้บรรทัดเทียบขนาด เพราะจะได้รู้ขนาดที่แท้จริงของไลเคน

3.4.3 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ

1. ตัดกระดาษกรองเซลลูโลสตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดเก็บตัวอย่าง แช่ในน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) วางในอ่างอัลตราโซนิคเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแช่ทิ้งไว้ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นอบกระดาษที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนกว่ากระดาษกรองจะแห้ง แล้วเก็บใส่ถุงซิปพลาสติก จากนั้นนำไปใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์

2. นำหลอดเก็บตัวอย่างอากาศมาทำความสะอาด และใส่น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงในหลอดเก็บตัวอย่าง ปิดฝาให้สนิท แช่น้ำเอาไว้จนกว่าจะนำหลอดเก็บตัวอย่างไปใช้งาน

3.4.4 การเตรียมตัวกลางดูดซับ

1. การเตรียม TEA 20% (v/v) ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water)

- ปิเปต TEA 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
- เติมน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง 20 มิลลิลิตร ลงไป เขย่าให้เข้ากัน
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง จนถึงขีดบอกปริมาตร

2. นำกระดาษกรองที่เตรียมไว้มาบรรจุลงหลอดเก็บตัวอย่าง ปิเปต TEA 20% (v/v) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรอง

3. ปิดฝาหลอดเก็บตัวอย่างให้สนิท เก็บอุปกรณ์ในถุงซิปพลาสติก

3.4.5 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

- นำหลอดเก็บตัวอย่างอากาศพลาสติก ภายในหลอดบรรจุกระดาษกรองที่ชุบด้วย TEA 20% (v/v) ซึ่งเป็นตัวดูดซับ จากนั้นนำหลอดเก็บตัวอย่างอากาศไปติดในกล่องบรรจุที่มีขนาด 5 × 6 × 5 เซนติเมตร 1 กล่องจะบรรจุหลอดเก็บอากาศ 4 หลอดซึ่งเป็นแบลงค์ 1 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

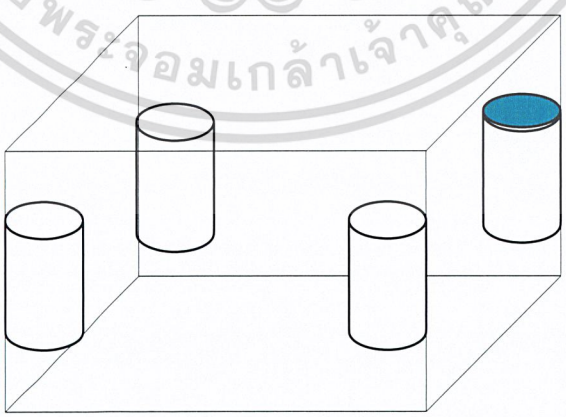
- สำหรับด้านข้างของกล่องจะถูกเจาะรูผูกติดกับเส้นลวด แล้วนำไปผูกติดกับต้นไม้ที่จะทำการศึกษา โดยแขวนอุปกรณ์ดังกล่าวสูงจากพื้นดินประมาณ 1.50 เมตรทั้ง 14 จุดเก็บตัวอย่าง เนื่องจากที่ระดับความสูงนี้มนุษย์สามารถสูดเอาอากาศเข้าไปหายใจได้

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ

- เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน หลังจากวันที่ติดตั้งอุปกรณ์แล้ว ทำการเก็บหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ และปิดฝาหลอดเก็บตัวอย่างอากาศให้สนิท นำหลอดบรรจุลงถุงซิปพลาสติก และเก็บรักษาตัวอย่างอากาศในตู้เย็นเพื่อรอนำไปวิเคราะห์ต่อไป

- สำหรับการทำแบลงค์

ติดตั้งไว้ในตำแหน่งเดียวกับ sample และปิดฝาขวดเก็บตัวอย่างอากาศ



รูปที่ 3.5 ภายในของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ปิเปตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) จำนวน 4 มิลลิลิตรลงในหลอดเก็บตัวอย่าง เขย่า 2 – 3 ครั้ง สกัดในอ่างอัลตราโซนิคนาน 15 นาที

2. กรองด้วยแผ่นกรองที่มีรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

3.ทำแบลงค์โดยเตรียมหลอดพาสซีพที่ไม่เปิดรับสัมผัสอากาศ และทำเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง

4. นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ฉีดเข้าเครื่องเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ โดยตัวอย่างที่เตรียมไว้ต้องทำการวิเคราะห์ทันที

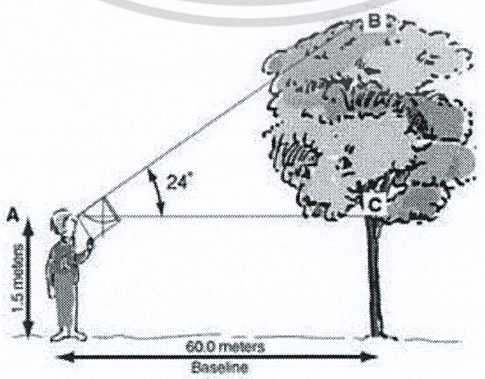
3.4.7 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

3.4.7.1 วัดเส้นรอบวงของต้นไม้

วัดเส้นรอบวงของต้นไม้ที่สำรวจพบไลเคน (จุดเดียวกับบริเวณที่แขวนกล่องเก็บตัวอย่างอากาศ) ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด ที่ระดับความสูง 1.50 เมตร เหนือพื้นดิน โดยใช้ตลับเมตรชนิดวัดผ้าในการวัด

3.4.7.2 วัดความสูงของต้นไม้

วัดความสูงของต้นไม้ที่สำรวจพบไลเคน (จุดเดียวกับบริเวณที่แขวนกล่องเก็บตัวอย่างอากาศ) ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด โดยใช้ไคลโนมิเตอร์ (Clinometer)



รูปที่ 3.6 วิธีการใช้ไคลโนมิเตอร์ (Clinometer) วัดความสูงของต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7.3 ค่าพีเอชของเปลือกไม้

เก็บเปลือกไม้จากจุดเก็บตัวอย่างอากาศที่มีระยะห่างจากไลเคน 2 - 3 มิลลิเมตร และมีความสูงจากจุดเก็บเปลือกไม้ถึงพื้นดิน 1.50 เมตร โดยใช้มีดแบบพกพาในการเก็บเปลือกไม้เก็บรักษาไว้ในถุงซิปพลาสติก จากนั้นนำไปบดด้วยโกร่งบดสารให้มีความละเอียดพอประมาณ นำตัวอย่างของเปลือกไม้ที่บดแล้วมา 1 กรัม แช่ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) 15 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้ววัดค่าพีเอชของตัวอย่างเปลือกไม้ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)

3.4.7.4 ลักษณะของเปลือกไม้

คุณสมบัติของเปลือกไม้มีผลต่อรูปแบบการแพร่กระจายพันธุ์ของไลเคน โดยจากพื้นที่ที่ได้ทำการสำรวจจะเห็นได้ว่ามีต้นไม้มากมายหลายพันธุ์ ซึ่งแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะของเปลือกไม้ที่แตกต่างกันออกไป มีทั้ง ผิวเรียบ ผิวขุระ แตกเป็นร่อง ลักษณะที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลต่อชนิดของไลเคน

3.4.7.5 วัดค่าความเข้มของแสง

วัดค่าความเข้มของแสงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด ในช่วงเวลาเช้า กลางวัน และเย็น ด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Lux/Fc Light Meter) แล้วนำมาหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างต่อวัน

3.4.7.6 อุณภูมิ

วัดอุณหภูมิบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ในช่วงก่อนเก็บตัวอย่าง และหลังเก็บตัวอย่าง ทั้ง 14 จุด ด้วยเทอร์โมมิเตอร์

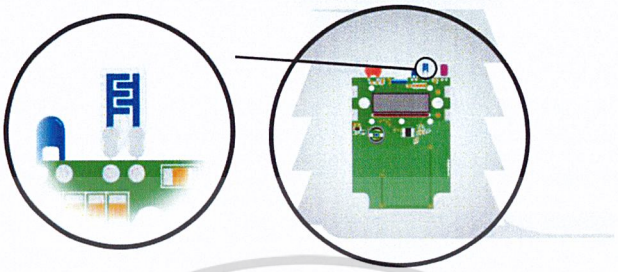
3.4.7.7 ความดันบรรยากาศ

วัดอุณหภูมิจากบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ในช่วงก่อนเก็บตัวอย่าง และหลังเก็บตัวอย่าง ทั้ง 14 จุด ด้วยบารอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7.8 ความชื้นสัมพันธ์

ข้อมูลจากสถานีตรวจสภาพอากาศ เขตจตุจักร

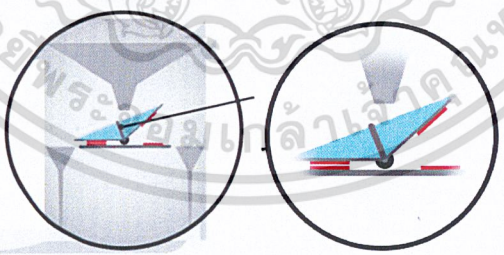


รูปที่ 3.7 เซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดค่าความชื้นในบรรยากาศ

เซ็นเซอร์มีชั้นไดอิเล็กตริกที่ดูดซับโมเลกุลของน้ำจากอากาศผ่านอิเล็กโทรดโลหะบาง ๆ สิ่งนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความจุและบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนในความชื้นสัมพัทธ์ เซ็นเซอร์ความชื้นมักติดตั้งอยู่ถัดจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิเพื่อให้แน่ใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งใช้ในการคำนวณจุดน้ำค้าง

3.4.7.9 ปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลจากสถานีตรวจสภาพอากาศ เขตจตุจักร



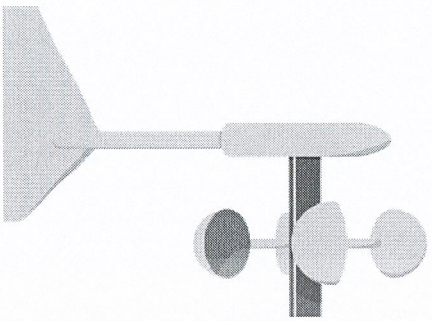
รูปที่ 3.8 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge)

มีเซ็นเซอร์วัดน้ำฝนที่เก็บและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝน สามารถเทน้ำทิ้งได้อัตโนมัติ และส่งข้อมูลแบบไร้สายได้ไกลมากกว่า 100 เมตรจากหน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7.10 ความเร็วลมและทิศทาง

ข้อมูลจากสถานีตรวจสภาพอากาศ เขตจตุจักร



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

โดยการนำถ้วยจำนวน 3 หรือ 4 ใบติดกับแขนในแนวนอน โดยแขนในแนวนอนจะติดกับแกนแนวตั้ง เมื่อลมพัดผ่านถ้วยจะทำให้แกนหมุน เมื่อลมพัดแรงจะทำให้แกนหมุนเร็วขึ้น จำนวนรอบของการหมุนของแกนจะถูกนำมาใช้คำนวณหาความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ศึกษาชนิดของไลเคนที่พบบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง วัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร ซึ่งกำหนดจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 จุด โดยระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 3 เดือน คือ เดือนกันยายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2562 ผลวิจัยสรุปได้ดังนี้

4.1 การศึกษาปัจจัยทางกายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคน

ในการศึกษาปัจจัยทางกายภาพ เพื่อต้องการทราบถึง ปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคนในสวนจตุจักร โดยศึกษา พีเอชของเปลือกไม้ ลักษณะของเปลือกไม้ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน เส้นรอบวงของต้นไม้ และความสูงของต้นไม้

4.1.1 พีเอชของเปลือกไม้

จากการทดสอบค่าพีเอชของเปลือกไม้บริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด ดังตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าพีเอชของเปลือกไม้อยู่ในช่วง 4.79 – 5.89 ซึ่งจากงานวิจัยของหน่วยวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2555) พบว่า ค่าพีเอชของเปลือกไม้ที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของไลเคนอยู่ในช่วง 4 - 6 ทำให้ทราบว่า พีเอชของเปลือกไม้อยู่ในชวงที่เหมาะสม หากค่าพีเอชของเปลือกไม้มีความเป็นกรด – ด่างสูงมากไปกว่านี้ จะไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของไลเคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ลักษณะของเปลือกไม้

พื้นที่อาศัยของไลเคน ต้องเป็นเปลือกไม้ที่มีลักษณะคงทน พื้นผิวของเปลือกไม้ที่พบไลเคนมากที่สุด คือ เปลือกไม้แบบเรียบ รองลงมาเป็นเปลือกแบบสะเก็ด เปลือกแบบแตกเป็นร่องลึกตามยาว และเปลือกแบบคอร์กหนา พบว่ากลุ่มของครัสโตส จะชอบขึ้นบนเปลือกไม้เรียบ ส่วนกลุ่มของโฟลิโอส จะขึ้นได้ดีบนเปลือกไม้หยาบหรือขรุขระ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบของเปลือกไม้มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคน จากการศึกษา พบไลเคนในจุดที่ 2, 5, 10, 11, 12 และ 14 ซึ่งเปลือกไม้ในแต่ละจุดเป็นเปลือกไม้ที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของไลเคน

4.1.3 ความเข้มแสง (Light Intensity)

จากการศึกษาวัดความเข้มแสงบริเวณโดยรอบสวนสาธารณะจตุจักร ดังตารางที่ 4.1 พบว่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง $7.8 \times 10^3 - 1.2 \times 10^4$ ลักซ์ ซึ่งจากงานวิจัยของหน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง (2555) พบว่า ความเข้มแสงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง $5.8 \times 10^5 - 1.5 \times 10^6$ ลักซ์ทำให้ทราบว่าช่วงของความเข้มแสงที่วัดได้ต่ำกว่าช่วงความเข้มแสงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของไลเคน

4.1.4 อุณหภูมิ (Temperature)

ช่วงระยะที่ทำการศึกษาเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 3 ครั้ง อยู่ในช่วงเดือนกันยายน เดือนตุลาคม และ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละเดือน ดังนี้
เดือนกันยายน พ.ศ. 2562 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.23-32.16 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 28.88องศเซลเซียส
เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.98–31.27 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 29.46 องศเซลเซียส
เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.33-30.15 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 28.61 องศา-เซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจากงานวิจัยของหน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง (2555) พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสม คือ 15 - 30 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิ ที่ได้จากการศึกษาอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ข้อมูลจากสถานีตรวจสภาพอากาศ เขตจตุจักร ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณโดยรอบสวนสาธารณะจตุจักรในช่วงเดือนกันยายนเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 48 - 73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากงานวิจัยของสำนักความหลากหลายทางชีวภาพพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่เหมาะสมต้องมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์จากการศึกษายังไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เนื่องจากสภาวะแวดล้อมโดยรอบสวนสาธารณะจตุจักร มีการจราจรที่หนาแน่นตลอดเวลา และกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ ส่งผลให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาดังรูปที่ ต-1 (ภาคผนวก) ดังรูปที่ ต-2 (ภาคผนวก) และดังรูปที่ ต-3 (ภาคผนวก)

4.1.6 ปริมาณน้ำฝน (Rain)

ข้อมูลจากสถานีตรวจสภาพอากาศ เขตจตุจักร ปริมาณน้ำฝนบริเวณโดยรอบสวนสาธารณะจตุจักรในช่วงเดือนกันยายนเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีปริมาณเฉลี่ยของแต่ละเดือนดังนี้

เดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 0 - 30 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝน เฉลี่ย 8.63 มิลลิเมตร

เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 0 - 30 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝน เฉลี่ย 5.98 มิลลิเมตร

เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 0 - 30 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝน เฉลี่ย 1.27 มิลลิเมตร

ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จะส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ จากการศึกษาพบปริมาณของน้ำฝนลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงเช่นเดียวกัน เป็นสาเหตุทำให้ไลเคนมีการเจริญเติบโตช้าลง หรืออาจไม่มีการเจริญเติบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 เส้นรอบวงของต้นไม้

ทำการวัดเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ทำการศึกษา ณ ระดับความสูง 1.50 เมตร เหนือพื้นดินซึ่งเป็นความสูงเดียวกับการแขวนกล่องเก็บตัวอย่างอากาศ จากการศึกษาพบว่าต้นไม้ในบริเวณที่ทำการศึกษามีเส้นรอบวงที่ไม่เท่ากันเนื่องจากชนิดของต้นไม้ และอายุของการเติบโต โดยมีเส้นรอบวงเฉลี่ย 72.29 เซนติเมตร

4.1.8 ความสูงของต้นไม้

กำหนดความสูงของต้นไม้ที่ความสูง 2 เมตรขึ้นไป เพื่อทำการติดตั้งกล่องเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับความสูง 1.50 เมตร โดยวัดความสูงของต้นไม้ด้วยไคลโนมิเตอร์ และสังเกตบริเวณที่พบไลเคนที่ความสูง 1.50 เมตร เนื่องจากที่ระดับความสูงนี้มนุษย์สามาถสูดเอาอากาศเข้าไปหายใจได้ จากการศึกษาพบว่าความสูงของต้นไม้ในบริเวณสวนสาธารณะจตุจักรมีความแตกต่างกัน เนื่องจากระยะเวลาในการเติบโตที่ไม่เท่ากัน โดยมีความสูงต้นไม้เฉลี่ย 6.97 เมตร

4.1.2.1 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมรอบบริเวณที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างอากาศ

ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทำการศึกษาคาดว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไลเคน และชนิดของไลเคนที่เกิดในบริเวณที่ศึกษา การศึกษาประกอบไปด้วยค่าพีเอชของเปลือกไม้ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีรายละเอียดเพิ่มเติมดังดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่วัดได้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

พารามิเตอร์	ช่วงที่เหมาะสม	จุดเก็บตัวอย่าง													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
พีเอชเปลือกไม้	4 - 6	5.63	5.59	5.43	5.30	5.33	4.99	4.85	5.89	4.89	5.04	5.52	4.79	4.90	4.53
ความเข้มแสง (ลักซ์)	5.8×10^5 - 1.5×10^6	4.8×10^3	5.2×10^3	6.5×10^3	1.1×10^4	6.5×10^3	6.7×10^3	5.4×10^3	4.8×10^3	7.5×10^3	7.8×10^3	4.8×10^3	6.2×10^3	4.6×10^3	1.2×10^4
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	15 – 30	30.50	30.52	30.00	30.61	30.12	30.25	30.25	30.17	30.32	29.98	30.11	30.25	30.50	30.26
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ SO_2 (ppbv)	0 - 120	5.185	5.287	8.326	53.763	54.452	53.014	48.590	31.686	34.815	20.303	23.947	84.556	95.513	46.768
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ NO_2 (ppbv)	0 - 170	2237.87	2623.54	2069.14	2379.69	2181.44	2094.79	2375.43	2179.95	2269.29	1808.64	1704.16	2399.41	2646.02	2002.63

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่วัดได้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

พารามิเตอร์	ช่วงที่เหมาะสม	จุดเก็บตัวอย่าง													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ชนิดไลเคนที่พบ			*Dirinaria applanata*			*Parmelinopsis* sp.					*Heterodermia obscurata*	*Buellia* sp.	*Buellia* sp.		*Cryptothecia* sp., *Buellia* sp.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่วัดได้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของสวนสาธารณะจตุจักรโดยรวมแล้วมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน เนื่องจากสภาพแวดล้อมของบริเวณสวนสาธารณะจตุจักรไม่ต่างกันมากในช่วงสภาวะเดียวกัน จึงสามารถพบไลเคนได้ แต่สำหรับบางจุดที่ไม่พบไลเคนอาจเนื่องมาจากปริมาณ และความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่าสูงเกินกว่าที่ไลเคนจะเจริญเติบโต

4.2 การศึกษาชนิดของไลเคนบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร

4.2.1 ชนิดของไลเคน

จากการสำรวจชนิดของไลเคนบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร พบไลเคนทั้งหมด 6 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Buellia* sp. ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.2 โดยไลเคนที่พบจัดเป็นไลเคนที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศสูง

ตารางที่ 4.2 ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด

Thallus type	วงศ์	สกุล	ชนิด
Crustose	*Arthoniaceae*	*Cryptothecia*	*Cryptothecia* sp.
	Caliciaceae	*Buellia*	*Buellia* sp.
	Caliciaceae	*Dirinaria*	*Dirinaria applanata*
Foliose	*Parmelia*	*Parmelinopsis*	*Parmelinopsis* sp.
	Physciaceae	*Heterodermia*	*Heterodermia obscurata*
	Physciaceae	*Hyperphyscia*	*Hyperphyscia adglutinata*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก)

ข)

ค)

ง)

จ)

ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ชนิดของไลเคนที่พบ

ก) *Heterodermia obscurata*

ข) *Dirinaria applanata*

ค) *Cryptothecia sp.*

ง) *Hyperphyscia adglutinata*

จ) *Parmelinopsis* sp.

ฉ) *Buellia* sp.

สำหรับการสำรวจไลเคนที่ต้นไม้ ณ จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด ทำการนับจำนวนของไลเคน โดยใช้ กริดเฟรมที่มีขนาด 20 × 50 เซนติเมตร ทาบลงบนลำต้นของต้นไม้ระดับความสูงจากขอบบน ของ กริดเฟรม 150 เซนติเมตร เหนือระดับพื้นดิน นับจำนวนของไลเคนที่มีความกว้าง 1 - 5 เซนติเมตร ที่อยู่ภาย ในกริดเฟรมเก็บตัวอย่างไลเคน ณ จุดเก็บตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์ พบไลเคน จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ *Cryptothecia* sp., *Buellia* sp., *Dirinaria applanata*, *Parmelinopsis* sp., *Heterodermia obscurata* และ*Hyperphyscia adglutinata* โดยจุดที่พบจะอยู่ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 2, 5, 10, 11, 12, 14 และในบริเวณใกล้เคียง ดังแสดงตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไลเคนที่พบในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 14 จุด (ในหน่วย Thallus)

species	จุดเก็บตัวอย่าง													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cryptothecia sp.														√
Buellia sp.											√	√		√
Parmelinopsis sp.					√									
Dirinaria applanata		√												
Heterodermia obscurata										√				
Hyperphyscia adglutinata	พบบริเวณใกล้เคียงจุดที่ 10													

เมื่อทำการนำชนิดของไลเคนที่พบมาประเมินคุณภาพอากาศจากตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคน และจากงานวิจัยของ กัณฑรีย์ บุญประกอบ (2550) แสดงให้เห็นว่า คุณภาพอากาศที่ทำการศึกษาในบริเวณสวนสาธารณะจตุจักรอยู่ในระดับพอใช้

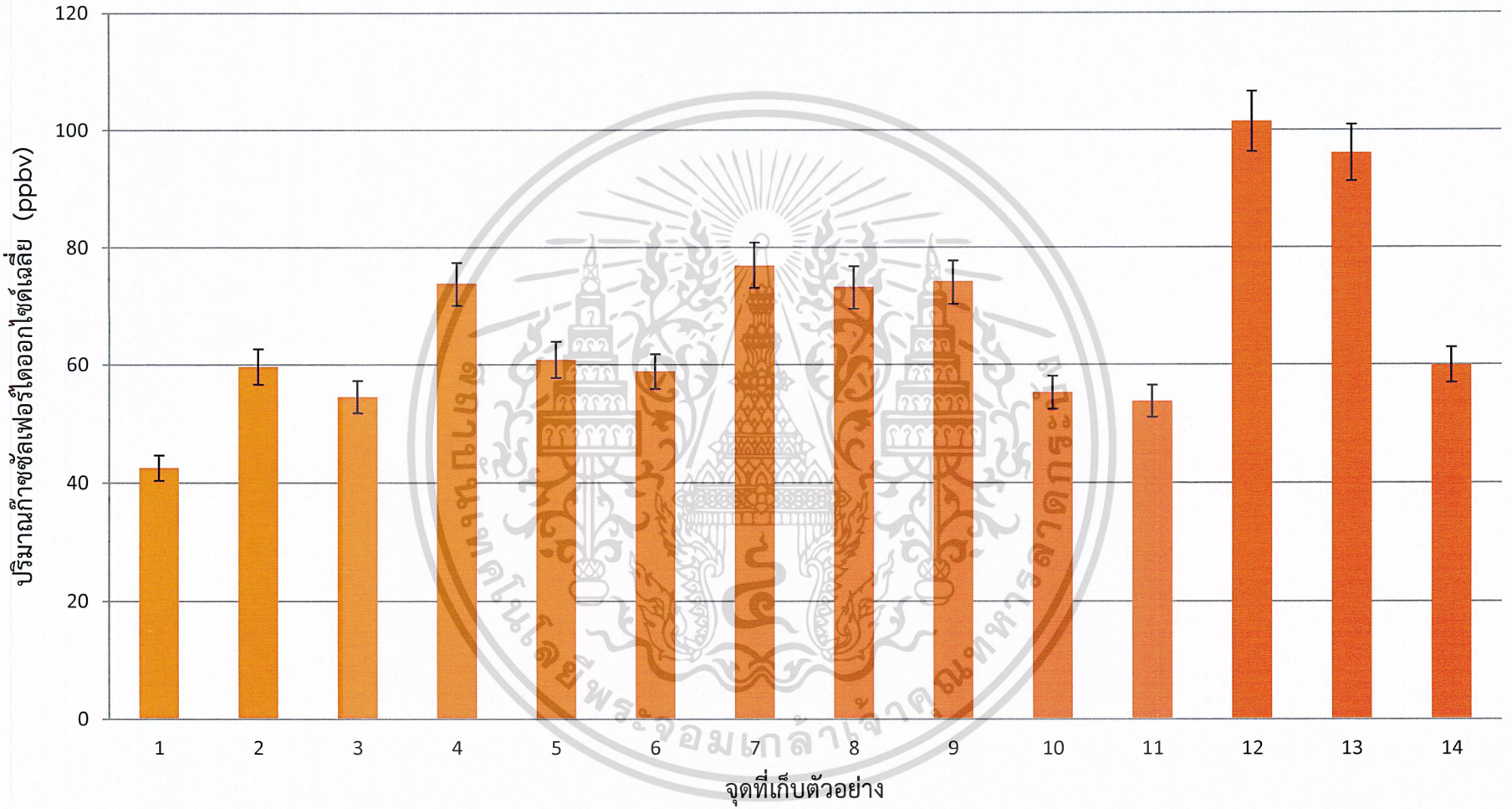
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีพ

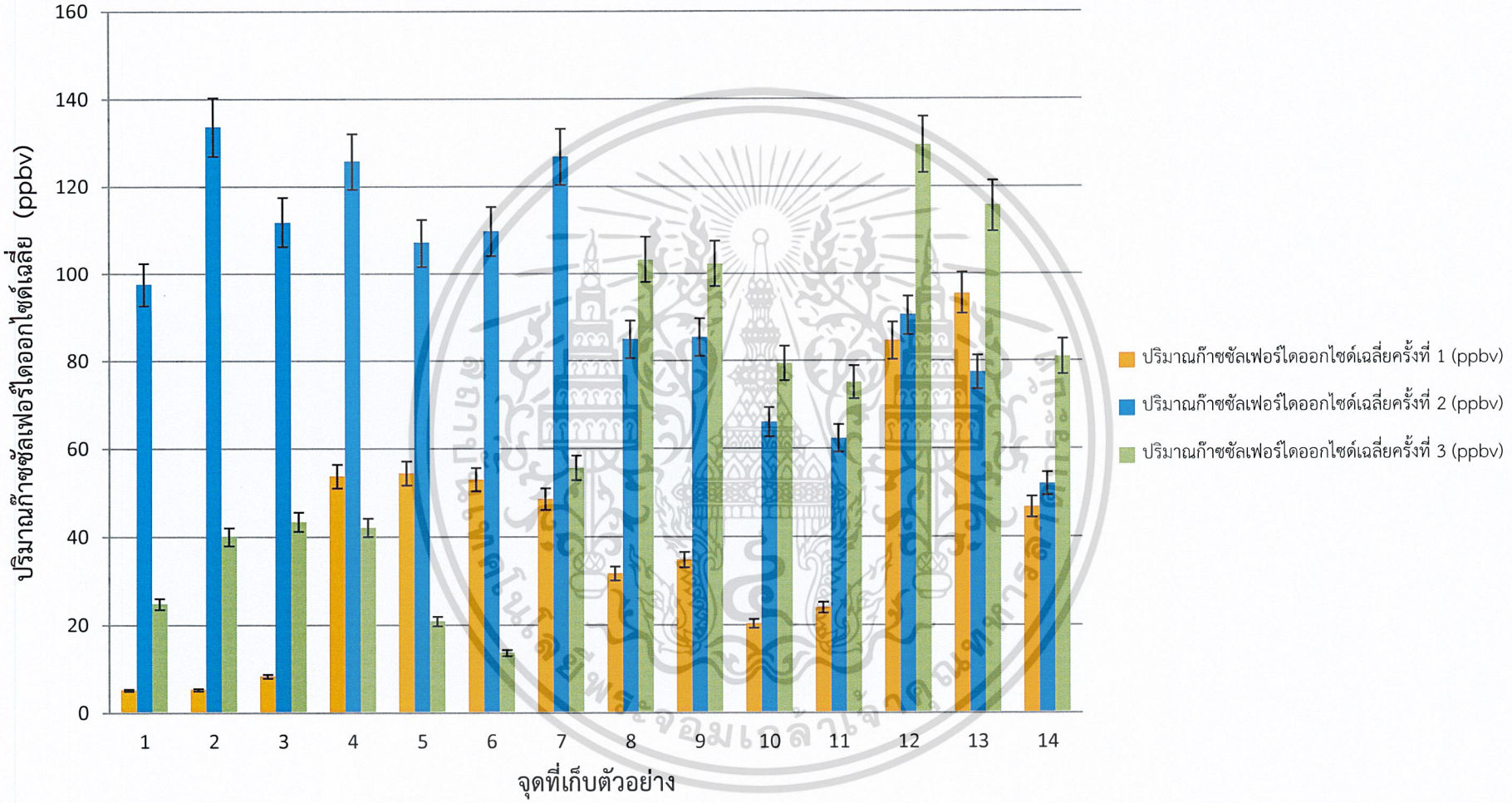
การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ โดยใช้วิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีพมีจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 จุด โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศแบบสุ่มรอบสวนสาธารณะจตุจักร ตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากหลอดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 หลอดที่บรรจุอยู่ในกล่อง (4 หลอดเก็บตัวอย่างต่อพื้นที่เก็บตัวอย่างอากาศ 1 จุด) แขวนกล่องเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน นำตัวอย่างมาสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในบริเวณที่ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน คือ เดือนกันยายน เดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้ง 14 จุดเก็บตัวอย่าง เฉลี่ยทั้งหมด คือ 67.24 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbv) ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยรวมของทั้ง 3 ครั้ง



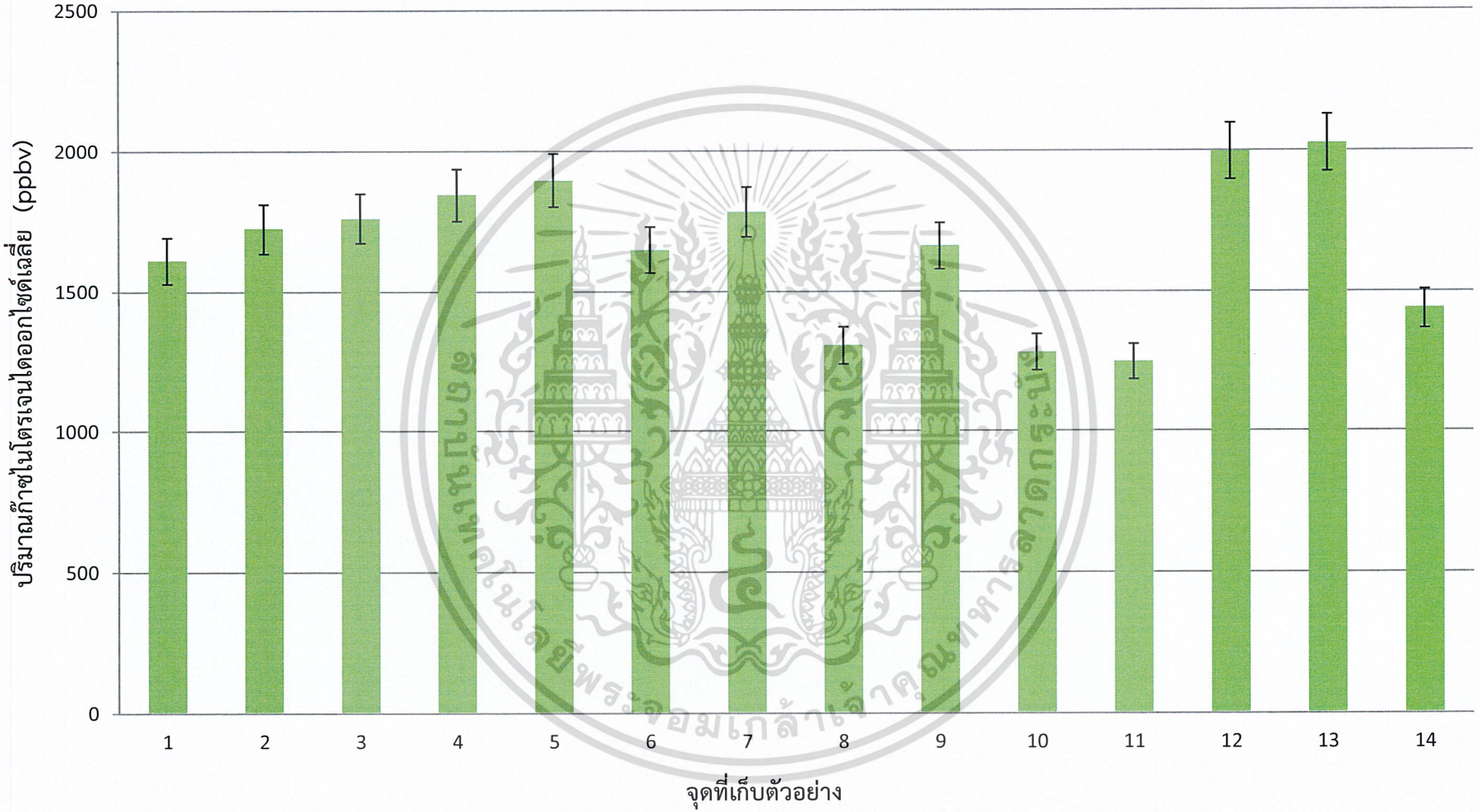
รูปที่ 4.3 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่าง 14 จุด ทั้ง 3 ครั้ง

4.4 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีพ

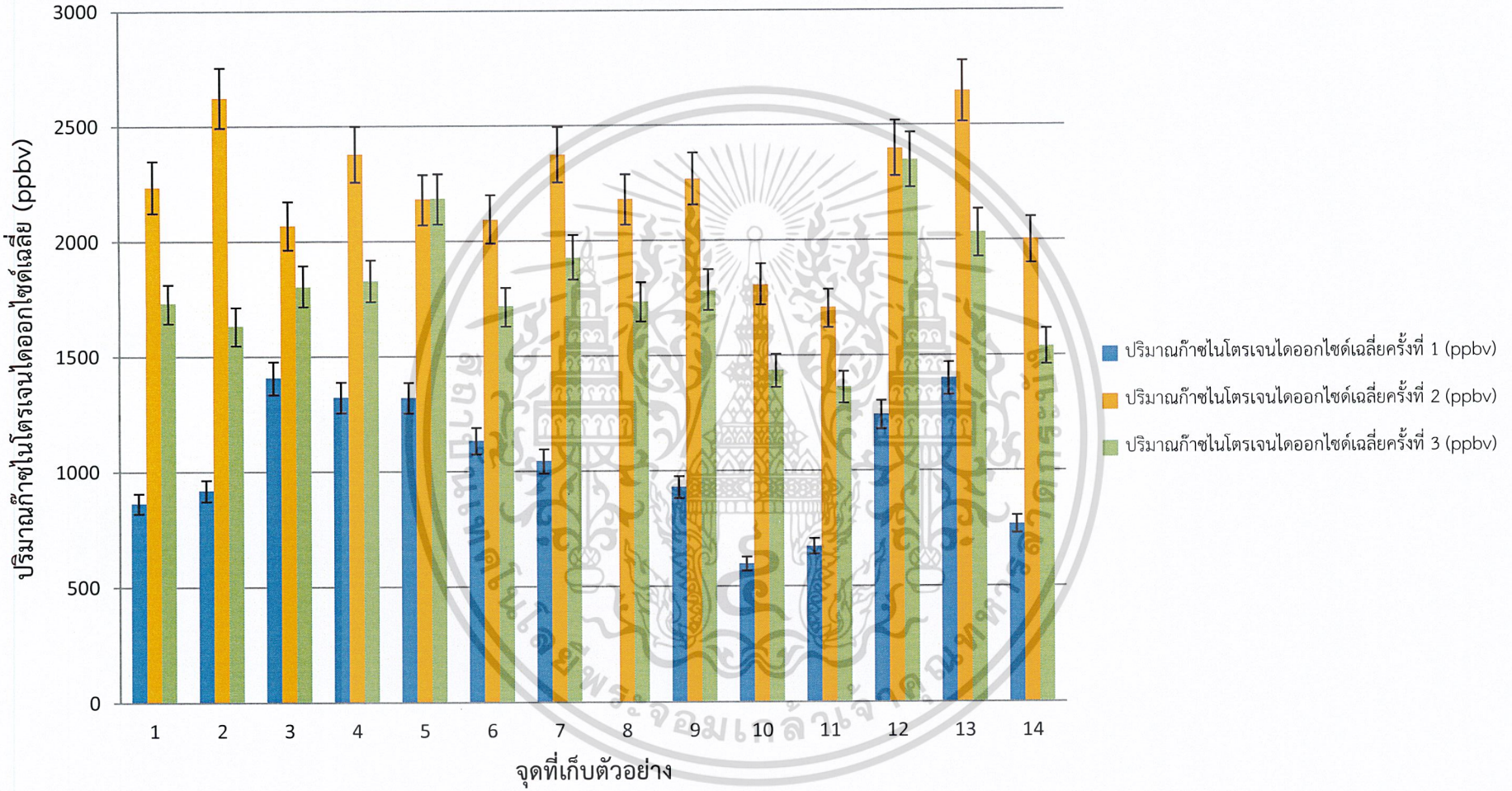
การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ โดยใช้วิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีพมีจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 จุด โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศแบบสุ่มรอบสวนสาธารณะจตุจักร ตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากหลอดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 หลอดที่บรรจุอยู่ในกล่อง (4 หลอดเก็บตัวอย่างต่อพื้นที่เก็บตัวอย่างอากาศ 1 จุด) แขวนกล่องเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน นำตัวอย่างมาสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบริเวณที่ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน คือ เดือนกันยายน เดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้ง 14 จุดเก็บตัวอย่าง เฉลี่ยทั้งหมด คือ 1657.89 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbv) ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรวมของทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.5 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่าง 14 จุด ทั้ง 3 ครั้ง

4.5 เปรียบเทียบจำนวนไลเคนที่พบกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

เมื่อทำการนำชนิด และจำนวนไลเคนมาเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เพื่อประเมินคุณภาพอากาศของสวนสาธารณะจตุจักร ดังตารางที่ 4.4 สามารถบอกได้ว่า

จุดเก็บตัวอย่างที่พบไลเคน คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2, 5, 10, 11, 12 และ 14 พบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5.287, 54.452, 20.303, 23.947, 84.556 และ 46.768 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbv) ตามลำดับ พบไลเคนชนิดทนทานต่อมลพิษ จะเห็นได้ว่าจุดที่ 12 เป็นจุดที่ติดกับลานจอดรถ จึงพบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่มาก

จุดเก็บตัวอย่างที่พบไลเคน คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2, 5, 10, 11, 12 และ 14 พบปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 2623.54, 2181.44, 1808.64, 1704.16, 2399.41 และ 2002.63 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbv) ตามลำดับ พบไลเคนชนิดทนทานต่อมลพิษ จะเห็นได้ว่าจุดที่ 2 อยู่ใกล้บริเวณถนน จึงพบ NO_x ที่เกิดจากควันเสียของรถยนต์

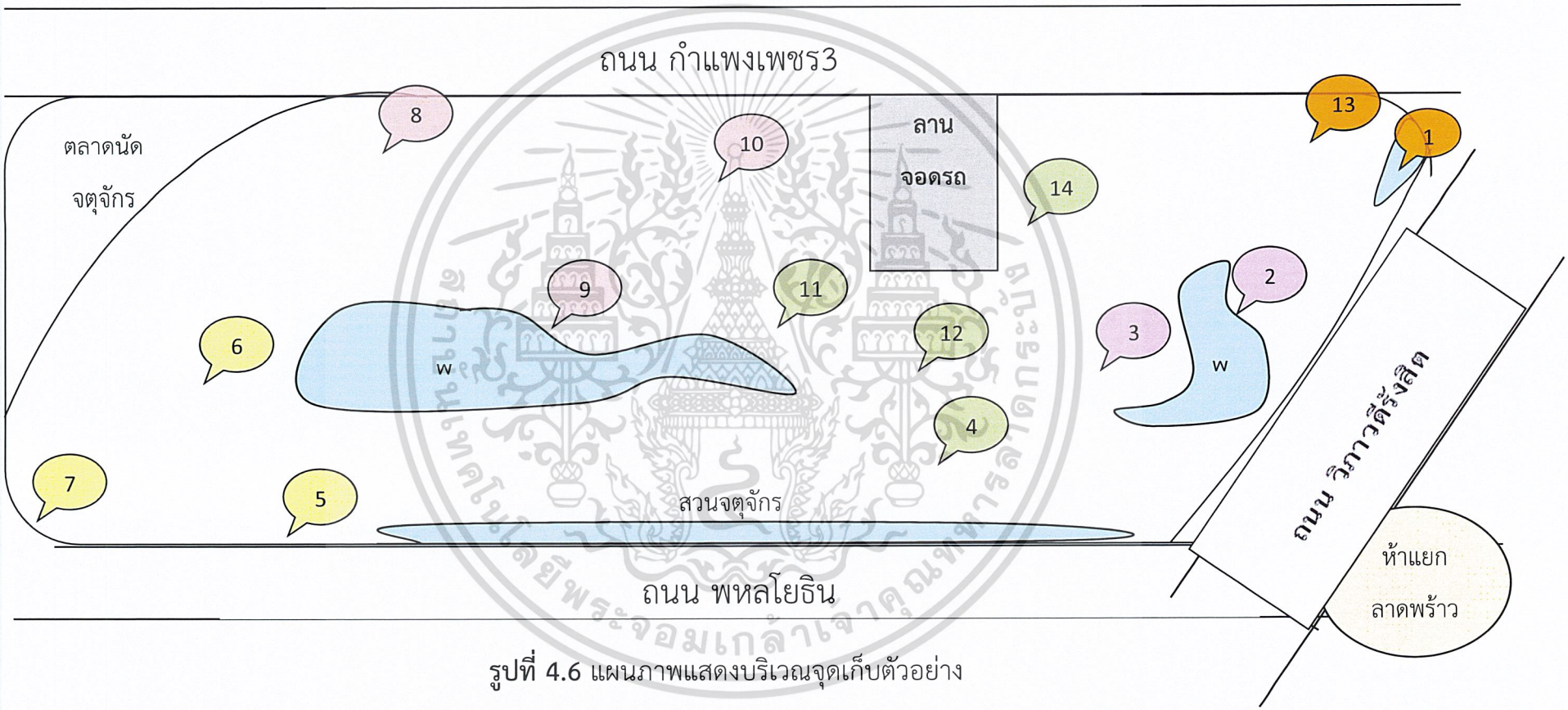
จุดเก็บตัวอย่างที่ไม่พบไลเคนคือ 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9 และ 13 ยังไม่สามารถบอกได้ว่าคุณภาพอากาศบริเวณจุดเก็บตัวอย่างนั้นดี หรือไม่ดี เนื่องจากไม่สามารถตรวจชนิดของไลเคนที่เกิดขึ้นบนจุดเก็บตัวอย่างได้ เพราะไลเคนอาจตายก่อนที่จะทำการศึกษา หรืออาจไม่เกิดขึ้นเลย ทำให้ไม่มีไลเคนมาทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ชนิดของไลเคนกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 14 จุด

Species	จุดเก็บตัวอย่าง													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cryptothecia sp.														√
Buellia sp.											√	√		√
Parmelinopsis sp.					√									
Dirinaria applanata		√												
Heterodermia obscurata										√				
Hyperphyscia adglutinata	พบบริเวณใกล้เคียงจุดที่ 10													
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ SO_2 (ppbv)	5.185	5.287	8.326	53.763	54.452	53.014	48.590	31.686	34.815	20.303	23.947	84.556	95.513	46.768
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ NO_2 (ppbv)	2237.87	2623.54	2069.14	2379.69	2181.44	2094.79	2375.43	2179.95	2269.29	1808.64	1704.16	2399.41	2646.02	2002.63

4.6 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ตามการจัดแบ่งโซน



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

โซน A ได้แก่ จุด 5, 6 และ 7 บริเวณด้านหน้าสวนสาธารณะจตุจักร ติดกับถนน พหลโยธิน
โซน B ได้แก่ จุด 8, 9 และ 10 บริเวณด้านหลังสวนสวนสาธารณะจตุจักร ติดกับถนน กำแพงเพชร 3
โซน C ได้แก่ จุด 4, 11, 12 และ 14 บริเวณกลางสวนสวนสาธารณะจตุจักร และใกล้ลานจอดรถ
โซน D ได้แก่ จุด 2 และ 3 บริเวณทิศเหนือของสวนสาธารณะจตุจักร
โซน E ได้แก่ จุด 1 และ 13 บริเวณติดกับถนน วิภาวดีรังสิต

จากการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบค่าเฉลี่ยในช่วง 55.00 – 75.00 ppbv ดังนี้ C > E > B > A > D ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละโซนพบว่า โซน C, E และ B มีค่าเฉลี่ย 72.50, 69.50 และ 67.33 ppbv ตามลำดับ เป็นกลุ่มโซนที่มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาก เนื่องจากบริเวณโซนนี้ เป็นตำแหน่งถนน กำแพงเพชร 3 และมีลานจอดรถภายในสวนสาธารณะ ทำให้ได้รับ SO_2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์ โซน A มีค่าเฉลี่ย 65.67 ppbv เป็นโซนที่ได้รับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการสัญจรของรถยนต์บนท้องถนน พหลโยธิน โซน D มีค่าเฉลี่ย 57.50 ppbv เป็นโซนที่มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยที่สุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ไม่ได้ติดถนน และลานจอดรถจึงทำให้ได้รับ SO_2 น้อยกว่าโซน อื่น ๆ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ พบค่าเฉลี่ยในช่วง 1400.00 – 1800.00 ppbv ดังนี้ A > D > C > E > B ตามลำดับ โซน A, D และ C มีค่าเฉลี่ย 1774.86, 1741.70 และ 1630.40 ppbv เป็นโซนที่มีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มาก เนื่องจากบริเวณโซนนี้เป็นตำแหน่งบริเวณหน้าสวนสาธารณะ ทำให้ได้รับ NO_2 มาจากการสัญจรของรถยนต์ และ สิ่งปลูกสร้างจากบริเวณโดยรอบ ถนนพหลโยธิน โซน E และ B มีค่าเฉลี่ย 1522.51 และ 1414.94 ppbv เป็นโซนที่มีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์น้อย เนื่องจากบริเวณโซนนี้อยู่ทางด้านหลังสวนสาธารณะ ทำให้ได้รับ NO_2 จากการสัญจรของรถยนต์ และ สิ่งปลูกสร้างน้อยกว่า

โดยการเก็บตัวอย่างก๊าซทั้ง 2 ชนิด ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ และระยะเวลาเก็บที่เท่ากัน คือ ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ ในช่วงเช้าวันศุกร์ จนครบระยะเวลา 10 วัน จะทำการเก็บชุดอุปกรณ์ ในช่วงเช้าวันจันทร์ถัดมา ทำการเก็บเป็นระยะเวลา 3 ครั้ง โดยในแต่ครั้งจะมีช่วงวันเสาร์ และอาทิตย์จำนวน 2 ครั้ง ทำให้การเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้งมีความคล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสำรวจไลเคน

โซน A พบไลเคน จำนวน 1 ชนิด ได้แก่ *Parmelinopsis* sp. ที่บริเวณ จุดที่ 5

โซน B พบไลเคน จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ *Heterodermia obscurata* ที่บริเวณ จุดที่ 10 และ *Hyperphyscia adglutinata* บริเวณใกล้เคียง

โซน C พบไลเคน จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ *Cryptothecia* sp. ที่บริเวณ จุดที่ 14 และ*Buellia* sp. ที่บริเวณ จุดที่ 11, 12, และ 14

โซน D พบไลเคน จำนวน 1 ชนิด ได้แก่ *Dirinaria applanata* ที่บริเวณ จุดที่ 2

โซน E ไม่พบไลเคน

สำหรับการทำการศึกษา เป็นระยะเวลาตั้งแต่เดือน กันยายน – พฤศจิกายน 2562 พบว่าในระยะเวลาที่น้อย สามารถใช้ไลเคนบ่งชี้คุณภาพอากาศได้ระเบื้องต้น จึงควรทำการตรวจสอบคุณภาพอากาศ เพื่อหาปริมาณมลพิษในอากาศควบคู่กับการสำรวจไลเคน จึงจะได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ และ ชัดเจน หากอยากทราบ การใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ โดยที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ราคาแพง และประหยัดค่าใช้จ่ายในการหาก๊าซมลพิษ ควรต้องทำการศึกษาอย่างน้อย 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร

5.1.1 การศึกษาชนิดปริมาณของไลเคนและปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร

พบชนิดของไลเคนบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร ทั้งหมด 4 วงศ์ (Family) 6 สกุล (Genus) 6 ชนิด (Species) ชนิดของไลเคนที่พบ คือ *Cryptothecia sp.*, *Buellia* sp., *Dirinaria applanate*, *Parmelinopsis* sp., *Heterodermia obscurata* และ *Hyperphyscia adglutinata* ไลเคนชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Buellia* sp. ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมดจัดอยู่ในกลุ่มครัสโตส และโฟลิโอส ซึ่งเป็นไลเคนชนิดที่มีความทนทานสูง

สภาพพื้นที่บริเวณโดยรอบซึ่งเป็นพื้นที่ภายในสวนสาธารณะจตุจักร ประกอบไปด้วยต้นไม้สูงใหญ่เรียงหนาแน่นเป็นบางช่วงสลับกับพื้นหญ้า ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคน ทั้งจุดเก็บตัวอย่าง 14 จุด ไลเคนสามารถเจริญเติบโตบนเปลือกไม้ที่มีลักษณะผิวเรียบ ผิวค่อนข้างเรียบและผิวขรุขระ และจากการศึกษา ค่าพีเอชของเปลือกไม้ และอุณหภูมิ พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน พบว่าอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 2.2 การประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคนแสดงให้เห็นว่า คุณภาพอากาศที่ทำการศึกษาในบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร อยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างที่พบไลเคนเป็นชนิดทนทานมลพิษ ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่ไม่พบไลเคนนั้นเป็นเพราะ ไลเคนมีการเจริญเติบโตช้า ไลเคนอาจตายก่อนทำการศึกษา หรือตายในช่วงเวลาที่กำลังทำการศึกษา ทำให้ไม่สามารถเก็บไลเคนมาวิเคราะห์ และนับจำนวนได้ในบางจุดเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีพ

ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 43 – 102 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbv) และจุดเก็บตัวอย่างที่ 12 พบว่า มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากที่สุด

ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1245.91 – 2026.19 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (ppbv) และจุดเก็บตัวอย่างที่ 13 พบว่า มีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มากที่สุด

เมื่อนำปริมาณก๊าซทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ พบว่าในระยะเวลา 10 วัน ค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อยู่ในเกณฑ์ปานกลางเมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 วัน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในเกณฑ์อันตรายเมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1 ชั่วโมง และสามารถบอกได้ว่าบริเวณสวนสาธารณะจตุจักร มีคุณภาพอากาศพอใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสำรวจไลเคนควรทำการถ่ายภาพทุกครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อเป็นการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของไลเคน เนื่องจากสภาพแวดล้อมสามารถทำให้ไลเคนเปลี่ยนแปลงได้

2. การวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ควรทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นระยะเวลา 1 ปี เพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น

3. การวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ควรทำการตรวจเช็คเป็นประจำทุกวันในช่วงระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง หรือหากสามารถทำการวัดค่าพารามิเตอร์ด้วยตนเองได้ จะทำให้ได้ค่าที่แท้จริงของจุดที่ทำการศึกษา

4. ควรเลือกติดตั้งชุดอุปกรณ์บนต้นที่มีไลเคน และควรเป็นต้นไม้ชนิดเดียวกัน

5. ควรเพิ่มความเข้มข้นของการทำกราฟมาตรฐาน และควรเจือจางสารตัวอย่างค่าไม่เกินความเข้มข้นของกราฟมาตรฐาน

6. ควรทำค่าตันของอากาศ (Breakthough)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. **มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ**. [Online]. Available : http://www.pcd .go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html

กรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม. **ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.** [Online]. Available : https://www.deqp.go.th/knowledge

กรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม. **ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.** [Online]. Available : http://www.orangeth.com/GasArticles

จันทร์พิมพ์, พรพรรณ และ สิธยา. 2555. **"การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะลาดกระบัง(สวนพระนคร)"**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

จุฑารัตน์. 2555. **ไลเคน:ตัวชี้วัดคุณภาพอากาศทางชีวภาพ**. [Online]. Available : http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item

ชวัลรัตน์ สมนึก, วสันต์ เพิงสูงเนิน, ณมนรัก คำฉัตร และกอบกุล นงนุช. 2560. "ไลเคนบริเวณเส้นทางศึกษาธรรมชาติในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี". **วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 45(1) : 193-199.

ชัยวัฒน์ บุญเพ็ง, ชุติมา ศรีวิบูลย์ และกัณฑรีย์ บุญประกอบ. 2561. การประเมินคุณภาพอากาศในสวนสาธารณะในกรุงเทพมหานครด้วยไลเคน. **วารสารสิ่งแวดล้อม**. 2(3) : 56-64.

ชุมพล โชติกา และปริญญา. 2554. **"การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง"**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

ชูติมา ศรีวิบูลย์. 2546. **การวิเคราะห์โดยเครื่องมือโครมาโทกราฟี = Analysis by chromato gramphic instruments HPLC IC GC**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ดวงพร เอี่ยมสำอาง. 2556. **"การศึกษาความหลากชนิดของไลเคนส์ต่อรูปแบบของเปลือกไม้ในแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศป่าเขาภูหลวงจังหวัดนครราชสีมา"**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาวิทยาศาตร์ชีวภาพป่าไม้, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศวัลย์. **การแพร่ Diffusion**. [Online]. Available : webstaff.kmutt.ac.th › tasapun › PHY321

พิทักษ์พงษ์ คมพุดซา. **ผลกระทบของสารมลพิษ ทางอากาศ.** [Online]. Available : https://il.mahidol.ac.th › ecology › chapter2 › chapter2_airpolution

มูลนิธิโลกสีเขียว. **คู่มือฉบับทดสอบ นักสืบสายลม สำรวจไลเคนกรุงเทพ.** 2553. กรุงเทพ : สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิชย์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิรงรอง ดวงใจ. 2558. “ความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของไลเคนกับชนิดไม้ บริเวณแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก”. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**. 7(14) : 25-39.

ศูนย์วิจัยความหลากหลายทางชีวภาพ เฉลิมพระเกียรติ72 พรรษาบรมราชินีนาถ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 2559. **ไลเคนในหุบเขาลำพญา**. ยะลา : มีเดีย เฮ้าส์.

สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (สวทช.). 2537. **การดำรงชีวิตของไลเคน**. [Online]. Available : http://www.sesa10.go.th/e-learning/biology/contents/1lichen/page_1.8.html

สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. 2562. **ระบบตรวจสภาพอากาศ**. [Online]. Available : http://weather.bangkok.go.th/weather

สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 2560. **วงจรชีวิตของไลเคน.** [Online]. Available : http://fbd.forest.go.th/th/wp-content/uploads/2017/11/6_Lichen.pdf

สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 2560. **ป่าน้ำเปี๊ยย ป่าน้ำหย่วน และป่าน้ำลาว**. พะเยา : สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 2560. **โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ.** [Online]. Available : http://aiwaiw0033.blogspot.com/

หนูเดือน เมืองแสน. 2556. **“การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณโดยรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจังหวัดระยอง”**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Anonymous. ***Menegazzia pertransita*.** [Online]. Available : http://arhivach.ng/thread/361615/

Asta & Kritartha. **Heteromerous thallus.** [Online]. Available : http://www.biologydiscussion.com/botany/lichens-botany/structure-of-lichen-thallus-with-diagram/63870

Asta & Kritartha. **Heteromerous thallus.** [Online]. Available : https://www.encyclopedie-environnement.org/en/zoom/lichens-hybrid-organisms/

Ayrshire. ***Arthopyrenia halodytes.*** [Online]. Available : http://www.lichens.lastdragon.org/Collemopsidium_foveolatum.html

Craig Freudenrich. **ปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับออกไซด์ของไนโตรเจน.** [Online]. Available : https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/ozone-pollution.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Daniel. **ไลเคนสกุลเลบโตเจียม (Leptogium).** [Online]. Available : https://en.wikipedia .org/wiki/Leptogium

Dick. **วัฏจักรของซัลเฟอร์.** [Online]. Available : https://th.wikipedia.org/wiki

Haynold. ***Ramalina pollinaria.*** [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki /Usnea_filipendula

James. ***Parmelia sulcate.*** [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki /Parmelia_sulcata

Mussellav. ***Normandina pulchella.*** [Online]. Available : https://lichenportal.org /cnalh/taxa/index. php?taxon=56413&clid=1231

Nimis. ***Anemanum mularium.*** [Online]. Available : http://dryades.units.it/italic/ index.php?proceduretaxonpage&num=95

Opiola. ***Usnea filipendula.*** [Online]. Available : https://commons.wikimedia.org/ wiki/File:Ramalina_pollinaria_MS4_(1).jpg

Plant Science. **โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ**. [Online]. Available : https://www. plantscience4u.com/2014/07/difference-between-isidia-and-soredia.html

Sigma-Aldrich Pte. Ltd.. **กลไกการแพร่ของอากาศ.** [Online]. Available : https://www.sigmaaldrich.com/analytical-chromatography/air-monitoring/passive sampling.html

Smith. ***Lopadium disciforme.*** [Online]. Available : http://www.lichens.lastdragon. org/Lopadium_disciforme.html

Spjut. ***Mobergia calculiformis.*** [Online]. Available : http://www.worldbotanical.com /mobergia_calculiformis.htm

Stapper. ***Vezdaearh eocarpa.*** [Online]. Available : http://www.lichenology.info /cgibin/baseportal.phtx=atlas_frm&newId=2427&phot=VELE1521b

Tatiana. ***Cladia retipora***. [Online]. Available : https://commons.wikimedia.org/wiki /File:Cladonia_ coccifera_(8105339019).jpg

Thammakhet. **อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีพ.** [Online]. Available : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231006003682

Thompson. ***Catapyrenium cinereum.*** [Online]. Available : https://lichenportal.org /cnalh/taxa/index.php?taxon=56413&clid=1231

Tigerente. **ไลเคนสกุลคอลเล็มมา (Collema).** [Online]. Available : https://en.wikipedia .org/wiki/Collema

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tropicallichens. ***Physma byrsaem.*** [Online]. Available : https://www.tropicallichens.net/3746.html

Uherek. **กลไกระหว่างไฮดรอกไซด์กับออกไซด์กับออกไซด์ของไนโตรเจน.** [Online]. Available : https://open.uj.edu.pl/mod/page/view.php?id=1322

Weather Underground. 2562. **WeatherUndergroundThailand WeatherHistory DON MUEANG INTERNATIONAL AIRPORT STATION**. [Online]. Available : https://www.wunderground.com/history/daily/th/bangkok/VTBD

Weather Underground. 2562. **PersonalWeatherStationNetwork**. [Online]. Available : https://www.wunderground.com/pws/about

Yorkshire. ***Squaremarina cartilaginea.*** [Online]. Available : http://www.lichens.lastdragon.org/ Squamarina_cartilaginea.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ (Ion Chromatograph)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนโครมาโทกราฟ

(Ion Chromatograph, IC)

ไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatography, IC) เป็นรูปแบบหนึ่งของลิควิดโครมาโทกราฟสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) สามารถแยก และหาปริมาณไอออนอนินทรีย์ การแยกกรด และเบส สารประกอบอินทรีย์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และละลายน้ำได้ กล่าวได้ว่าเทคนิคของไอออนโครมาโทกราฟี คือเทคนิคของการใช้ ion-exchange column ที่เหมาะสมกับตัวอย่างแต่ละชนิด มีชื่อเรียกว่า HPLC (ชูติมา, 2546)

การใช้เทคนิค และวิธีการทางไอออนโครมาโทกราฟีมีข้อดีกว่าวิธีอื่น ดังนี้

- speed
- sensitivity
- selectivity
- simultaneous detection
- stability of separation column

ไอออนอนินทรีย์ที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี ถูกจัดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ไอออนบวก (cation) และไอออนลบ (anion) ดังนี้

1) ไอออนบวก ได้แก่ ไอออนของกลุ่มธาตุต่อไปนี้

1.1 ธาตุกลุ่ม 8 คือ ธาตุที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกสุดอยู่ใน s-orbital แบ่งได้เป็นธาตุ 2 ชนิด คือ หมู่ธาตุ IA โลหะอัลคาไลน์ ได้แก่ Li^{+}, Na^{+}, K^{+} และธาตุหมู่ IIA โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท ได้แก่ Ca^{2+}, Ba^{2+}, Mg^{2+} เป็นต้น สามารถแยกวิเคราะห์โดยใช้ cation exchange column แล้วตรวจวัดด้วย conductivity detector

1.2 ธาตุกลุ่ม d คือ ธาตุที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกสุดอยู่ใน d-orbital ธาตุกลุ่มนี้เรียกว่า ธาตุทรานซิชัน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโลหะหนัก ได้แก่ Cu^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{-3+}, Co^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, Mn^{2+} เป็นต้น สามารถวิเคราะห์แยกได้โดยใช้ resin ที่มีหมู่ฟังชันผสมกันระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคทไอออน และแอนไอออน ควบคู่กับการตรวจวัดด้วย UV detector โดยใช้เทคนิคของ post column derivatization

2) ไอออนลบ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1 กลุ่มฮาโลเจน ธาตุกลุ่มนี้จะอยู่ในรูปของแอนไอออนที่มีประจุ -1 ได้แก่ F^-, Cl^-, Br^-, I^-

2.2 กลุ่มของไอออนลบที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุทั้งสองชนิด ได้แก่ PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, NO^{2-}, NO_3, ClO, CN, SCN^-, C_2O_4

กลุ่มของไอออนลบ สามารถวิเคราะห์แยกได้โดยใช้ anion exchange column ควบคู่กับการวัดด้วย conductivity detector

เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีโดยการใช้ conductivity detector แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1. Non-suppressed IC Method ใช้คอมลัมน์สำหรับแยกที่มีประจุต่ำเพียงคอลัมน์เดียว เทคนิคนี้ตัวชะต้องมี low background conductivity เช่น ในการแยกพวกแอนไอออน ตัวชะต้องเป็นพวก Aromatic anion, Benzoate, Phthalate ซึ่งมี low conductivity

2. Suppressed IC Method ใช้คอลัมน์ 2 ชนิด คือ คอลัมน์สำหรับแยกกับคอลัมน์สำหรับทำหน้าที่เป็นซัพเพรสเซอร์ต่อกันแบบอนุกรม

ตัวอย่างการแยกไอออนโดยใช้ระบบ suppress conductivity detector

คอลัมสำหรับแยก จะบรรจุเรซิน หรือสารแลกเปลี่ยนแอนไอออนความจุต่ำ ทำหน้าที่แยกไอออนออกจากกัน โดยใช้สารละลายผสมเจือจาง Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ หรือ NaOH เป็นเฟสเคลื่อนที่ หรือตัวชะ

คอลัมน์ที่ทำหน้าที่ซัพเพรสเซอร์ จะบรรจุเรซิน หรือสารแลกเปลี่ยนแคทไอออนที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนไอออนความจุสูง ทำหน้าที่บดบังอิทธิพลของตัวชะไว้โดยกลไกของการแลกเปลี่ยนไอออน โดยการทำให้ตัวชะอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิก หรือน้ำ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำมาก เมื่อเทียบกับแอนไอออนที่ออกจากคอลัมน์เข้าสู่ระบบตรวจวัดสัญญาณในรูปของกรด ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่า สำหรับการแยกโดยใช้คอลัมน์คู่นั้นจะมีค่าสูงกว่าการใช้ระบบคอลัมน์เดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง เมื่อต้องการวิเคราะห์แอนไอออน A^- ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในคอลัมน์ เมื่อเรซินที่ใช้คือ R-Cl มีขั้นตอนดังนี้

1. exchange

$$R\text{-}Cl^- + NaA \longleftrightarrow R\text{-}A^- + Na^+ + Cl^-$$

$(R\text{-}OH^-)$

2. elute

$$R\text{-}A^- + NaOH \longleftrightarrow R\text{-}OH^- + Na^+ + A^-$$

3. suppress

$$R\text{-}H^+ + NaOH \longleftrightarrow R\text{-}Na + H2O$$

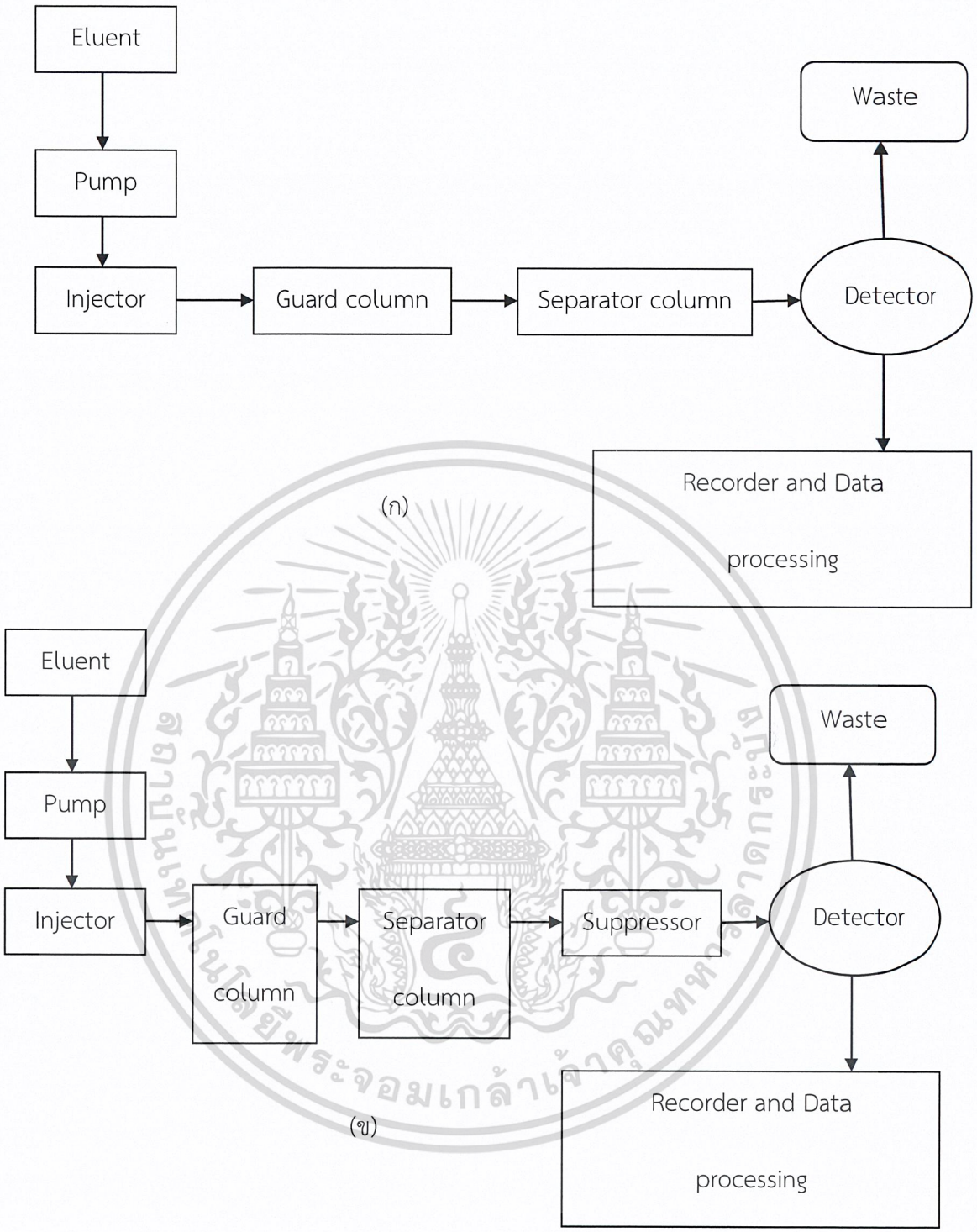
$$R\text{-}H^+ + Na^+ A^- \longleftrightarrow R\text{-}Na + H^+ + A^-$$

เมื่อ A^- ได้แก่ NO_3^- หรือ Br^-

$$R\text{-}H^+ + NaNO_3 \longleftrightarrow R\text{-}Na^+ + H^+ + NO_3^-$$

$$R\text{-}H^+ + NaBr \longleftrightarrow R\text{-}Na^+ + H^+ + Br^-$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 ส่วนประกอบของเครื่องมือไอออนโครมาโทกราฟี

(ก) Non-suppressed IC

(ข) Suppressed IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Metrohm รุ่น DX 600

ตารางที่ ก-1 สภาวะของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีที่ใช้

ระบบทำงาน	เงื่อนไขในการวิเคราะห์
Eluent	3.2 mM Na_2CO_3 / 1.0 mM $NaHCO_3$
Column	METROSEP A SUPP 5 – 150
Column size	4.0 × 150 mm
Flow rate	0.70 mL/min
Sample volume	20.0 µL
Analysis time	14 minute
Dilution	1.00
Temperature	35°C

ส่วนประกอบของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

1. ขวดพร้อมสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับแคทไอออน (Eluent or Mobile phase for Cation)

2. ขวดพร้อมสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับแอนไอออน (Eluent or Mobile phase for Anion)

3. ปั๊มสำหรับสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่ (790 IC pump) สำหรับแยกแคทไอออน ให้ใช้อัตรตราการไหล 1.00 มล. ต่อนาที และสำหรับแยกแอนไอออนให้อัตราการไหล 0.70 มล. ต่อนาที

4. หน่วยติดต่อประมวลผลทุกหน่วยย่อย (762 IC Interface)

5. ตู้ภายในบรรจุคอลัมน์สำหรับแยกแคทไอออน (METROSEP 2_150 ขนาด 4.0×250 มม.) และคอลัมน์สำหรับแยกแอนไอออน (METROSEP ASUPPS_150 ขนาด 4.0×250 มม.)

6. เครื่องตรวจวัดสัญญาณการนำไฟฟ้าสำหรับแยกแคทไอออน และแอนไอออน (Conductivity detector, 732 IC detector)

7. หน่วยซัพเรสเซอร์ (753 IC Suppressor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องตรวจวัดสัญญาณ (791 VA Detector)

9. หน่วยสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคไดอะไลซิส (812 Valve unit)

การเตรียมตัวอย่างและการเตรียมสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับภาชนะ

(Sample Preparation and Mobile phase for Elution)

1. สารละลายตัวอย่าง ต้องผ่านการกรองโดยใช้แผ่นกรองเมมเบรน ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร เพื่อป้องกันการอุดตันภายในคอลัมน์ ทำให้ความดันภายในคอลัมน์อาจเกินขีดความสามารถที่คอลัมน์ทนได้

2. การเตรียมสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile Phase Eluent) สำหรับการวิเคราะห์แอนไอออน

- เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) กับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ที่มีความเข้มข้น 3.2 และ1.0 มิลลิโมลาร์ (mM) โดยชั่ง Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ มา 0.6783 กรัม และ 0.1680 กรัมตามลำดับ ละลายด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Ultrapure water) ประมาณ 80 – 100 มิลลิลิตร

- เติมอะซีโตน 100 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการเติบโตของแบคทีเรีย ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) จนได้ 2 ลิตร ในขวดปรับปริมาตรผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

- นำสารละลายที่ได้ไปไล่ก๊าซในอ่างอัลตราโซนิคนาน 30 นาที

- นำมากรองโดยใช้กระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแบบลดความดัน

- นำมาแช่ในอ่างอัลตราโซนิคนาน 5 นาที อีกครั้งเพื่อไล่ก๊าซออกไป

- นำไปใส่บนถาดรองในชุดเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ทำการไล่อากาศออกจากภายในเส้นท่อทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยนสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่

- อายุการใช้งานของสารชะ 2 – 4 สัปดาห์ หรือจนเกิดการเคลื่อนของเวลาในการแยกสารมาตรฐาน (R_f) เปลี่ยนเกิน 5% โดยปกติควรมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 17 ไมโครซีเมนส์/ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก มิลลิโมลาร์สำหรับซัพเพรสเซอร์

ปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Concentrated Sulfuric acid) 4.42 มล. ลงในน้ำบริสุทธิ์สูง ปริมาตร 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตร ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุลงในขวดเพื่อใช้ในการซัพเพรสสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่ให้มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด เพื่อลดค่าสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อค่าสัญญาณของไอออนที่ทำการวิเคราะห์ ใช้เฉพาะวิเคราะห์แอนไอออน

การดูแลรักษาคอลัมน์ไอออนโครมาโทกราฟ

1. ใช้คอลัมน์ให้มีความดันไม่เกินค่าที่ระบุไว้ได้สูงสุดในคุณลักษณะของคอลัมน์

2. การเก็บคอลัมน์เมื่อไม่ได้ใช้งาน ถ้าในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ให้เก็บไว้ในสารละลายที่ใช้ชะ (Eluent) พร้อมทั้งปิดจุกสนิท (Plug) แต่ถ้าเป็นระยะยาวให้แช่คอลัมน์ไว้ในสารละลายที่เหมาะสม การเลือกสารละลายต้องดูจากคำแนะนำของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

3. การล้าง ในการทำความสะอาดคอลัมน์เมื่อโครมาโทแกรมที่ได้มีพีคที่ผิดปกติ และไม่สามารถจำแนกชนิดได้ว่าเป็นสารใดแสดงว่ามีสิ่งสกปรกติดค้างในคอลัมน์ แบ่งชนิดของสารตกค้างได้เป็น 3 พวกคือ ชนิดที่ละลายในกรด ละลายในเบส และละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ต้องเลือกสารละลายที่ใช้ทำความสะอาดให้เหมาะสมเช่นกัน เช่น การล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นเป็น 10 เท่าของสารละลายที่ใช้ชะคอลัมน์ ถ้ามีไอออนของโลหะติดอยู่ อาจใช้กรดไฮโดรคลอริก 1 – 3 โมลาร์ ในการล้าง หรือกรดที่ใช้คีเลต (Chelating agent) เช่น กรดออกซาลิก หรือใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตนผสมน้ำตามอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับพวกที่ตกค้างเป็นสารไม่มีขั้ว หรือไม่ชอบน้ำ (Nonionic and Hydrophobic) (ชูติมา, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โครมาโทแกรม (Chromatogram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALIBRATION OF COMPONENT sulphate

Method: std Anion5 2-10-62 chuda.mtw
Equation: Q = 0.212062·A
RSD: 2.475 %
Correlation coefficient: 0.999567

K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.212062 K0 = 0
Base: Area
Ref.channel: ch3
ISTD: waterpeak
Formula: Linear through zero
Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	2.251	88.62	1	20	17.72	Yes	2019-10-02_1
2	4.439	170.6	2	20	17.62	Yes	2019-10-02_1
3	9.345	364	4	20	17.62	Yes	2019-10-02_1
4	19.5	752.2	8	20	17.72	Yes	2019-10-02_1
5	30.12	1151	12	20	17.72	Yes	2019-10-02_1
6	40.12	1537	16	20	17.52	Yes	2019-10-02_1
7	49.16	1856	20	20	17.72	Yes	2019-10-02_1

รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALIBRATION OF COMPONENT nitrate

Method: std Anion5 2-10-62 chuda.mtw
Equation: Q = 0.298082·A
RSD: 2.177 %
Correlation coefficient: 0.999893

K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.298082 K0 = 0
Base: Area
Ref.channel: ch3
ISTD: waterpeak
Formula: Linear through zero
Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	2.882	61.42	1	20	9.812	Yes	_2019-10-02_1
2	5.607	119.5	2	20	9.812	Yes	_2019-10-02_1
3	11.47	248.2	4	20	9.712	Yes	_2019-10-02_1
4	24.71	525.6	8	20	9.712	Yes	_2019-10-02_1
5	37.77	796.9	12	20	9.712	Yes	_2019-10-02_1
6	51.06	1086	16	20	9.712	Yes	_2019-10-02_1
7	64.53	1347	20	20	9.812	Yes	_2019-10-02_1

รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานไนเตรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 10/15/2019 12:22:39 PM
Printed by: Chemistry

Ident: sample1.1
Analysis from: 10/15/2019 12:03:17 PM
File: _2019-10-15_ Last save: 10/15/2019 12:22:18 PM

Method: std Anion5 2-10-62 chuda. Last save: 10/15/2019
Run operator: Chemistry
Analysis number: 13423

SAMPLE:
: 15-10-2019
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.80 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.4 MPa

Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.40	-3.64	-104.528	0.000	
2	3.96	17.10	333.934	0.000	
3	4.46	27.21	438.622	0.000	
4	5.50	-0.29	-5.347	0.041	chloride
5	5.72	0.49	4.691	0.000	
6	6.69	298.20	7255.797	0.000	
7	7.84	1.65	60.521	0.000	
8	9.88	107.94	2164.127	32.348	nitrate
9	14.29	0.86	33.218	1.011	phosphate
10	17.97	0.83	29.378	0.308	sulphate
10	19.00	458.20	10430.162	33.708	

รูปที่ ข-3 แสดงค่าในการเก็บตัวอย่างอากาศจุดที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ

ตารางที่ ค-1 การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ

No.	$[SO_4^{2-}]_{ion}$ chromatograph X(ppm)	Q(µg)	L(m)	$[SO_2]$ C(µg/m^3)	$[SO_2]$ ppbv	Average ppbv
S 1.1	0.308	2.054	0.035	14.4897	5.539	
S 1.2	0.274	1.828	0.035	12.892	4.927	
S 1.3	0.283	1.888	0.035	13.316	5.089	5.185

โดยกำหนดค่า

ความสูงของขวดเก็บตัวอย่าง 3.5 cm

L = 3.5×10^{-2} m

เส้นผ่านศูนย์กลางของขวดเก็บตัวอย่าง 2.4 cm และรัศมี 1.2 cm

πr^2 = $3.14 \times (0.012\ m \times 0.012\ m)$ = $0.00045216\ m^2$

ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศ 10 วัน

t = 864000 s

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ SO_2 ในอากาศโดยรอบ

D = 0.0000127 m^2/s

Molecular volume (MO) = 24.46 L

มวลโมเลกุลของ SO_2 (MW SO_2) = 64 g/mol

มวลโมเลกุลของ SO_4^{2-} (MW SO_4^{2-}) = 96 g/ion

$$\frac{MW\ SO_2}{MW\ SO_4^{2-}} = 0.666666667$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากซัลเฟต

$[SO_2]X$ = 0.308 ppm = 0.308 µg/L

Q (µg) = X(ppm) × ปริมาตรสารที่ใช้สกัด (ml) × $\frac{\text{MW } SO_2}{\text{MW } {SO_4}^{2-}}$

= 0.308 g/ml × 10 ml × 0.667

= 2.054 µg ของ SO_2

การคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในหน่วย µg/m^3

C (µg/m^3) = $\frac{[Q \times L]}{[(\pi r^2) \times t \times D]}$

= $\frac{2.054\ \mu g \times 0.035\ m}{0.00045216 \times 864000\ s \times 0.0000127\ m^2/s}$

= 14.4897 µg/m^3

ทำการเปลี่ยนหน่วยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก µg/m^3 เป็น ppb หรือ ppbv หาได้จากสมการ

ppbv = $\frac{\frac{\mu g}{m3} \times molecular\ volume\ (L)}{molecular\ weight}$

เมื่อ molecular volume = $\frac{22.41 \times (273 + 25)}{273} \times \frac{101.3}{101.3}$

= 24.46 L

เมื่อ P = ความดันบรรยากาศ 1 atm = 101.3 kPa

ดังนั้น ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) (ppbv)

SO_2 (ppbv) = $\frac{14.4897\ \frac{\mu g}{m^3} \times 24.46\ L/mol}{64\ \ g/mol}$

= 5.539 ppb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ

ตารางที่ ง-1 การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ

No.	$[NO_3^-]_{ion}$ chromatograph X(ppm)	Q(µg)	L(m)	$[NO_2]$ C(µg/m^3)	$[NO_2]$ ppbv	Average ppbv
S 1.1	32.348	240.022	0.035	1693.206	900.344	
S 1.2	31.96	237.143	0.035	1672.897	889.545	
S 1.3	28.75	213.325	0.035	1504.874	800.201	863.363

โดยกำหนดค่า

ความสูงของขวดเก็บตัวอย่าง 3.5 cm

L = 3.5×10^{-2} m

เส้นผ่านศูนย์กลางของขวดเก็บตัวอย่าง 2.4 cm และรัศมี 1.2 cm

πr^2 = $3.14 \times (0.012\ m \times 0.012\ m)$ = $0.00045216\ m^2$

ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศ 10 วัน

t = 864000 s

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ NO_2 ในอากาศโดยรอบ

D = $0.0000154\ m^2/s$

Molecular volume (MO) = 24.46 L

มวลโมเลกุลของ NO_2 (MW NO_2) = 46 g/mol

มวลโมเลกุลของ NO_3^- (MW NO_3^-) = 62 g/ion

$$\frac{MW\ NO_2}{MW\ NO_3^-} = 0.741935483$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์จากไนเทรต

$[NO_2]X$ = 32.348 ppm = 32.348 µg/L

Q (µg) = X(ppm) × ปริมาตรสารที่ใช้สกัด (ml) × $\frac{\text{MW } NO_2}{\text{MW } NO_3^-}$

= 32.348 g/ml × 10 ml × 0.7419

= 239.989812 µg ของ NO_2

การคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในหน่วย µg/m^3

C (µg/m^3) = $\frac{[Q \times L]}{[(\pi r^2) \times t \times D]}$

= $\frac{239.989812\ \mu g \times 0.035\ m}{0.00045216 \times 864000\ s \times 0.0000154\ m^2/s}$

= 1396.157 µg/m^3

ทำการเปลี่ยนหน่วยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จาก µg/m^3 เป็น ppb หรือ ppbv หาได้จากสมการ

ppbv = $\frac{\frac{\mu g}{m3} \times molecular\ volume\ (L)}{molecular\ weight}$

เมื่อ molecular volume = $\frac{22.41 \times (273 + 25)}{273} \times \frac{101.3}{101.3}$

= 24.46 L

เมื่อ P = ความดันบรรยากาศ 1 atm = 101.3 kPa

ดังนั้น ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) (ppbv)

SO_2 (ppbv) = $\frac{1396.157\ \frac{\mu g}{m^3} \times 24.46\ L/mol}{46\ g/mol}$

= 742.391 ppb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 1

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
1	S 1.1	0.308	2.054	14.492	5.539		
	S 1.2	0.274	1.828	12.892	4.927		
	S 1.3	0.283	1.888	13.316	5.089	5.185	0.316793
2	S 2.1	0.312	2.081	14.680	5.611		
	S 2.2	0.297	1.981	13.975	5.341		
	S 2.3	0.273	1.821	12.845	4.909	5.287	0.353766
3	S 3.1	0.470	3.135	22.115	8.452		
	S 3.2	0.411	2.741	19.339	7.391		
	S 3.3	0.508	3.388	23.903	9.135	8.326	0.878959
4	S 4.1	2.413	16.095	113.538	43.393		
	S 4.2	3.213	21.431	151.180	57.779		
	S 4.3	3.343	22.298	157.297	60.117	53.763	9.056574
5	S 5.1	2.702	18.022	127.136	48.590		
	S 5.2	3.304	22.038	155.462	59.416		
	S 5.3	3.078	20.530	144.828	55.351	54.452	5.468589
6	S 6.1	3.447	22.991	162.191	61.987		
	S 6.2	2.084	13.900	98.058	37.476		
	S 6.3	3.313	22.098	155.885	59.577	53.014	13.5095
7	S 7.1	2.399	16.001	112.879	43.141		
	S 7.2	2.423	16.161	114.009	43.573		
	S 7.3	3.284	21.904	154.521	59.056	48.590	9.066453
8	S 8.1	1.663	11.092	78.249	29.906		
	S 8.2	1.958	13.060	92.129	35.211		
	S 8.3	1.665	11.106	78.343	29.942	31.686	3.052495
9	S 9.1	1.974	13.167	92.882	35.498		
	S 9.2	1.690	11.272	79.519	30.391		
	S 9.3	2.144	14.300	100.881	38.555	34.815	4.124803
10	S 10.1	0.944	6.296	44.418	16.976		
	S 10.2	1.393	9.291	65.544	25.050		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 1 (ต่อ)

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
	S 10.3	1.050	7.004	49.405	18.882	20.303	4.220478
11	S 11.1	1.547	10.318	72.790	27.820		
	S 11.2	1.386	9.245	65.215	24.924		
	S 11.3	1.062	7.084	49.970	19.098	23.947	4.442199
12	S 12.1	4.374	29.175	205.808	78.657		
	S 12.2	5.052	33.697	237.710	90.850		
	S 12.3	4.680	31.216	220.206	84.160	84.556	6.105838
13	S 13.1	5.278	35.204	248.344	94.914		
	S 13.2	6.274	41.848	295.208	112.825		
	S 13.3	4.382	29.228	206.185	78.801	95.513	17.01978
14	S 14.1	2.824	18.836	132.877	50.784		
	S 14.2	2.361	15.748	111.091	42.458		
	S 14.3	2.617	17.455	123.137	47.061	46.768	4.170815

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 2

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
1	S 1.1	5.795	38.653	272.670	104.211		
	S 1.2	5.401	36.025	254.131	97.126		
	S 1.3	5.096	33.990	239.780	91.641	97.659	6.301997
2	S 2.1	7.764	51.786	365.317	139.620		
	S 2.2	6.591	43.962	310.124	118.526		
	S 2.3	7.937	52.940	373.457	142.731	133.625	13.1689
3	S 3.1	5.760	38.419	271.023	103.582		
	S 3.2	6.754	45.049	317.794	121.457		
	S 3.3	6.145	40.987	289.139	110.505	111.848	9.012852
4	S 4.1	7.721	51.499	363.294	138.846		
	S 4.2	6.719	44.816	316.147	120.827		
	S 4.3	6.533	43.575	307.395	117.483	125.719	11.49114
5	S 5.1	6.011	40.093	282.834	108.095		
	S 5.2	5.305	35.384	249.614	95.400		
	S 5.3	6.553	43.709	308.336	117.842	107.112	11.25361
6	S 6.1	5.386	35.925	253.426	96.856		
	S 6.2	6.636	44.262	312.242	119.335		
	S 6.3	6.289	41.948	295.914	113.095	109.762	11.60403
7	S 7.1	7.467	49.805	351.342	134.279		
	S 7.2	7.462	49.772	351.107	134.189		
	S 7.3	6.225	41.521	292.903	111.944	126.804	12.86913
8	S 8.1	5.033	33.570	236.816	90.508		
	S 8.2	4.483	29.902	210.937	80.618		
	S 8.3	4.647	30.995	218.654	83.567	84.897	5.077817
9	S 9.1	3.906	26.053	183.788	70.241		
	S 9.2	5.334	35.578	250.979	95.921		
	S 9.3	4.998	33.337	235.169	89.879	85.347	13.42621
10	S 10.1	3.628	24.199	170.707	65.242		
	S 10.2	3.716	24.786	174.848	66.825		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 2 (ต่อ)

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
	S 10.3	3.671	24.486	172.730	66.015	66.027	0.791318
11	S 11.1	3.431	22.885	161.438	61.699		
	S 11.2	3.331	22.218	156.732	59.901		
	S 11.3	3.632	24.225	170.895	65.314	62.305	2.756752
12	S 12.1	5.577	37.199	262.413	100.291		
	S 12.2	4.957	33.063	233.240	89.141		
	S 12.3	4.559	30.409	214.513	81.984	90.472	9.225583
13	S 13.1	5.343	35.638	251.402	96.083		
	S 13.2	4.033	26.900	189.763	72.525		
	S 13.3	3.534	23.572	166.284	63.552	77.387	16.8016
14	S 14.1	3.081	20.550	144.969	55.405		
	S 14.2	2.791	18.616	131.324	50.190		
	S 14.3	2.803	18.696	131.889	50.406	52.001	2.950591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 3

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
1	S 1.1	1.716	11.446	80.742	30.859		
	S 1.2	1.525	10.172	71.755	27.424		
	S 1.3	0.895	5.970	42.112	16.095	24.792	7.725769
2	S 2.1	2.304	15.368	108.409	41.433		
	S 2.2	2.153	14.361	101.304	38.717		
	S 2.3	2.223	14.827	104.598	39.976	40.042	1.358912
3	S 3.1	1.401	9.345	65.921	25.194		
	S 3.2	3.445	22.978	162.096	61.951		
	S 3.3	2.406	16.048	113.209	43.267	43.471	18.37941
4	S 4.1	2.682	17.889	126.195	48.230		
	S 4.2	2.719	18.136	127.936	48.896		
	S 4.3	1.631	10.879	76.743	29.330	42.152	11.10902
5	S 5.1	1.429	9.531	67.238	25.698		
	S 5.2	0.089	0.594	4.188	1.600		
	S 5.3	1.963	13.093	92.364	35.301	20.866	17.36174
6	S 6.1	0.219	1.461	10.305	3.938		
	S 6.2	1.012	6.750	47.617	18.199		
	S 6.3	1.051	7.010	49.452	18.900	13.679	8.443031
7	S 7.1	2.921	19.483	137.441	52.528		
	S 7.2	3.437	22.925	161.720	61.807		
	S 7.3	2.927	19.523	137.723	52.636	55.657	5.326474
8	S 8.1	5.586	37.259	262.836	100.453		
	S 8.2	6.741	44.962	317.182	121.223		
	S 8.3	4.904	32.710	230.746	88.188	103.288	16.69885
9	S 9.1	6.129	40.880	288.386	110.217		
	S 9.2	4.575	30.515	215.266	82.272		
	S 9.3	6.37	42.488	299.726	114.551	102.347	17.51995
10	S 10.1	3.795	25.313	178.565	68.245		
	S 10.2	4.601	30.689	216.489	82.740		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 3 (ต่อ)

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
	S 10.3	4.848	32.336	228.111	87.181	79.389	9.902747
11	S 11.1	4.178	27.867	196.586	75.133		
	S 11.2	4.359	29.075	205.103	78.388		
	S 11.3	3.99	26.613	187.740	71.752	75.091	3.318052
12	S 12.1	7.459	49.752	350.966	134.135		
	S 12.2	6.422	42.835	302.172	115.486		
	S 12.3	7.725	51.526	363.482	138.918	129.513	12.38069
13	S 13.1	6.382	42.568	300.290	114.767		
	S 13.2	5.734	38.246	269.800	103.114		
	S 13.3	7.168	47.811	337.274	128.902	115.594	12.91366
14	S 14.1	4.109	27.407	193.339	73.892		
	S 14.2	4.515	30.115	212.443	81.193		
	S 14.3	4.872	32.496	229.241	87.613	80.899	6.865207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 1

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
1	S 1.1	32.348	240.022	1693.206	900.344		
	S 1.2	31.96	237.143	1672.897	889.545		
	S 1.3	28.75	213.325	1504.874	800.201	863.363	54.96618
2	S 2.1	35.491	263.343	1857.721	987.823		
	S 2.2	33.005	244.897	1727.596	918.630		
	S 2.3	30.437	225.843	1593.178	847.155	917.869	70.33723
3	S 3.1	56.161	416.715	2939.661	1563.133		
	S 3.2	41.083	304.836	2150.426	1143.466		
	S 3.3	54.365	403.388	2845.652	1513.144	1406.581	229.2311
4	S 4.1	43.959	326.176	2300.966	1223.514		
	S 4.2	48.278	358.223	2527.037	1343.725		
	S 4.3	50.305	373.263	2633.137	1400.142	1322.460	90.21391
5	S 5.1	42.153	312.775	2206.433	1173.247		
	S 5.2	49.139	364.611	2572.105	1367.689		
	S 5.3	51.012	378.509	2670.144	1419.820	1320.252	129.951
6	S 6.1	40.736	302.261	2132.263	1133.808		
	S 6.2	34.067	252.777	1783.184	948.189		
	S 6.3	47.2	350.224	2470.611	1313.720	1131.906	182.7732
7	S 7.1	36.53	271.053	1912.106	1016.742		
	S 7.2	35.154	260.843	1840.082	978.443		
	S 7.3	40.723	302.165	2131.582	1133.446	1042.877	80.73858
8	S 8.1	Nondetect					
	S 8.2	Nondetect					
	S 8.3	Nondetect					
9	S 9.1	35.457	263.091	1855.942	986.877		
	S 9.2	29.997	222.578	1570.146	834.908		
	S 9.3	34.731	257.704	1817.940	966.670	929.485	82.52665
10	S 10.1	19.412	144.037	1016.091	540.295		
	S 10.2	25.078	186.079	1312.669	697.998		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 1 (ต่อ)

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
	S 10.3	19.823	147.087	1037.604	551.735	596.676	87.93331
11	S 11.1	28.002	207.775	1465.721	779.381		
	S 11.2	23.591	175.045	1234.834	656.610		
	S 11.3	20.843	154.655	1090.995	580.124	672.039	100.5205
12	S 12.1	43.329	321.501	2267.989	1205.979		
	S 12.2	48.374	358.935	2532.062	1346.396		
	S 12.3	42.189	313.042	2208.318	1174.249	1242.208	91.61394
13	S 13.1	49.526	367.483	2592.362	1378.460		
	S 13.2	53.841	399.500	2818.224	1498.560		
	S 13.3	47.44	352.005	2483.173	1320.400	1399.140	90.86221
14	S 14.1	29.648	219.988	1551.879	825.195		
	S 14.2	26.876	199.420	1406.783	748.041		
	S 14.3	26.111	193.744	1366.740	726.749	766.662	51.79689

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 2

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
1	S 1.1	84.08	623.874	4401.037	2340.204		
	S 1.2	76.484	567.511	4003.436	2128.784		
	S 1.3	80.646	598.393	4221.290	2244.625	2237.871	105.8717
2	S 2.1	96.064	712.795	5028.321	2673.755		
	S 2.2	91.994	682.595	4815.283	2560.475		
	S 2.3	94.722	702.837	4958.076	2636.403	2623.544	57.72464
3	S 3.1	81.141	602.066	4247.200	2258.402		
	S 3.2	72.812	540.265	3811.231	2026.581		
	S 3.3	69.07	512.499	3615.362	1922.430	2069.138	171.9818
4	S 4.1	82.823	614.547	4335.242	2305.218		
	S 4.2	94.833	703.661	4963.886	2639.493		
	S 4.3	78.84	584.993	4126.758	2194.359	2379.690	231.7232
5	S 5.1	78.08	579.354	4086.977	2173.205		
	S 5.2	81.108	601.821	4245.473	2257.484		
	S 5.3	75.94	563.475	3974.962	2113.643	2181.444	72.27367
6	S 6.1	76.782	569.722	4019.035	2137.078		
	S 6.2	70.923	526.249	3712.355	1974.004		
	S 6.3	78.083	579.376	4087.134	2173.289	2094.790	106.1593
7	S 7.1	89.249	662.228	4671.601	2484.073		
	S 7.2	91.637	679.947	4796.597	2550.538		
	S 7.3	75.151	557.620	3933.663	2091.682	2375.431	247.9706
8	S 8.1	83.498	619.555	4370.573	2324.005		
	S 8.2	76.759	569.552	4017.831	2136.438		
	S 8.3	74.71	554.348	3910.579	2079.408	2179.950	127.9723
9	S 9.1	80.756	599.210	4227.048	2247.687		
	S 9.2	81.016	601.139	4240.657	2254.923		
	S 9.3	82.825	614.562	4335.346	2305.273	2269.294	31.368
10	S 10.1	62.206	461.569	3256.077	1731.383		
	S 10.2	68.502	508.285	3585.631	1906.620		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 2 (ต่อ)

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
	S 10.3	64.237	476.639	3362.386	1787.912	1808.639	89.43816
11	S 11.1	60.652	450.038	3174.735	1688.131		
	S 11.2	63.272	469.478	3311.875	1761.053		
	S 11.3	59.76	443.419	3128.045	1663.304	1704.163	50.80863
12	S 12.1	87.89	652.144	4600.466	2446.248		
	S 12.2	82.011	608.522	4292.739	2282.617		
	S 12.3	88.720	658.302	4643.911	2469.349	2399.405	101.7984
13	S 13.1	100.785	747.825	5275.435	2805.155		
	S 13.2	89.254	662.265	4671.862	2484.212		
	S 13.3	95.163	706.109	4981.160	2648.678	2646.015	160.4881
14	S 14.1	73.083	542.276	3825.416	2034.124		
	S 14.2	72.519	538.091	3795.895	2018.426		
	S 14.3	70.252	521.270	3677.232	1955.328	2002.626	41.70619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 3

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
1	S 1.1	60.133	446.187	3147.569	1673.685		
	S 1.2	59.738	443.256	3126.893	1662.691		
	S 1.3	66.4	492.688	3475.605	1848.115	1728.164	104.026
2	S 2.1	60.267	447.181	3154.583	1677.415		
	S 2.2	63.289	469.604	3312.765	1761.527		
	S 2.3	52.028	386.048	2723.325	1448.098	1629.013	162.223
3	S 3.1	55.971	415.305	2929.715	1557.844		
	S 3.2	73.849	547.960	3865.511	2055.444		
	S 3.3	64.63	479.555	3382.957	1798.851	1804.046	248.840
4	S 4.1	66.823	495.827	3497.746	1859.889		
	S 4.2	74.512	552.879	3900.215	2073.897		
	S 4.3	55.701	413.301	2915.583	1550.329	1828.038	263.233
5	S 5.1	75.914	563.282	3973.601	2112.919		
	S 5.2	69.223	513.635	3623.371	1926.688		
	S 5.3	90.35	670.397	4729.231	2514.717	2184.775	300.528
6	S 6.1	63.962	474.598	3347.992	1780.258		
	S 6.2	63.817	473.522	3340.402	1776.222		
	S 6.3	56.915	422.309	2979.127	1584.119	1713.533	112.094
7	S 7.1	67.791	503.009	3548.415	1886.831		
	S 7.2	68.545	508.604	3587.882	1907.817		
	S 7.3	71.55	530.901	3745.174	1991.456	1928.701	55.351
8	S 8.1	60.948	452.234	3190.229	1696.369		
	S 8.2	67.347	499.715	3525.174	1874.473		
	S 8.3	58.512	434.159	3062.720	1628.568	1733.137	127.009
9	S 9.1	65.587	486.656	3433.050	1825.487		
	S 9.2	57.907	429.670	3031.052	1611.729		
	S 9.3	68.746	510.095	3598.403	1913.412	1783.543	155.153
10	S 10.1	50.309	373.293	2633.347	1400.253		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งที่ 3 (ต่อ)

จุดเก็บที่	ตัวอย่าง	X (ppm)	Q (µg)	C(µg/m3)	ppbv	เฉลี่ย	SD
	S 10.2	50.203	372.506	2627.798	1397.303		
	S 10.3	54.025	400.866	2827.855	1503.681	1433.746	60.584
11	S 11.1	44.363	329.173	2322.113	1234.758		
	S 11.2	51.79	384.282	2710.867	1441.474		
	S 11.3	50.6	375.452	2648.579	1408.353	1361.528	111.028
12	S 12.1	83.763	621.521	4384.444	2331.381		
	S 12.2	80.279	595.670	4202.080	2234.410		
	S 12.3	89.204	661.894	4669.245	2482.820	2349.537	125.196
13	S 13.1	70.62	524.000	3696.494	1965.571		
	S 13.2	70.852	525.722	3708.638	1972.028		
	S 13.3	77.699	576.527	4067.034	2162.601	2033.400	111.938
14	S 14.1	52.938	392.800	2770.958	1473.427		
	S 14.2	56.453	418.881	2954.945	1571.260		
	S 14.3	56.21	417.078	2942.225	1564.496	1536.394	54.636

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

การทำกราฟมาตรฐานซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำกราฟมาตรฐานซัลเฟต

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ทำการเจือจาง 10 เท่า โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) จนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้นข้น 50 พีพีเอ็ม

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 1, 2, 4, 8, 12, 16 และ20 พีพีเอ็ม จากสารละลายมาตรฐานไนเทรตเข้มข้น 50 พีพีเอ็มที่เตรียมได้ดังตารางที่ ช-1

ตารางที่ ช-1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

ปริมาตรสารละลายซัลเฟตที่ใช้ (µL)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต (SO_4^{2-}) (ppm)
0.2	1
0.4	2
0.8	4
1.6	8
2.4	12
3.2	16
4	20

3. ปิเปตสารละลายดังตาราง ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 7 ขวด

4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) จนถึงขีดบอกปริมาตร

5. กรองด้วยแผ่นกรองที่มีรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

6. วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

การทำกราฟมาตรฐานไนเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำกราฟมาตรฐานไนเทรต

1.ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเทรตเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ทำการเจือจาง 10 เท่า โดยปิเปตสารลายมาตรฐานไนเทรต ปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) จนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานไนเทรตเข้นข้น 50 พีพีเอ็ม

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตเข้มข้น 1, 2, 4, 8, 12, 16 และ20 พีพีเอ็ม จากสารละลายมาตรฐานไนเทรตเข้มข้น 50 พีพีเอ็มที่เตรียมได้ดังตารางที่ ซ-1

ตารางที่ ซ-1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรต

ปริมาตรสารละลายไนเทรตที่ใช้ (µL)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเทรต (NO_3^-) (ppm)
0.2	1
0.4	2
0.8	4
1.6	8
2.4	12
3.2	16
4	20

3. ปิเปตสารละลายดังตาราง ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 7 ขวด

4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบิริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) จนถึงขีดบอกปริมาตร

5. กรองด้วยแผ่นกรองที่มีรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

6. วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ด

การทำความสะอาดเครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำความสะอาดเครื่องแก้ว

1. ล้างด้วยน้ำประปา 1 ครั้ง

2. จากนั้นล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดชนิดที่ใช้สำหรับทำความสะอาดอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

3. เติมกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 20% v/v หรือสารละลายกรดซัลฟูริก 10% ลงไปในเครื่องแก้ว และแช่ไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

4. เสร็จแล้วจึงล้างด้วยน้ำ deionized หรือน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) หลาย ๆ ครั้งแล้วจึงนำมาทำให้แห้ง

5. สำหรับเครื่องแก้ววัดปริมาตร เช่น ปิเปต บิวเรต สามารถตรวจสอบความสะอาดได้โดยเติมน้ำกลั่นแล้วปล่อยน้ำกลั่นทิ้ง เครื่องแก้วที่สะอาดจะไม่มีหยดน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ในการวิเคราะห์น้ำไม่ควรนำเครื่องแก้วไปอบด้วยเตาอบ เพราะจะทำให้เครื่องแก้วเสียรูปทรงไปเมื่อต้องการใช้งานเร่งด่วนแต่เครื่องแก้วยังไม่แห้ง ควรล้างเครื่องแก้วที่ต้องการโดยใช้ตัวทำละลาย หรือสารละลายที่จะใช้

6. เก็บเครื่องแก้วไว้ในอุปกรณ์ที่ป้องกันฝุ่นจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ใส่ถุงซิปพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ต

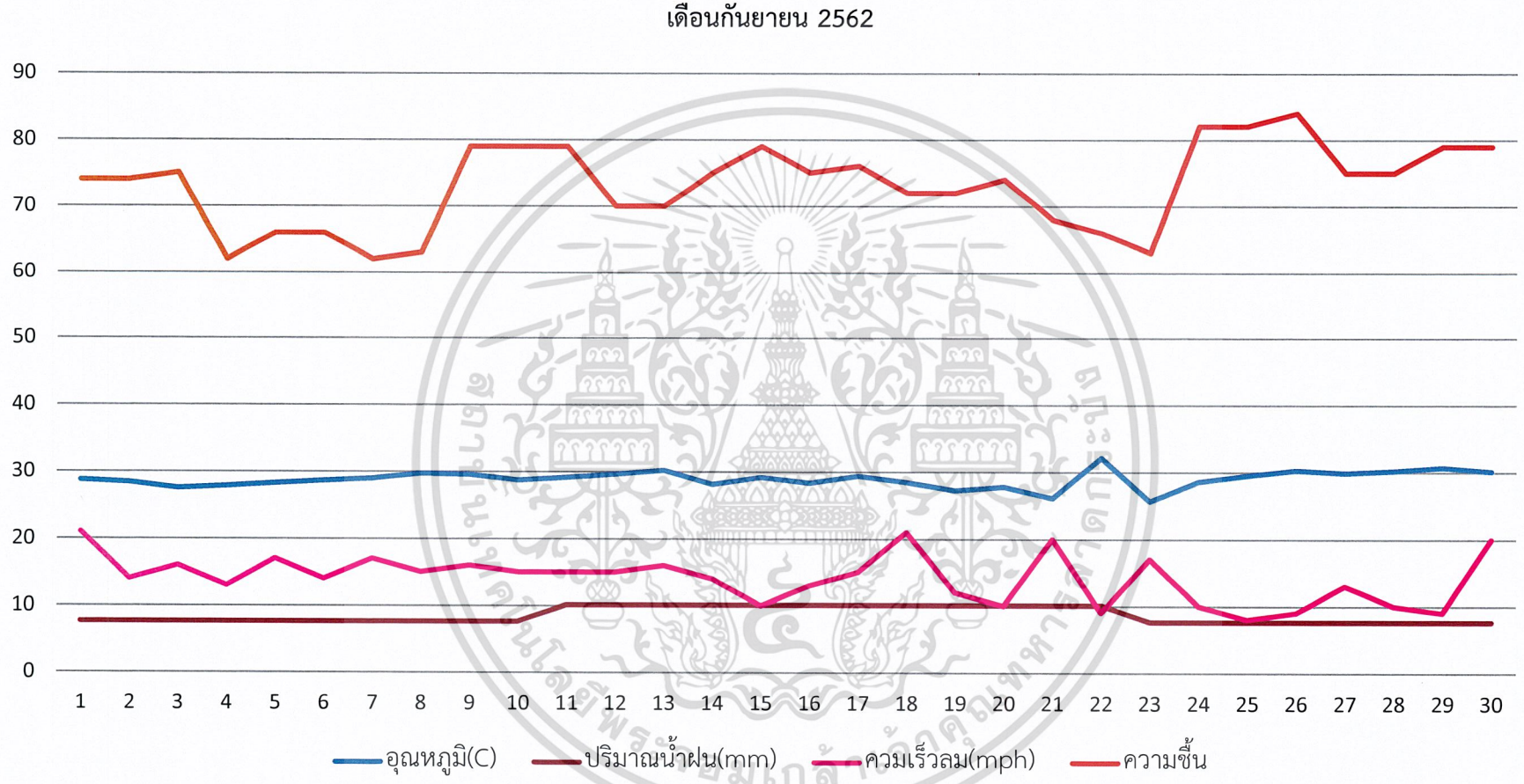
พารามิเตอร์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

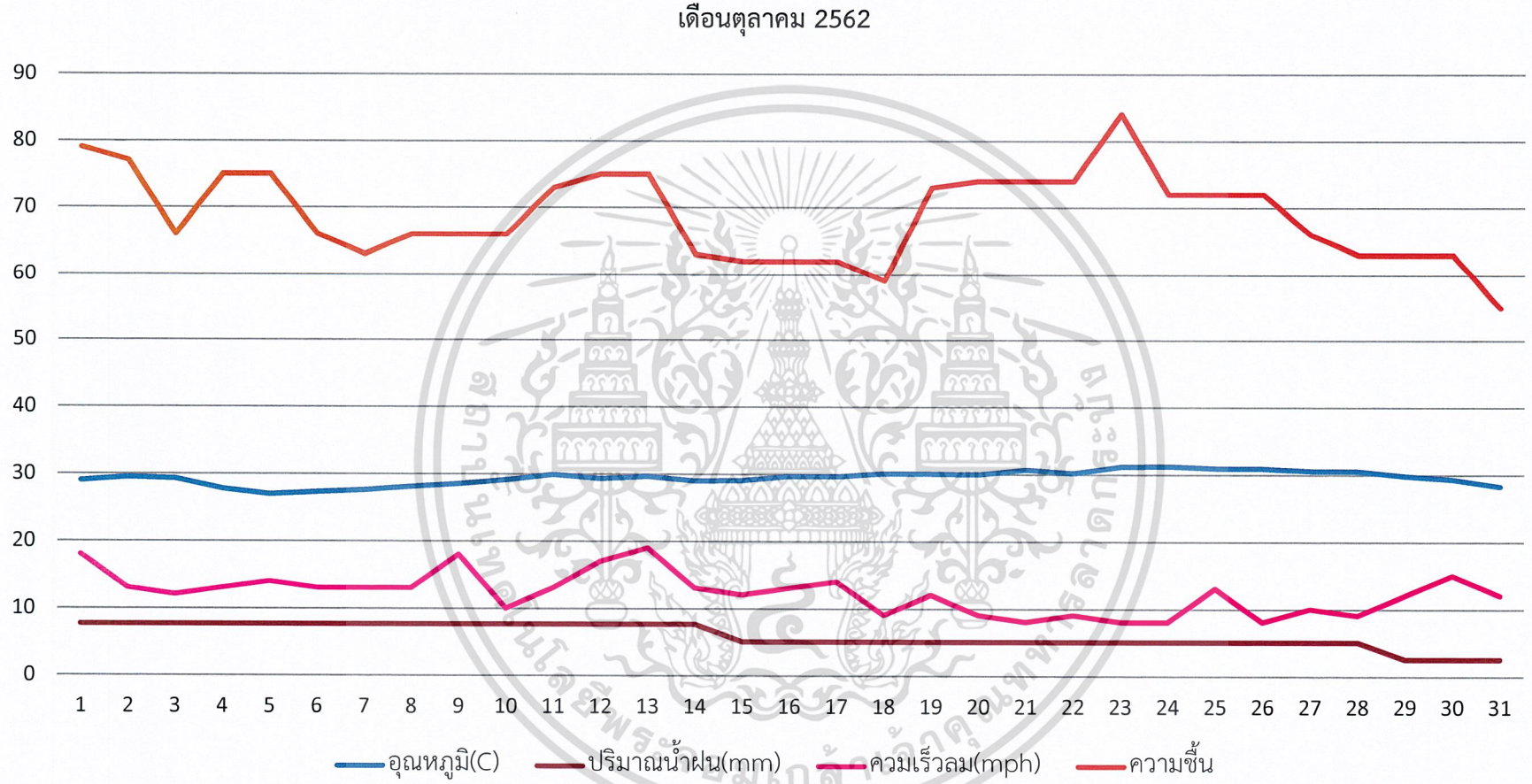
ตารางที่ ต-1 ความสูงต้นไม้ เส้นรอบวงต้นไม้ เส้นผ่าศูนย์กลางต้นไม้ พีเอชเปลือกไม้

จุดที่ติดตั้งอุปกรณ์	ความสูงต้นไม้ (m)	เส้นรอบวงต้นไม้ (cm.)	เส้นผ่านศูนย์กลางต้นไม้ (cm.)	พีเอชเปลือกไม้
1	7.92	95.00	30.24	5.63
2	7.92	60.20	19.16	5.59
3	5.07	66.50	21.17	5.43
4	9.75	133.00	42.34	5.30
5	7.14	123.00	39.15	5.33
6	7.92	45.50	14.48	4.99
7	9.75	61.00	19.42	4.85
8	7.92	75.00	23.87	5.89
9	8.25	72.00	22.92	4.89
10	8.94	63.00	20.05	5.04
11	6.69	84.00	26.74	5.52
12	4.50	56.00	17.83	4.79
13	2.58	39.50	12.57	4.90
14	3.24	38.30	12.19	4.53
เฉลี่ย	6.97	72.29	23.01	5.20

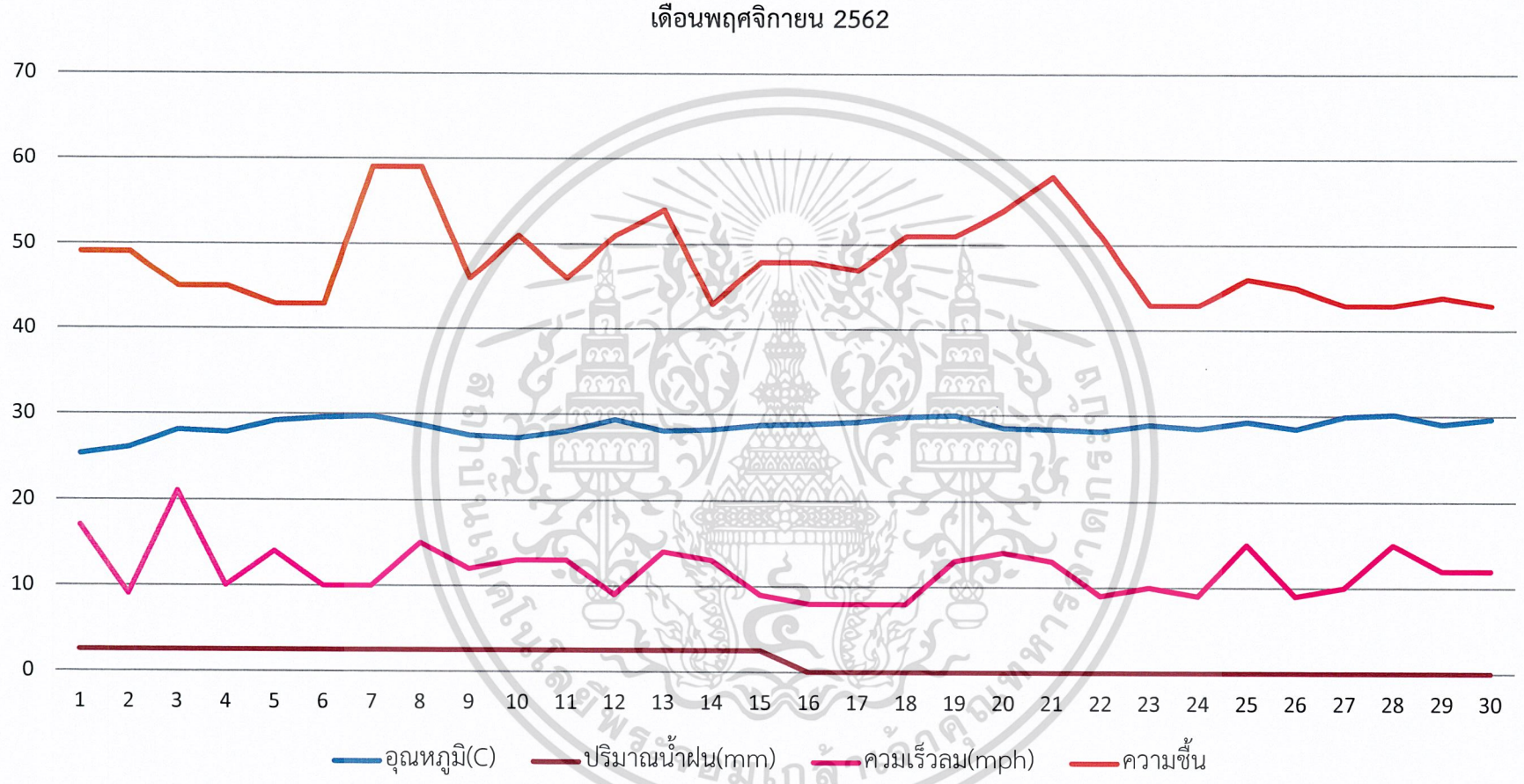
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



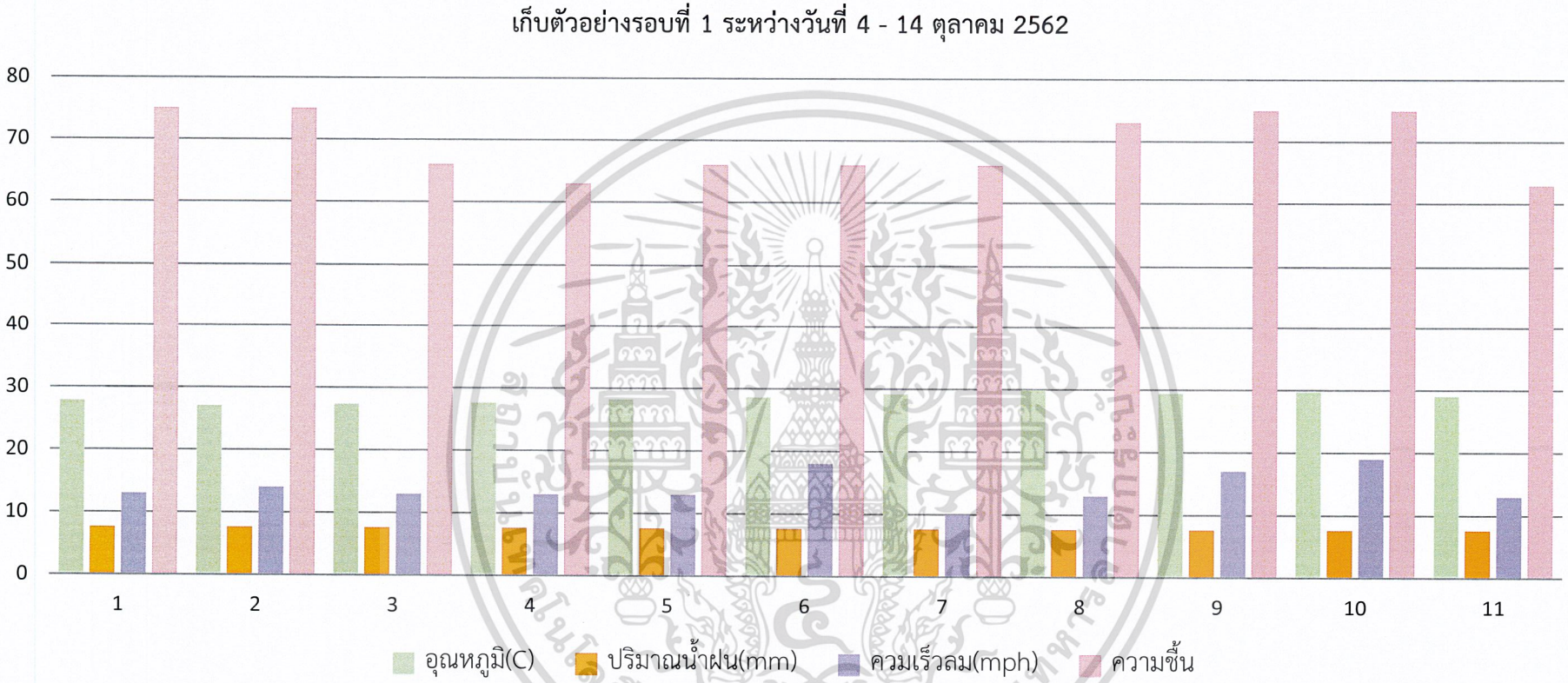
รูปที่ ต-1 แสดงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม และความชื้นของเดือนกันยายน 2562



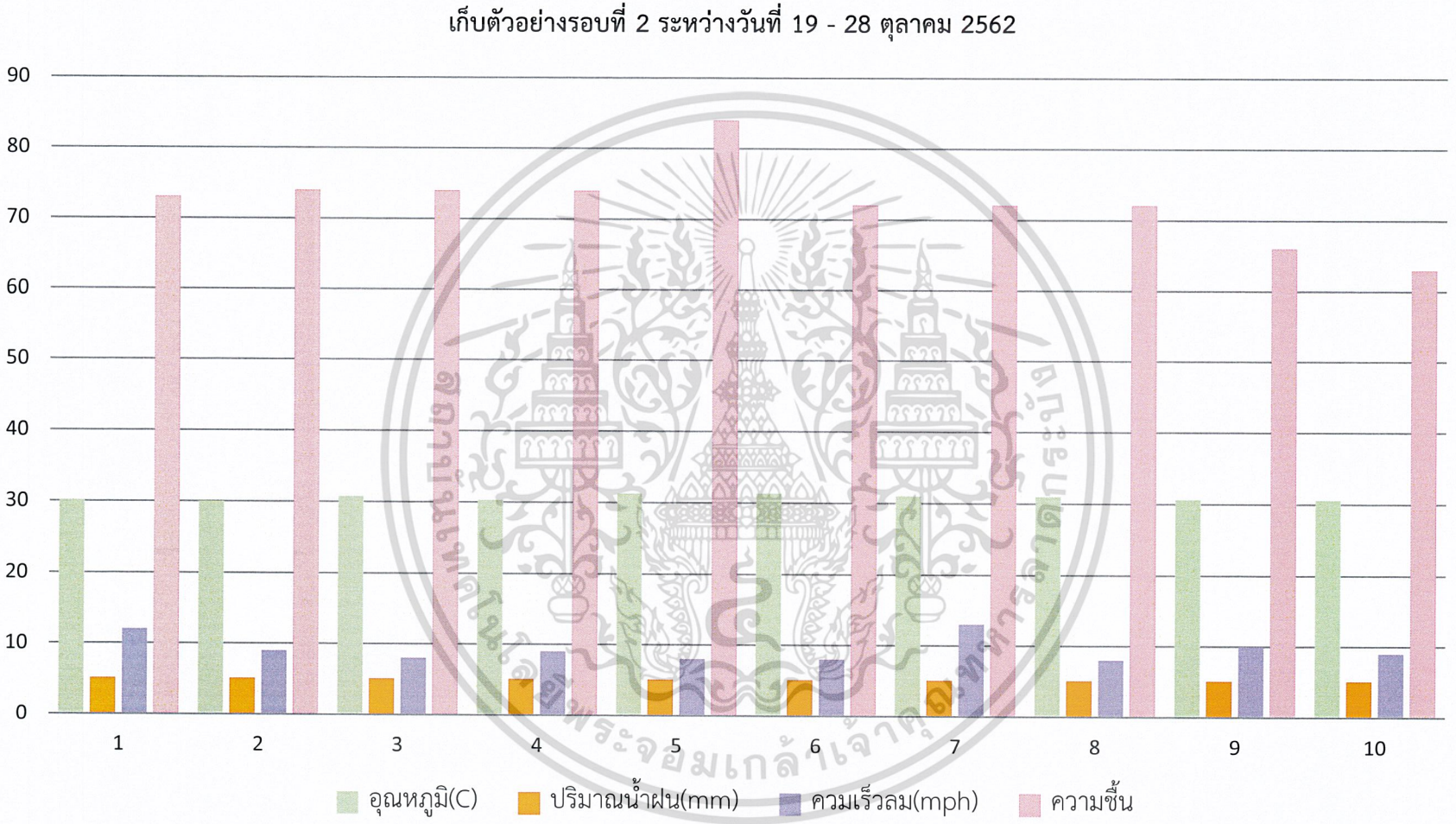
รูปที่ ต-2 แสดงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม และความชื้นของเดือนตุลาคม 2562



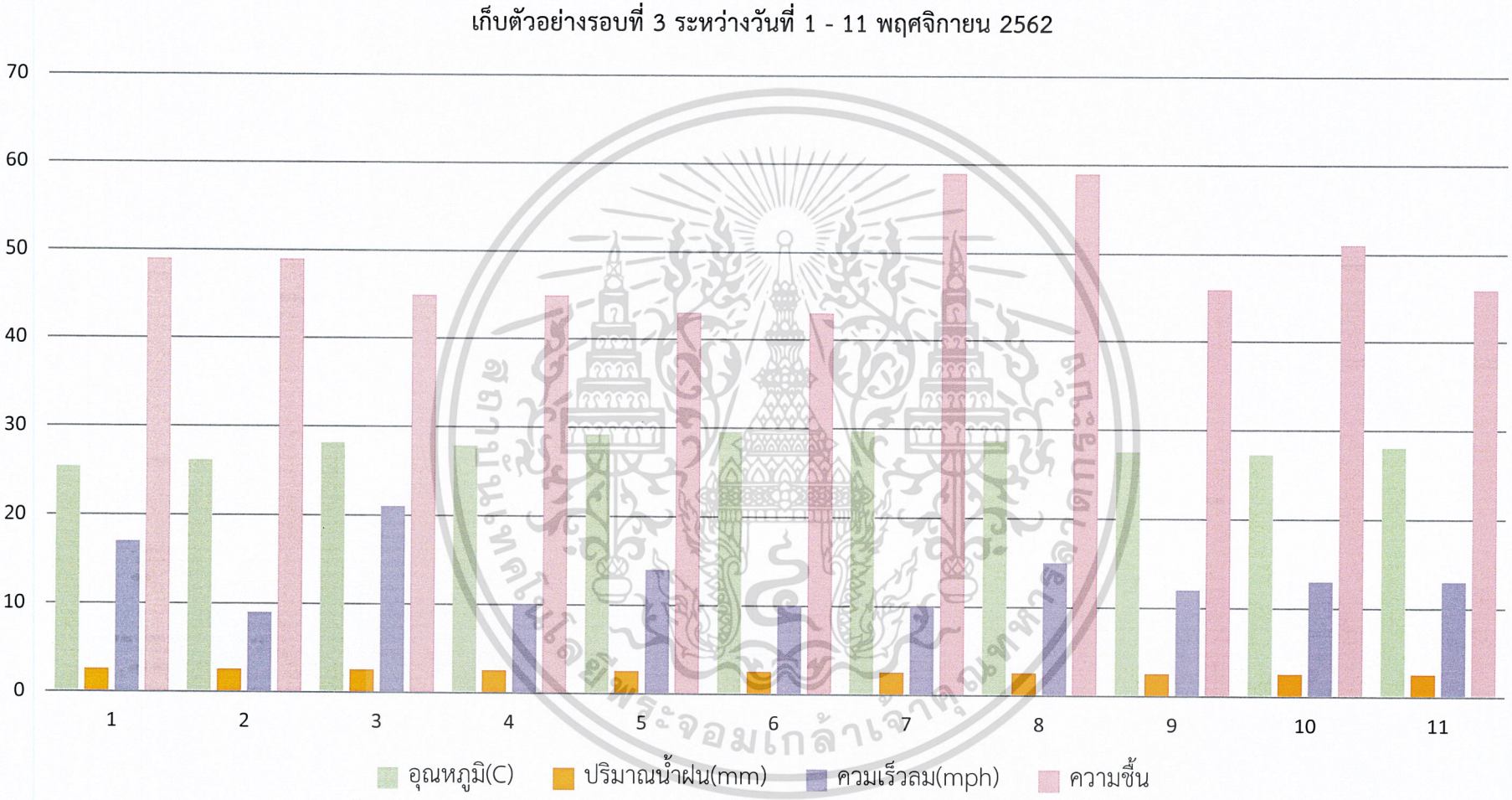
รูปที่ ต-3 แสดงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม และความชื้นของเดือนพฤศจิกายน 2562



รูปที่ ต-4 แสดงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลมและความชื้นของการเก็บตัวอย่างรอบที่ 1



รูปที่ ต-5 แสดงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลมของการเก็บตัวอย่างรอบที่ 2



รูปที่ ต-6 แสดงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลมของการเก็บตัวอย่างรอบที่