

การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ  
บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Using Lichen as Air Pollution Index at  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ  
บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Using Lichen as Air Pollution Index at  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Using Lichen as Air Pollution Index at  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
Using lichen as air pollution index at King Mongkut's  
Institute of Technology Ladkrabang

ชื่อนักศึกษา

นางสาว สุพรรณษา พุ่มสุวรรณ รหัสนักศึกษา 56050781  
นายอมรเทพ พรหมอยู่ รหัสนักศึกษา 56050791  
นางสาวอวิศญา ศุขะเนตร รหัสนักศึกษา 56050794

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

คณะ

วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

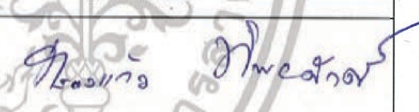

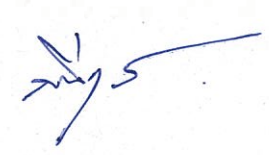
ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ประจำปีการศึกษา 2559

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อนักศึกษา	นางสาว สุพรรณษา พุ่มสุวรรณ รหัสนักศึกษา 56050781 นาย อมรเทพ พรหมอยู่ รหัสนักศึกษา 56050791 นางสาว อวิศญา ศุขะเนตร รหัสนักศึกษา 56050794
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

#### บทคัดย่อ

การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการสำรวจชนิดของไลเคนและตรวจวัดคุณภาพอากาศ จำนวน 11 จุด ระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ใช้วิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟชนิดหลอด โดยแขวนหลอดเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ 10 วัน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี พร้อมตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 4 วงศ์ (Family) 8 สกุล (Genus) 8 ชนิด (Species) คือ *Amandinea extunata*, *Trypethlium eluteriae*, *Graphid* sp., *Glyphis* & *Sacographa*, *Pyxine cocoes*, *Dirinaria* sp., *Physcia dimidiata* และ *Rinodina* sp. ซึ่งไลเคนที่พบมากที่สุดคือ ลายเส้น (*Graphid* sp.) ซึ่งเป็นไลเคนกลุ่มทนทาน และปริมาณของ SO<sub>2</sub> ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษา ในช่วงเดือนกันยายน – พฤศจิกายน 2559 ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.31 – 1.82 ppbv และปริมาณของ NO<sub>2</sub> อยู่ในช่วง 1.22 – 5.60 ppbv จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ One Way ANOVA พบว่า ปริมาณ SO<sub>2</sub> และ NO<sub>2</sub> ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (p > 0.05) ผลที่ได้จากการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศและตรวจวัดปริมาณ SO<sub>2</sub> และ NO<sub>2</sub> สรุปได้ว่า คุณภาพอากาศโดยรอบสถาบันนั้นอยู่ในระดับพอใช้

**คำสำคัญ :** ไลเคน, ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์, อุปกรณ์เก็บตัวอย่างพาสซีฟ

Title	Using lichen as air pollution index at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
Students	Miss Supansa Pumsuwan	Student ID 56050781
	Mr. Amorntep Promyou	Student ID 56050791
	Miss Awatsaya Sukanate	Student ID 56050794
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2016	
Advisor	Dr. Glinsukol Suwannarat	

### Abstract

According to the study on the Using lichen as air pollution index at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang The survey was conducted with samples of the lichen species around King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang 11 points from September to November 2016. Air samples were collected for determination of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) in the ambient air by using passive sampling. Passive sampling tubes were hung and leaved for 10 days. Ion chromatography was used for SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> analyzes.

The results found that a total of 4 lichen families, 8 genera, and 8 species *Amandinee extunata*, *Trypethlium eluteriae*, *Graphid* sp., *Glyphis* & *Sacographa*, *Pyxine cocoes*, *Dirinaria* sp., *Physcia dimidiata* and *Rinodina* sp. The major types were *Graphis* sp. which were high durability lichen. In September, October and November 2016, SO<sub>2</sub> concentration in each were range 0.31 – 1.82 ppb<sub>v</sub>, NO<sub>2</sub> concentration in each area range 1.22 – 5.60 ppb<sub>v</sub>. The statistical analysis of the ANOVA found that content in each area did not significantly different ( $p > 0.05$ ). For conclusion, that the ambient air quality around King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang was fair.

**Keywords** : Lichen, Sulfur Dioxide, Nitrogen Dioxide, Passive Sampler

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี สืบเนื่องจากความช่วยเหลือและความกรุณาของ  
ทุกๆท่านที่เกี่ยวข้อง ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้  
คำปรึกษา ติดตามตรวจสอบ ดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด และให้ คำแนะนำ ดิชม จนผลงานสำเร็จลุล่วง  
ไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาเป็นกรรมการ  
สอบโครงการพิเศษ ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ คุณปราณี บุญวัฒน์ ที่ได้ให้ความรู้ และคำแนะนำ สำหรับการใช้เครื่องมือ  
วิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีและ  
เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมีทุกท่าน และเพื่อนๆสาขาวิชาเคมีทุกคน ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์  
ต่อโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพล งามสวัสดิวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือสำหรับการจัดทำ  
โครงการพิเศษนี้ขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ที่คอยเป็นกำลังใจและเป็นแรงผลักดันในการสร้าง  
แรงบันดาลใจในการดำเนินโครงการพิเศษนี้ รวมถึงบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวที่คอยช่วยเหลือในการ  
ดำเนินงานครั้งนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุพรรณษา พุ่มสุวรรณ  
อมรเทพ พรหมอยู่  
อวัศญา ศุขเนตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฅ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 โลเคน	3
2.1.1 การดำรงชีวิต	5
2.1.2 ประเภทของโลเคน	5
2.1.3 ลักษณะโครงสร้างและรูปร่างของโลเคน	7
2.1.4 การขยายพันธุ์ของโลเคน	8
2.1.5 วงจรชีวิต	9
2.1.6 ประโยชน์ของโลเคน	10
2.2 โลเคนดัชนีคุณภาพอากาศ	12
2.2.1 คุณสมบัติของการเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของโลเคน	13
2.2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้โลเคนตรวจสอบคุณภาพอากาศ	13
2.3 โลเคนในเขตกรุงเทพมหานคร	14
2.3.1 กลุ่มทนทานสูง	15
2.3.2 กลุ่มทนทาน	17
2.3.3 กลุ่มอากาศดี	23
2.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน	25
2.4.1 แหล่งและปฏิกิริยาของออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx)	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ผลกระทบของไนโตรเจนออกไซด์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม	28
2.4.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	29
2.5 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	31
2.5.1 แหล่งกำเนิดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	32
2.5.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม	33
2.5.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	35
2.5.4 ข้อมูลระดับของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกรุงเทพมหานคร	36
2.6 วิธีเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟ	37
2.6.1 หลักการ	38
2.6.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟ	39
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40	
2.7.1 สุธีรา พฤษภากร (2550)	40
2.7.2 ราพรวน กันเจิม (2552)	40
2.7.3 เวชศาสตร์ พลเยี่ยม และคณะ (2552)	41
2.7.4 อมรรรัตน์ พิทักษ์พงษ์ (2552)	41
2.7.5 ชุมพล สานแดงและคณะ (2554)	42
2.7.6 จันทร์พิมพ์ สังขนารอดและคณะ (2555)	42
2.7.7 พล งามสวัสดิ์วงศ์และคณะ (2558)	43
2.7.8 กานต์สินี วงษ์วิวัฒน์และคณะ (2558)	43
2.7.9 Lindsay Seed <i>et al.</i> , (2013)	44
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง	45
3.1.1 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมรอบบริเวณที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างอากาศ	49
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	51
3.3 สารเคมี	51
3.4 วิธีการทดลอง	52
3.4.1 การสำรวจไล่เคนในจุดเก็บตัวอย่าง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ	52
3.4.3 การเตรียมตัวกลางดูดซับ	52
3.4.4 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	53
3.4.5 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	54
3.4.6 การทำกราฟมาตรฐาน	54
3.4.7 การวิเคราะห์ซัลเฟตไอออนโดยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี	56
3.4.8 การทำความสะอาดเครื่องแก้ว	56
3.4.9 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	56
3.4.10 การวิเคราะห์ข้อมูล	57
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	
4.1 การศึกษาชนิดปริมาณของไลเคนและปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม	60
4.1.1 ชนิดของไลเคน	60
4.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไลเคน	
รอบบริเวณที่ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่าง	69
4.2.1 ลักษณะของเปลือกไม้	71
4.2.2 เส้นรอบวงของต้นไม้	71
4.2.3 พีเอชของเปลือกไม้	72
4.2.4 ความชื้นแสง	73
4.2.5 อุณหภูมิ	74
4.2.6 ความชื้นสัมพัทธ์	75
4.2.7 ปริมาณน้ำฝน (Rain)	76
4.3 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	
ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ	77
4.4 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	
ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ	81
4.5 การเปรียบเทียบไลเคนที่พบกับปริมาณความเข้มข้นของ	
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	85
4.6 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	86
4.7 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการวิจัย	90
5.1.1 การศึกษาชนิด ปริมาณของไลเคน และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม	90
5.1.2 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสสิฟ	90
5.1.3 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก	96
ภาคผนวก ข	101
ภาคผนวก ค	107
ภาคผนวก ง	109
ภาคผนวก จ	111
ภาคผนวก ฉ	129
ภาคผนวก ช	147
ภาคผนวก ซ	149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทนทานมลพิษในอากาศ	14
2.2 การประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคน	24
2.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยทั่วไป	30
2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	30
2.5 ผลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อมนุษย์	34
2.6 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	35
2.7 ค่ามาตรฐานของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	35
2.8 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกรุงเทพมหานครปี 2558	37
3.1 จุดเก็บตัวอย่างและสำรวจพบไลเคน	45
3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต	55
3.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรต	55
4.1 รายชื่อชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด	60
4.2 ชนิดของไลเคนที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง	63
4.3 ปริมาณไลเคนที่พบในจุดเก็บตัวอย่าง	64
4.4 การเปรียบเทียบชนิดของไลเคน	65
4.5 พารามิเตอร์ที่วัดได้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง	70
4.6 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง	86
4.7 การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง	87
4.8 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง	88
4.9 การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บ	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเกิดไลเคน	4
2.2 <i>Lecidella elaeochoma</i>	6
2.3 <i>Foliose Lichens</i>	6
2.4 <i>Ramalina leptocarpha</i>	6
2.5 ไลเคนสปิชีส์ <i>Cladonia</i>	7
2.6 ภาพตัดตามขวางแทลลัสของไลเคน	8
2.7 ฟรุติติงบอดี	8
2.8 โครงสร้างการสืบพันธุ์ของไลเคนแบบไม่อาศัยเพศ	9
2.9 วงจรชีวิตของไลเคน	9
2.10 ไลเคนชนิด <i>Amandinea extunata</i> วงศ์ Physciaceae (ไฟพระอินทร์)	15
2.11 ไลเคนชนิด <i>Trypethelium</i> วงศ์ Trypetheliaceae (ร้อยรู)	15
2.12 ไลเคนชนิด <i>Pyxine cocoes</i> วงศ์ Physciaceae (หัตถ์ทศกัณฐกมน้ำแข็ง)	15
2.13 ไลเคนชนิด <i>Anthracotheicum</i> วงศ์ Pyrenulaceae (สิ่วหัวข้างจิ๋ว)	17
2.14 ไลเคนชนิด <i>Dirinaria</i> วงศ์ Physciaceae (ริ้วแพร)	17
2.15 ไลเคนชนิด <i>Graphid</i> วงศ์ Graphidaceae (ลายเส้น)	18
2.16 ไลเคนชนิด <i>Lecanora</i> วงศ์ Lecanoraceae (ร้อยเหรียญ)	18
2.17 ไลเคนชนิด <i>Rinodina</i> วงศ์ Physciaceae (จิตามะกอกดำ)	19
2.18 ไลเคนชนิด <i>Arthonia</i> วงศ์ Arthoniaceae (หลังตุ๊กแก)	19
2.19 ไลเคนชนิด <i>Bacidia</i> & <i>Caloplaca</i> วงศ์ Bacidiaceae & Teloschistaceae (โตรายากิ)	20
2.20 ไลเคนชนิด <i>Laurera benguelensis</i> วงศ์ Trypetheliaceae (ไทรทองโรยขมิ้น)	20
2.21 ไลเคนชนิด <i>Trypethelium tropicum</i> วงศ์ Trypetheliaceae (พริกไทยร้อยเม็ด)	20
2.22 ไลเคนชนิด (ก) <i>Glyphis</i> (สาครูถั่วดำ) และ (ข) <i>Sacograppha</i> (บั้งขนเทา)	22
2.23 ไลเคนชนิด <i>Physcia dimidiata</i> วงศ์ Physciaceae (สาวน้อยกระโปรงบานบางกอก)	22
2.24 ไลเคนชนิด <i>Chrysothrix</i> วงศ์ Chrysothricaceae (แป้งมณโฑ)	23
2.25 ไลเคนชนิด <i>Parmotrema inctorum</i> วงศ์ Parmeliaceae (ผักกาดหน่อแห้ง)	23
2.26 ไลเคนชนิด <i>Parmotrema praesorediosum</i> วงศ์ Parmeliaceae (ผักกาดหน่อฟอง)	24
2.27 กลไกระหว่างไฮดรอกไซด์กับออกไซด์ของไนโตรเจน	27
2.28 ปฏิกริยาระหว่างไอโซนกับออกไซด์ของไนโตรเจน	28
2.29 วัฏจักรซัลเฟอร์ (Sulfur Cycle)	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 กลไกการแพร่ของอากาศ	37
2.31 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	38
3.1 จุดเก็บตัวอย่างและสำรวจไลเคน	50
3.2 ตำแหน่งของกริดเฟรมสำหรับสำรวจไลเคน	52
3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	53
4.1 ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด	61
4.2 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 6 ครั้งของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	67
4.3 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 6 ครั้งของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	68
4.4 เส้นรอบวงของต้นไม้ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด	72
4.5 ค่าพีเอชของเปลือกไม้ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด	73
4.6 ความเข้มแสงเฉลี่ยระหว่างจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด	74
4.7 อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนกันยายน เดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559	75
4.8 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของเดือนกันยายน เดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559	75
4.9 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของเดือนกันยายน เดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559	76
4.10 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppb,) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ในเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559	79
4.11 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ในเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559	80
4.12 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb,) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ในเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559	83
4.13 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ในเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559	84

## คำย่อและสัญลักษณ์

TEA	ไตรเอทานอลามีน
sp.	สปีชีส์ (species)
kPa	กิโลปาสกาล
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที
$\text{m}^2\text{s}^{-1}$	ตารางเมตรต่อวินาที
$\text{mol m}^{-3}$	โมลต่อลูกบาศก์เมตร
mol	โมล
s	วินาที
m	เมตร
mL	มิลลิลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
$\mu\text{g}$	ไมโครกรัม
$\mu\text{L}$	ไมโครลิตร
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ppbv	ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร
N	ละติจูด (Latitude)
E	ลองจิจูด (Longitude)
MSL	ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level)
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
% w/w	ร้อยละโดยมวล
พ.ศ.	พุทธศักราช
มก./ลบ.ม.	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
รณก.	ระดับน้ำทะเลปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเราต้องเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมาย ซึ่งนับวันปัญหาดังกล่าวจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ปัญหามลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาใหญ่ปัญหาหนึ่งที่ควรตระหนักถึงและหาแนวทางในการแก้ไขอย่างจริงจัง ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีผลเชื่อมโยงกับการเกิดสภาวะโลกร้อน เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรม การเพิ่มจำนวนของประชากรอย่างรวดเร็ว สารมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาสำคัญ ได้แก่ ฝุ่นละออง และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO<sub>2</sub>) รวมถึง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ซึ่งมลพิษเหล่านี้นอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยตรงแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศของโลก เช่น การทำลายชั้นโอโซน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก เป็นต้น มลภาวะทางอากาศ เป็นภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอ และเป็นระยะเวลาานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อมนุษย์ สัตว์ พืช ซึ่งสารเจือปนดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นที่ทราบกันดีว่าในปัจจุบันนี้ทั่วภูมิภาคของโลกกำลังประสบปัญหาเรื่องมลภาวะเป็นพิษ และได้มีการณรงค์ให้มนุษย์ได้ตระหนักถึงภัยร้ายแรงที่ส่งผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศของโลก ซึ่งก่อนหน้านี้สภาพสิ่งแวดล้อมอยู่ในสภาวะสมดุลตามธรรมชาติ มีการหมุนเวียนเป็นวงจรของมันเป็นเอง แต่ในปัจจุบันนี้มีวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยี ปริมาณของอากาศเสียที่ถูกปล่อยออกมาจะทำให้สมดุลเสียไป เช่นเดียวกับกับบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีบริเวณพื้นที่ใกล้กับเขตนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่งผลกระทบต่อปริมาณของรถที่สัญจรเพิ่มมากขึ้นจนส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศบริเวณโดยรอบ

ในการทำการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไลเคนกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เปรียบเทียบกับงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ ปีการศึกษา 2554 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างต่างฤดูกาลกับงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังพบปัญหาการจราจรที่มากขึ้น โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ เพื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซดังกล่าวในแต่ละจุดที่ตรวจพบไลเคน เนื่องจากเทคนิคนี้มีต้นทุนต่ำและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งสามารถใช้ตรวจวัดมลสารได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ในบรรยากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลเคนกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ที่มีอยู่ในบรรยากาศบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษามลพิษทางอากาศที่เกิดจากความเข้มข้น ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในบรรยากาศบริเวณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อยู่ในอากาศโดยใช้โลเคนเป็นดัชนีชี้วัด ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของโลเคน โดยได้ทำการศึกษาในเขตบริเวณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 11 จุดเพื่อศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศว่ามีความสัมพันธ์กับชนิดของโลเคนของบริเวณที่ทำการศึกษาใช้วิธีการเก็บอากาศแบบ พาสสิฟ มีระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง โดยการแขวนหลอดเก็บตัวอย่างทิ้งไว้ตามจุดเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 10 วัน ทำการเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่ช่วงเดือน กันยายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2559

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ในอากาศที่มีอยู่ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) เพื่อทราบถึงผลกระทบของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ที่มีผลต่อชนิดของโลเคนในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3) สามารถเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) กับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศทั่วไปในบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ไลเคน (Lichen)

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เกาะอาศัยอยู่บนผิวหน้าของสิ่งต่างๆ โดยพบทั้งบนวัสดุธรรมชาติ เช่น เปลือกไม้ ใบไม้ หิน เป็นต้น และวัสดุก่อสร้าง เช่น ขวดแก้ว แผ่นป้ายโลหะ กำแพง ฯลฯ ไลเคนประกอบขึ้นด้วย สิ่งมีชีวิตที่เรียกว่า รา (fungi) และสาหร่าย (algae) ซึ่งราในไลเคนเรียกว่า มายคอบิออนท์ (Mycobiont) กับสาหร่าย (algae) โดยเรียกสาหร่ายในไลเคนว่า โฟโตไบออนท์ (Photobiont) มีสองกลุ่มคือ สาหร่ายสีเขียว (green algae) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) โดยราทำหน้าที่เก็บความชื้นและป้องกันอันตรายให้สาหร่าย ส่วนสาหร่ายทำหน้าที่สร้างอาหารและแบ่งปันให้รา ดังนั้นทั้งราและสาหร่ายต่างเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน ทำให้ไลเคนเกิดขึ้นได้แม้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ (มหาวิทยาลัยรามคำแหง 2559)



รูปที่ 2.1 การเกิดไลเคน (หน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 การดำรงชีวิต

สาหร่ายใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จากบรรยากาศ และน้ำในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารแล้วแบ่งให้ราก ส่วนรากช่วยรักษาความชื้นให้สาหร่ายและปกป้องสาหร่ายจากสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ร้อนจัดหรือหนาวจัด ไลเคนมีรูปลักษณ์ที่แตกต่างไปจากต้นกำเนิดทั้งสองโดยสิ้นเชิงและส่วนมากมีขนาดเล็ก จึงไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร ไลเคนจะเกิดขึ้นได้เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเติบโตของทั้งสองฝ่ายโดยทั่วไปจะไม่พบรา ไลเคนจะเติบโตอยู่อย่างอิสระตามธรรมชาติแต่เราสามารถพบสาหร่ายเติบโตอยู่ได้เอง ไลเคนพบได้ทั่วไปตั้งแต่ที่หนาวจัดแถบขั้วโลก (Tundra) จนถึงร้อนและแห้งแล้งแบบทะเลทราย (Desert) รวมถึงร้อนชื้น (Tropic) เช่น ประเทศไทยแต่ไลเคนไม่สามารถเติบโตได้ในสถานที่ที่มีมลภาวะทางอากาศ โดยจะเห็นว่าในเมืองใหญ่ๆ และในเขตอุตสาหกรรมนั้นปราศจากไลเคนด้วยเหตุนี้จึงมีผู้นิยมใช้ไลเคนเป็นดัชนี (bioindicator) บ่งชี้คุณภาพอากาศ

ในต่างประเทศมีการสำรวจและศึกษาไลเคนอย่างแพร่หลายมานานนับศตวรรษจนถึงปัจจุบัน ส่วนในประเทศไทยเริ่มมีการสำรวจที่เกาะช้างในปี พ.ศ. 2453 โดยนักพฤกษศาสตร์ชาวฟินแลนด์ หลังจากนั้นก็มีนักวิทยาศาสตร์ต่างประเทศเข้ามาศึกษาสำรวจอีกหลายครั้งตัวอย่างไลเคนเหล่านี้ถูกนำมาเก็บอยู่ในพิพิธภัณฑ์ต่างประเทศส่วนการศึกษาไลเคนของนักพฤกษศาสตร์ชาวไทยเริ่มต้นอย่างจริงจังเมื่อปี พ.ศ. 2537 และต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันไลเคนที่เก็บรวบรวมได้มีประมาณ 20,000 ตัวอย่างประกอบด้วย 14 อันดับ 55 วงศ์ 127 สกุลและ 420 ชนิดได้พบไลเคนชนิดใหม่ของโลก 7 ชนิดและอยู่ในระหว่างตีพิมพ์เผยแพร่อีก 32 ชนิดอย่างไรก็ตามคาดว่าน่าจะมีไลเคนมากกว่าเท่าที่มีรายงานการสำรวจไลเคนในประเทศไทย (กัณฑ์ศรี, 2544)

นักพฤกษศาสตร์ประเมินว่ามีไลเคนประมาณ 17,000 - 25,000 ชนิดทั่วโลกไลเคนพบได้ทั่วไปตั้งแต่ที่หนาวจัดแถบขั้วโลก (Tundra) จนถึงร้อนและแห้งแล้งแบบทะเลทราย (Desert) รวมถึงร้อนชื้น (Tropic) เช่นประเทศรัสเซียชิลีไทยและบราซิล เป็นต้น (กรมป่าไม้, 2559) แต่ไลเคนบางชนิดไม่สามารถเติบโตได้ในสถานที่ที่มีมลภาวะทางอากาศโดยจะเห็นได้ว่าในเมืองใหญ่ๆ และในเขตอุตสาหกรรมนั้นจะไม่พบไลเคนเจริญเติบโต (กัณฑ์ศรี, 2550) ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้นิยมใช้ไลเคนเป็นดัชนี (Bioindicator) บ่งชี้คุณภาพอากาศนอกจากนี้ไลเคนยังสร้างธรรมชาติที่แตกต่างไปจากพืชชั้นสูงซึ่งสารธรรมชาติจากไลเคนหลายชนิดถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางมาเป็นเวลานานและยังมีอีกหลายชนิดที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกมาก

### 2.1.2 ประเภทของไลเคน

ไลเคนแต่ละชนิดเกิดจากราชนิดหนึ่งจับคู่กับสาหร่ายอีกชนิดหนึ่งเท่านั้นความหลากหลายของชนิดไลเคนขึ้นอยู่กับชนิดของราเป็นสำคัญราที่เป็นต้นกำเนิดไลเคนมีประมาณ 13,500 ชนิดส่วนสาหร่ายในไลเคนมีประมาณ 100 ชนิดอยู่ใน 40 สกุลเท่านั้นผลของการอยู่ร่วมกันของราและสาหร่ายทำให้เกิดโครงสร้างซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวของไลเคนเรียกว่าทาลัส (Thallus) สามารถแบ่งไลเคนออกเป็น 4 กลุ่มคือ

1) ครัสโตส (Crustose) มีลักษณะคล้ายฝุ่นผงอัดตัวกันเป็นแผ่นบางๆติดอยู่ตามเปลือกไม้หรือหินมีชั้นผิวชั้นบนด้านเดียวส่วนด้านล่างแนบสนิทกับวัตถุที่เกาะ



รูปที่ 2.2 *Lecidella elaeochoma* (Pete Hillman, 2016)

2) โฟลิโอส (Foliose) มีลักษณะคล้ายแผ่นใบบางๆมีชั้นผิว 2 ด้านด้านบนสัมผัสอากาศ ส่วนด้านล่างมีส่วนที่คล้ายรากที่เกิดจากเส้นใยของราเรียกว่าไรซีน (Rhizine) ใช้เกาะกับวัตถุยึดติด



รูปที่ 2.3 *Foliose Lichens* (University of Wisconsin, 2016)

3) ฟรุติโคส (Fruticose) หรือพวกพุ่มกอมมีลักษณะเป็นกิ่งก้านหรือเส้นสายคล้ายรากฝอยกับรากแขนงแต่อยู่ในอากาศ



รูปที่ 2.4 *Ramalina leptocarpha* (Ken-ichi Ueda, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4) สะแควมูโลส (Squamulose) มีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆคล้ายเกล็ดปลา



รูปที่ 2.5 ไลเคนสปี้ชีส์ *Cladonia* (Kris H. Light, 2016)

##### 2.1.3 ลักษณะโครงสร้างและรูปร่างของไลเคน

เมื่อตัดไลเคนตามขวางเพื่อดูโครงสร้างภายในที่ลึกลับจะเห็นได้ว่าประกอบขึ้นจากเส้นใยของราที่เรียกว่าไฮฟี (Hyphae) กับสาหร่าย (หน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2559) โครงสร้างภายในของไลเคนแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน หลัก ๆ ดังนี้

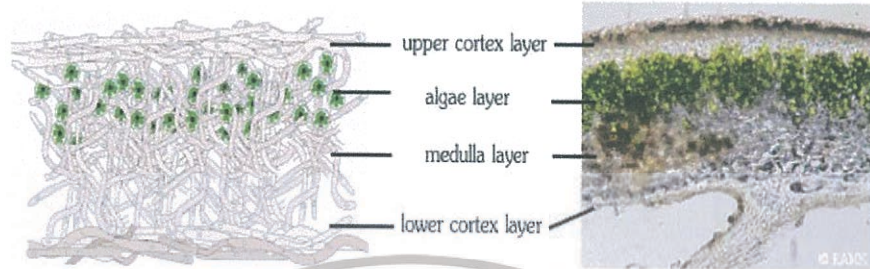
1. ชั้นคอร์เท็กซ์บน (upper cortex layer) เป็นชั้นที่อยู่ด้านบนสุดของแทลัสส์ ชั้นคอร์เท็กซ์บนมีหน้าที่สำคัญคือป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะความเข้มแสงสูง และการกีดกันของสัตว์จำพวกแมลง ไลเคนส่วนใหญ่มีชั้นนี้แต่ไลเคนบางชนิดอาจไม่มี

2. ชั้นสาหร่าย (algae layer) เป็นชั้นที่อยู่ด้านล่างของชั้นคอร์เท็กซ์บน มีหน้าที่สำคัญคือสร้างอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สาหร่ายในชั้นนี้เรียกว่า photobiont (เรียก phycobiont สำหรับสาหร่าย และเรียก cyanobiont สำหรับ cyanobacteria/blue green algae) ไลเคนส่วนใหญ่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ มีสาหร่ายสีเขียว (green algae) เป็นองค์ประกอบของชั้นนี้, ประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นไซยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria หรือ blue-green algae) ประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ มีทั้งไซยาโนแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียว รู้จักกันในชื่อ cephalodiate lichens และ photosymbiodemes และอีกประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์เป็นสาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae)

3. ชั้นเมดัลลา (medulla layer) ชั้นนี้เป็นชั้นของรา อยู่ถัดจากชั้นสาหร่ายลงมา ราในไลเคน เรียกว่า mycobiont ส่วนใหญ่เป็นราในกลุ่ม Ascomycota (ca. 98%) มีส่วนน้อยเป็นราในกลุ่ม Basidiomycota (ca.0.4%) และกลุ่ม Deuteromycota/anamorphic fungi/fungi imperfecti/imperfect fungi ประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ (Honegger, 2008) ชั้นนี้มีหน้าที่สำคัญคือกักเก็บความชื้นและสร้างสารที่จำเป็นต่อการเติบโตและการอยู่รอดของไลเคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชั้นคอร์เท็กซ์ล่าง (lower cortex layer) เป็นชั้นที่อยู่ล่างสุดของแทลลัส มีหน้าที่หลักคือยึดเกาะกับพื้นที่ยึดเกาะอาศัย (substrate) โไลเคนบางชนิดมีชั้นนี้ แต่บางชนิดไม่มี โดยเฉพาะไลเคนในกลุ่มครัสโตส

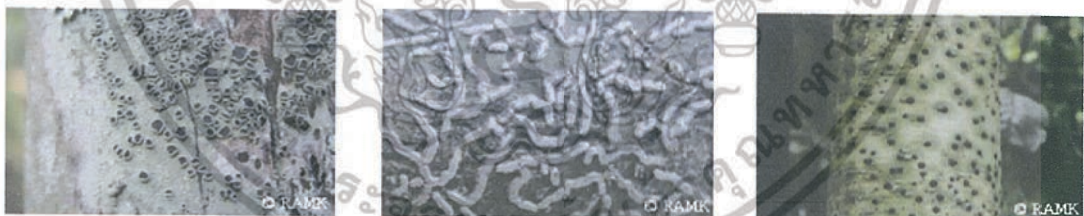


รูปที่ 2.6 ภาพตัดตามขวางแทลลัสของไลเคน (ภาพด้านซ้ายคือภาพจำลอง ภาพด้านขวาคือภาพจริง) (หน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2559)

#### 2.1.4 การขยายพันธุ์ของไลเคน

การขยายพันธุ์ของไลเคนเกิดขึ้นได้ 2 วิธีคือ

1) แบบอาศัยเพศ (Sexual reproduction) โดยการที่ราสร้างโครงสร้างที่เรียกว่าฟรุติติงบอดี (Fruiting body) สำหรับขยายพันธุ์ (เปรียบเทียบกับผลไม้ของพืช) โครงสร้างนี้ประกอบด้วยแอโพทีเซีย (Apothecia) ซึ่งมีลักษณะคล้ายถ้วยจานหรือคนโทส่วนเพอริทีเซีย (Perithecia) มีลักษณะคล้ายภูเขาไฟหรือระฆังคว่ำภายในบรรจุสปอร์เมื่อแอโพทีเซียหรือเพอริทีเซียแก่สปอร์จะถูกปล่อยออกไปและแพร่ไปที่กระแสน้ำด้วยกระแสน้ำแมลงหรือพาหะอื่นๆเมื่อตกถึงพื้นที่ที่เหมาะสมสปอร์ของราจะต้องพบกับสาหร่ายที่เหมาะสมจึงจะเติบโตเป็นไลเคนได้



แอโพทีเซียแบบจาน  
(disc-like apothecia)

แอโพทีเซียแบบริมฝีปาก  
(lirelate apothecia)

เพอริทีเซีย  
(perithecia)

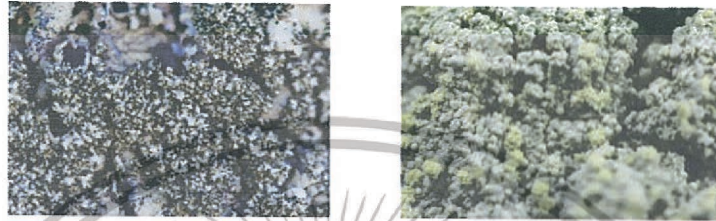
รูปที่ 2.7 ฟรุติติงบอดี (หน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual reproduction) โดยการฉีกขาดของทลีสแลงออกเป็นไลเคนต่อไปหรือไลเคนสร้างโครงสร้างที่มีทั้งราและสาหร่ายอยู่ด้วยกันมี 2 ลักษณะคือ

ไอซิเดีย (Isidia) ลักษณะรูปแท่งคล้ายเข็มเล็กๆจำนวนมากซึ่งหักง่ายจะถูกพาไปยังที่ต่างๆ ด้วยวิธีเดียวกับสปอร์

ซอริเดีย (Soredia) ประกอบด้วยเส้นใยราและสาหร่ายที่ประสานกันอย่างหลวมๆอยู่ที่ผิวของไลเคนมีลักษณะคล้ายขนมถ้วยฟูเล็กๆ

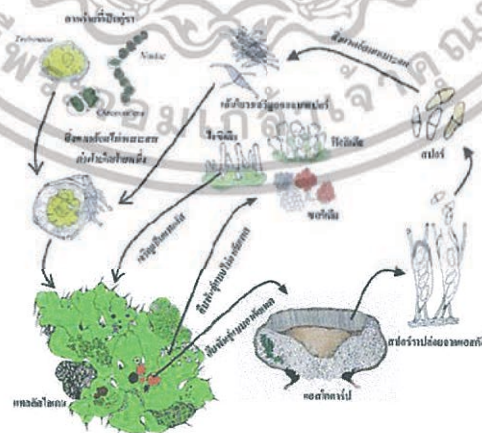


รูปที่ 2.8 โครงสร้างการสืบพันธุ์ของไลเคนแบบไม่อาศัยเพศ (Ken-ichi Ueda, Eagle Hill Institute Washington, 2016)

วิธีการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศนี้ส่วนที่หลุดออกไปสามารถเติบโตเป็นไลเคนตัวใหม่ได้ทันทีเพราะมีทั้งราและสาหร่ายอยู่แล้วแต่ต้องถูกพาไปยังที่ที่เหมาะสมจึงเติบโตได้

### 2.1.5 วงจรชีวิต

เมื่อราและสาหร่ายรวมตัวกันจนเกิดเป็นไลเคนพอถึงระยะหนึ่งไลเคนจะสร้างโครงสร้างสืบพันธุ์ได้แก่แอโพธิเซียเพอริทีเซียไอซิเรียซอริเดีย เป็นต้นซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะเจริญต่อไปเป็นไลเคนทลีสใหม่ต่อไป



รูปที่ 2.9 วงจรชีวิตของไลเคน (หน่วยวิจัยไลเคนมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 ประโยชน์ของไลเคน

ไลเคนถูกนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ยุคอียิปต์โบราณจนถึงปัจจุบันในหลายๆด้าน (สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย 2559) ดังนี้

#### 1) ด้านอาหาร

ไลเคนไม่มีแป้งที่แท้จริงหรือแม้แต่เซลลูโลส (cellulose) แต่มีสารพวกไลเคนิน (lichenin) ที่ผนังเซลล์ของไฮฟีของรา ซึ่งนำมาใช้เป็นอาหารได้ แต่ต้องกำจัดสารบางอย่างที่ไม่ต้องการออกก่อน ในซีกโลกทางเหนือมีไลเคน *Cetraria islandica* หรือ Iceland moss ซึ่งเมื่อนำมาผ่านกระบวนการที่กำจัดรสขมของสารไลเคนออกไปแล้วนำมาทำซूपหรือต้มกับนมรับประทานเป็นอาหารและยาช่วยย่อย นอกจากนี้ยังใช้ปนเป็นผงผสมแป้งทำขนมปังกรอบ สำหรับนักเดินเรือ เรียกว่า "sea biscuit" ทำให้ขนมปังกรอบอยู่ทนนานไม่ถูกแมลงรบกวน ส่วนในฟินด์แลนด์นำไลเคนนี้กับไลเคน *Cladonia* sp. หรือ reindeer moss ผสมกับแป้งไรน์ (Rye) ใช้ในการทำขนมปัง

#### 2) การหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

นอกจากคุณสมบัติในการเป็นแอสตรินเจนของ *Cetraria islandica* และ *Lobaria pulmonaria* ทำให้ถูกนำมาใช้ในการฟอกหนังแล้ว ยังพบว่า *Lobaria pulmonaria* ถูกนำมาแทนที่ฮอป (hop) ในการหมักทำเบียร์ ในไซบีเรียมีการเก็บไลเคนที่เติบโตบนต้นสน มาหมักทำเบียร์ซึ่งได้เบียร์ที่มีรสชาติคล้ายกับที่หมักด้วยฮอปมาก แต่แรงกว่า ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีการใช้ไลเคนในการทำเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่นในสวีเดน ไลเคนที่ใช้มีหลายชนิด เช่น *Cladonia rangiferina*, *Cetraria islandica*, *Alectoria jubata*, *Physia ciliaris*, *Ramalina fraxinea* และ *Usnea florida* เป็นต้น โดยต้องนำไลเคนมาผ่านกรรมวิธีต่างๆ เพื่อให้ lichenin เปลี่ยนเป็น glucose แล้วจึงหมักให้เป็นแอลกอฮอล์ พบว่า *Cladonia rangiferina* มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 68 ทำให้กลายเป็นเบียร์ที่มีคุณภาพดี โดยไลเคน 1 กิโลกรัมสามารถกลั่นเป็นแอลกอฮอล์ได้ถึงครึ่งลิตร มีการตั้งโรงงานกลั่นสุราจากไลเคนในสวีเดน แต่ต้องปิดกิจการไปใน ค.ศ. 1884 เนื่องจากหาวัตถุดิบได้ไม่พอเพียง

#### 3) ด้านสมุนไพรและยา

ชาวอียิปต์โบราณใช้ไลเคนเป็นส่วนประกอบของยาและสมุนไพรโดยใน ค.ศ. 1864 มีการค้นพบโกลด์ที่บรรจุเมล็ดและส่วนของพืชต่างๆ รวมทั้งไลเคนที่มีอายุประมาณ 1700-1800 ปีก่อนคริสตกาล ไลเคนที่พบคือ *Evernia furfuracea* ซึ่งไม่เติบโตในอียิปต์ จึงเข้าใจว่า ไลเคนชนิดนี้ถูกสั่งเข้ามาพร้อมกับ *Cetraria islandica* ในฐานะยาจากต่างแดน

ในยุโรปประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 15 มีความเชื่อแนวทางธรรมชาติในการบำบัดรักษามีไลเคนหลายชนิดที่ใช้รักษาโรคและอาการได้ เช่น *Usneabarbata*, *Lobaria pulmonaria*, *Xanthoria parietina*, *Peltigera canina* เป็นต้น ไลเคนที่มีรสขม เช่น *Pertusaria amara* ถูกใช้แทนควินิน ไลเคนชนิดนี้ผู้เขียนเคยพบที่อุทยานแห่งชาติขุนตาล *Cetraria islandica* ซึ่งมีสาร cetrarin เป็นไลเคนที่ถูกใช้อย่างกว้างขวาง พบว่าสารนี้ ช่วยแก้กล้ามเนื้อในกระเพาะอาหารเคลื่อนที่อาจช่วยทำให้การย่อยอาหารดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็น สารที่ทำให้ประสาทตื่นตัว (nerve excitement) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4) พืชของไลเคน

ไลเคนผลิตกรดอินทรีย์ขึ้นมาหลายชนิด ซึ่งอาจจะคายเคืองบ้างเมื่อรับประทานเข้าไป แต่ไลเคนส่วนมากไม่มีพิษ พบไลเคน 2 ชนิดที่มีพิษ คือ *Letharia vulpina* และ *Cetraria pinastri* ซึ่งชาวยุโรปเหนือใช้เป็นยาเบื่อสุนัขจิ้งจอก

#### 5) การฟอกย้อม

คุณสมบัติในการเป็นแอสตรินเจนของไลเคนสปีชีส์ดังต่อไปนี้คือ *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ทำให้ถูกนำมาใช้ในการฟอกหนัง

#### 6) ไลเคนเป็นสีย้อม

การใช้ไลเคนเป็นสีย้อมมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณไลเคนที่รู้จักกันดีคือ *Rocella tinctoria* และ *Rocella* spp. ให้สีออซิลล์ (Orchil) เป็นโทนสีม่วงฝรั่งเศสและฮอลแลนด์เป็นประเทศที่สกัดสีจากไลเคนและนำไปผลิตเป็นการค้าสีจากไลเคนสามารถใช้ย้อมเส้นใยจากสัตว์เช่นขนสัตว์และไหมได้ดีแต่ย้อมเส้นใยจากพืชเช่นฝ้ายไม่ได้ (กัณทรีย์, 2550)

นอกจากนี้ยังมีไลเคนอีกหลายชนิดที่ให้สีย้อมต่างๆเช่น

- *Lecanora tartarea*, *Parmelia saxatilis* ให้สีแดง
- *Parmelia omphalodes*, *Parmelia saxatilis* ให้สีน้ำตาล
- *Haematomma ventosum*, *Haematomma occineum* ให้สีน้ำตาลแดง
- *Xanthoria parietina*, *Cetraria funlperium*, *Pertusaria melaleuca* และ *Usnea barbata* ให้สีเหลือง
- *Candellariella vutellina* และ *Xanthoria lichnea* ให้สีเหลืองเช่นกันซึ่งใช้ย้อมเทียนในพิธีทางศาสนาในสวีเดน

กระดาษลิตมัสซึ่งใช้ทดสอบความเป็นกรดและด่างอย่างแพร่หลายเตรียมได้จากสารที่ได้จากไลเคนโดยในสภาพที่เป็นกลางให้สีม่วงเมื่อเป็นกรดให้สีแดงและเป็นด่างให้สีน้ำเงิน

#### 7) ไลเคนในน้ำหอม

ประเทศฝรั่งเศสใช้ไลเคนสปีชีส์ *Evernia prunastri* ซึ่งเรียกว่า oak moss ผสมในน้ำหอมเพื่อให้เกิดกลิ่นชื่นใจและยังติดทนนานโดยใช้สารสกัดจากไลเคนเหล่านี้ผสมกับกลิ่นอื่นๆ

#### 8) ไลเคนทำความสะอาด

ในศตวรรษที่ 17 มีการใช้ผงจากไลเคนสปีชีส์ *Ramalina calciaris* ในการทำความสะอาดปราสาทจอร์เจีย

#### 9) การใช้ไลเคนบอกอายุหินและโบราณวัตถุ

เมื่อผิวหน้าวัตถุใดๆ เริ่มเปิดหรือสัมผัสอากาศ จะมีไลเคนเข้ามาเกาะอาศัยและเติบโต ทำให้ขนาดของไลเคนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุไลเคนที่นิยมใช้ในกรณีนี้คือ ไลเคนมีอายุยืนยาวมาก *Rhizocarpon geographicum* มีรายงานว่าไลเคนในเขตทุนตราบางชนิด มีอายุยืนยาวถึง 4,000 ปี เมื่อเราทราบอัตราการเติบโตของ ไลเคนก็จะสามารถประเมินอายุของวัตถุนั้นได้ วิธีการนี้เรียกว่า ไลเคนโนเมตรี (Lichenometry) ใช้ประเมินอายุของหินและโบราณสถาน

## 10) ไลเคนเป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศ

ไลเคนสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพทางอากาศได้โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับไลเคน ผลกระทบของมลภาวะทางอากาศที่มีต่อไลเคนที่ได้รับความสนใจและศึกษากันมากเริ่มมาจาก SO<sub>2</sub> ซึ่งเป็นสาเหตุของความเป็นกรดในน้ำฝน หมอกและน้ำค้างในเมืองและเขตอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ต่อมาได้มีการศึกษาถึงผลกระทบมลภาวะทางอากาศอื่นๆ เช่น NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> และโลหะหนักด้วยที่มีต่อไลเคน

## 2.2 ไลเคนดัชนีคุณภาพอากาศ (เสถียร, 2559)

ไลเคนเป็นทรัพยากรทางชีวภาพที่มีความสำคัญมีส่วนช่วยทำให้อากาศบริสุทธิ์ขึ้นโดยการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ไลเคนมีหลายชนิดซึ่งมีความไวต่อสารมลพิษในอากาศจึงสามารถใช้ในการประเมินคุณภาพอากาศและทำนายสภาพของป่าไม้ อีกทั้งใช้ประมาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ได้ด้วย

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่ทนทานต่อมลพิษทางอากาศการหายไปหรือการปรากฏขึ้นของไลเคนบางชนิดรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของไลเคน เช่น การเกิดการฟอกขาวของไลเคนเนื่องจากวิกฤตก๊าซมลพิษในอากาศจึงสามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศได้ไลเคนถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้มลพิษทางอากาศที่แพร่หลายในประเทศแถบยุโรปและอเมริกาโดยมีวิธีมาตรฐานต่างๆ ในการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

นอกจากนี้จำนวนประชากรสามารถสะท้อนถึงระดับของผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ซึ่งสัมพันธ์ผกผันกับความหลากหลายชนิดและจำนวนของไลเคนโดยในเขตตัวเมืองที่มีประชากรหนาแน่นและพื้นที่ใกล้เขตอุตสาหกรรมจะพบความหลากหลายชนิดและจำนวนของไลเคนลดลงขณะที่เขตนอกตัวเมืองที่มีจำนวนประชากรน้อยกว่าพบความหลากหลายชนิดของไลเคนเพิ่มขึ้น

### ข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมดังนี้

1. สภาพแวดล้อมไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง
2. มีความแห้งแล้งและเปียกสลับกัน
3. มีที่ยึดเกาะ
4. มีสารอาหารน้อย

นักวิทยาศาสตร์บางท่านกล่าวว่าไลเคนคือราที่มีวิวัฒนาการถึงขีดสุด เนื่องจากสามารถสังเคราะห์แสงได้แต่ไลเคนไม่เหมือนราทั่วไปคือไม่เป็นกาฝากคอยดูดธาตุอาหารจากต้นไม้ที่เกาะอยู่และยังไม่ก่อโรคให้ต้นไม้ที่เกาะอยู่อีกด้วย

### 2.2.1 คุณสมบัติของการเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของไลเคน (VerinDeutscher Ingenieure, 1995)

- 1) ไลเคนได้รับแร่ธาตุสารอาหารจากบรรยากาศโดยตรง
- 2) ไลเคนไม่มีแว็กซ์ (Wax) และคิวทิเคิล (Cuticle) ช่วยปกป้องโครงสร้างภายในของไลเคนเช่นเดียวกับพืชชั้นสูงที่มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งเคลือบป้องกันอยู่ถ้าอากาศมีมลพิษสารพิษจะเข้าถึงไลเคนเพื่อทำอันตรายได้โดยตรง
- 3) ไลเคนไม่มีการผลัดใบต่างจากพืชทั่วไปจึงสะสมสารพิษไว้ได้
- 4) ในสภาพอากาศที่ชื้นไลเคนจะมีความอ่อนไหวต่อมลภาวะทางอากาศเนื่องจากไลเคนมีการเพิ่มอัตราการทำงานของกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) โลเคนมีการทำงานของกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ที่อุณหภูมิต่ำต้งนั้นโลเคนสามารถถูกรบกวนโดยมลพิษในฤดูหนาว

6) โลเคนมีการเจริญเติบโตช้าและมีชีวิตยืนยาวสามารถสะสมสารพิษไว้ในทลัสส์และไม่สามารถขับออกมาได้จึงสามารถบอกระดับปริมาณของสารพิษที่สะสมอยู่ในปัจจุบันได้

### 2.2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้โลเคนตรวจสอบคุณภาพอากาศ

ปัจจุบันหลายประเทศในยุโรปออกกฎระเบียบให้ใช้โลเคนตรวจสอบคุณภาพอากาศควบคู่กับการใช้เครื่องตรวจวัดอากาศเพราะแต่ละวิธีมีจุดอ่อนจุดแข็งแตกต่างกันจึงสามารถเสริมกันได้ดี (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2558)

#### ข้อดี

- ผลกระทบของมลภาวะต่อโลเคนปรากฏอยู่นานจึงแสดงให้เห็นสภาพอากาศโดยรวมในบริเวณนั้นแม้กิจกรรมที่สร้างมลภาวะจะไม่ได้เกิดขึ้นอยู่ในขณะที่ทำการสำรวจก็ตาม

- โลเคนอ่อนไหวต่อมลพิษมากกว่ามนุษย์การสำรวจไม่พบโลเคนจึงเป็นการเตือนภัยล่วงหน้าก่อนจะเกิดเป็นปัญหารุนแรง

- มีราคาถูกเพราะอาศัยการสังเกตเท่านั้นจึงกำหนดจุดตรวจสอบได้มากกว่าการใช้เครื่องตรวจวัดอากาศสามารถเห็นสภาพสภาพอากาศในพื้นที่ได้ละเอียด

#### ข้อจำกัด

- ไม่สามารถระบุประเภทของมลภาวะได้แต่สามารถใช้ดูเป็นภาพรวมคร่าวๆของมลภาวะทางอากาศ

- ไม่สามารถให้ค่ามาตรฐานได้

- ต้องอาศัยความรู้ความสามารถในการจำแนกชนิดพันธุ์

- โลเคนแต่ละชนิดทนทานต่อมลพิษในอากาศไม่เท่ากัน

### 2.3 ไลเคนในเขตกรุงเทพมหานคร

นักชีววิทยาสำรวจพบไลเคนในเขตกรุงเทพมหานครประมาณ 30 ชนิดซึ่งสามารถคัดเฉพาะตัวเด่นๆได้เพียง 17 ชนิดสามารถพบได้ทั่วไปในกรุงเทพมหานครและตามที่ราบลุ่มแถบนี้โดยแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทนทานมลพิษในอากาศได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทนทานมลพิษในอากาศ

กลุ่ม	วงศ์ (Family)	ชนิด (Species)	ชื่อสามัญ
ทนทานสูง	Physciaceae	<i>Amandinea extunata</i>	ไผ่พระอินทร์
		<i>Pyxine cocoos</i>	หัตถ์ทศกัณฐ์กุ่มน้ำแข็ง
	Trypetheliaceae	<i>Trypethelium eluteriae</i>	ร้อยรู
	Pyrenulaceae	<i>Anthracothecium</i>	สิ่วหัวข้างจิว
ทนทาน	Physciaceae	<i>Dirinaria</i>	ริ้วแพร
		<i>Rinodina</i>	ธิดามะกอกดำ
		<i>Physcia dimidiata</i>	สาวน้อยกระโปรงบาน
	Graphidaceae	<i>Graphid</i>	บางกอก
		<i>Glyphis &amp; Sacographa</i>	ลายเส้น
	Lecanoraceae	<i>Lecanora</i>	กลุ่มลายเส้นผลรวม
	Arthoniaceae	<i>Arthonia</i>	ร้อยเหรียญ
	Bacidiaceae & Teloschistaceae	<i>Bacidia &amp; Caloplaca</i>	หลังตุ๊กแก
	Trypetheliaceae	<i>Laurera benguelensis</i>	โครยางค์
		<i>Trypethelium tropicum</i>	ไหทองโรยขมิ้น
<i>Chrysothrix</i>		พริกไทยร้อยเม็ด	
อากาศดี	Parmeliaceae	<i>Parmotrema tinctorum</i>	แป้งมณโฑ
		<i>Parmotrema - praesorediosum</i>	ฝักกาดหน่อแห้ง ฝักกาดหน่อฟอง

ที่มา : มุลนิธิโลกสีเขียว, 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 กลุ่มทานทานสูง

#### 1) ไผ่พระอินทร์ ชนิด *Amandinea extunata* วงศ์ Physciaceae

##### ลักษณะเด่น

- ไส้โคนประเภทดวงหรือผงมีสีเขียวซีม้ำผืนของไส้โคนจะแตกเป็นร่องร่างแห
- มักแตกหน่อเป็นผงแบ่ง
- ผลกลมมนูนสีดำด้านดูเหมือนแปะลงผืนไส้โคน (ไม่ฝังจมอย่างผลสีหัวช้างจิว)

##### การกระจาย

พบมากในเขตเมือง รวมทั้งริมถนนใหญ่ และแหล่งมลภาวะอื่นๆ รวมถึงพื้นที่เกษตรที่ใช้ปุ๋ย

มาก



รูปที่ 2.10 ไส้โคนชนิด *Amandinea extunata* วงศ์ Physciaceae (ไผ่พระอินทร์) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

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

##### ลักษณะเด่น

- ไส้โคนประเภทดวงหรือผงมีสีเขียวผิวเรียบมันแต่บางครั้งอาจมีลักษณะย้วย
- มีผลหลายผลเชื่อมรวมเป็นกลุ่มสีเหลืองจึงเห็นผลหนึ่งกลุ่มมีรูสปอร์หลายรู

##### การกระจาย

พบได้ทั่วไปทั้งในและนอกเมือง รวมทั้งบริเวณริมถนนใหญ่ แต่ผิวมักเกิดการฟอกขาวหรือมีสภาพหึงกายน ผลจะมีสีออกน้ำตาลเข้มหรือสีดำล้าในที่ที่มีมลภาวะ พบขึ้นมากตามต้นนนทรีในเขตกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2.11 ไส้โคนชนิด *Trypethelium* วงศ์ Trypetheliaceae (ร้อยรู) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

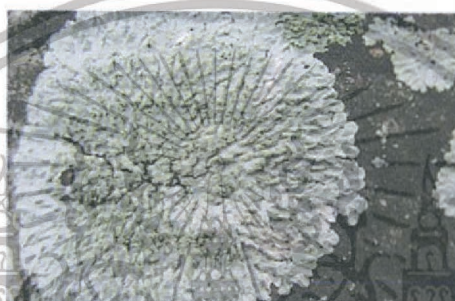
### 3) หัตถ์ทศกัณฑ์กุ่มน้ำแข็ง ชนิด *Pyxine cocoas* วงศ์ Physciaceae

#### ลักษณะเด่น

- โลเคนประเภทใบมีพื้นใบสีเขียวเทาหรือสีเทาซีดขึ้นยึดแน่นบนวัตถุที่เกาะ
- ปลายแผ่นใบมักเกยซ้อนทับกันและมีลักษณะคล้ายผ้าสีขาวหรือผลึกเกล็ดน้ำแข็งเกาะอยู่
- แตกหน่อเป็นผงแบ่งตามขอบแขนงใบ
- ผลเป็นเมล็ดแบนกลมสีดำแต่ไม่ค่อยพบออกผล

#### การกระจาย

พบได้ทั่วไปทั้งในและนอกเมือง รวมทั้งบริเวณริมถนนใหญ่และจะพบขึ้นเยอะมาก ในพื้นที่เกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยมากในที่ที่มีมลภาวะจะพบว่าริมแผ่นใบมักเกิดการฟอกขาวในเขตกรุงเทพมหานคร ไม่พบออกผล



รูปที่ 2.12 โลเคนชนิด *Pyxine cocoas* วงศ์ Physciaceae (หัตถ์ทศกัณฑ์กุ่มน้ำแข็ง) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

### 4) สิวหัวช้างจิ๋ว ชนิด *Anthracotheceium* วงศ์ Pyrenulaceae

#### ลักษณะเด่น

- โลเคนประเภทดวงหรือผงเป็นแผ่นสีขาวเทาแตกกระแหงเป็นร่องร่างแห
- ผลกลมมนนูนผุดขึ้นมาคล้ายภูเขาไฟกึ่งจมูกังโผล่มีขนาดเล็กมากสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำเห็นรูสปอร์ตรงกลางได้ชัดเจน

#### การกระจาย

พบได้ทั่วไปทั้งในและนอกเมืองแต่สิิวหัวช้างจิ๋วชนิดที่มีผลขนาดใหญ่มักพบได้ในที่มีอากาศดี โดยเฉพาะในป่าดิบ



รูปที่ 2.13 ไลเคนชนิด *Anthracothecium* วงศ์ Pyrenulaceae (สิวหัวช้างจิว) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

### 2.3.2 กลุ่มทนทาน

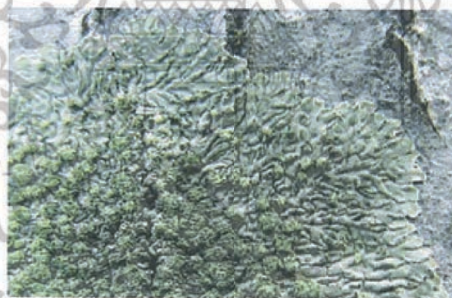
#### 1) ริวแพร่ ชนิด *Dirinaria* วงศ์ Physciaceae

##### ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทใบมีสีเขียวเทาหรือสีเขียวตองอ่อนขึ้นติดแน่นกับวัตถุที่เกาะ
- แขนงใบเบียดกันแน่นขึ้นเป็นลอนดูคล้ายผ้าแพรขุ่น
- แตกหน่อเป็นกระจุกผงแบ่งกลมๆคล้ายขนมถ้วยฟูหรือดอกกะหล่ำ
- ผลสีน้ำตาลหรือสีดำมีขอบสีเดียวกับผืนไลเคนแต่ไม่สร้างผลในเขตกรุงเทพมหานคร

##### การกระจาย

พบได้ทั่วไปทั้งในและนอกเมืองบางครั้งพบขึ้นไถ่ถนน



รูปที่ 2.14 ไลเคนชนิด *Dirinaria* วงศ์ Physciaceae (ริวแพร่) (Sarakadee, 2559)

#### 2) ลายเส้น ชนิด *Graphid* วงศ์ Graphidaceae

##### ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวงหรือผงผืนดวงมักเป็นสีขาวเทาหรือสีเขียวมะกอก
- ผลมีลักษณะเหมือนลายเส้นสีดำหรือสีขาวขอบผลยกเป็นสันดูคล้ายริมฝีปาก
- บางชนิดออกผลติดกันเป็นรูปแฉกหรือดาวบางชนิดที่พบในป่าเรียงตัวคล้ายอักษรจีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การกระจาย

กระจายตัวเป็นกลุ่มใหญ่มีมากมายหลายชนิดขึ้นกระจายทั่วไปโดยเฉพาะในเขตร้อนพบได้ตั้งแต่ในป่าต่างๆรวมถึงสวนในเขตเมืองใหญ่ความทนทานมลภาวะจะแตกต่างกันตามชนิดหลายชนิดทนทานและพบได้บ่อยในกรุงเทพมหานครโดยเฉพาะบนต้นลีลาวดี (ลิ้นทม)



รูปที่ 2.15 ไลเคนชนิด *Graphid* วงศ์ *Graphidaceae* (ลายเส้น) (Sarakadee, 2559)

### 3) ร้อยเหรียญชนิด *Lecanora* วงศ์ *Lecanoraceae*

#### ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวงหรือผงมีสีเขียวเทาหรือสีเทา
- ผลมีลักษณะกลมแบนมีสีน้ำตาลอ่อนหรือสีเขียวอ่อนมีขอบสีเดียวกับพื้นไลเคนเป็นปุ่มๆ เหมือนสายลูกปัดและยกนูนสูงกว่าตัวผลจึงเห็นขอบได้ชัดเจนดูคล้ายเหรียญสีมากมักออกผลเต็มพื้นไลเคน

#### การกระจาย

พบทั่วไปทั้งในและนอกเมืองไม่ค่อยพบผลสีเขียวในเขตกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2.16 ไลเคนชนิด *Lecanora* วงศ์ *Lecanoraceae* (ร้อยเหรียญ) (มุลินธิโลกสีเขียว, 2559)

### 4) ธิตามะกอกดำ ชนิด *Rinodina* วงศ์ *Physciaceae*

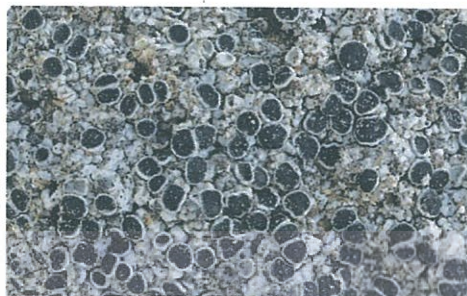
#### ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวงหรือผงพื้นไลเคนมีสีเขียวมะกอกหรือสีเขียวซีมัว
- ผลมีลักษณะกลมแบนมีสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำขอบสีเดียวกับพื้นไลเคนไม่ยกนูนสูงชันมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การกระจาย

พบได้ทั่วไปแต่เนื่องจากมีขนาดเล็กและสีกลมกลืนกับไลเคนอื่นๆ โดยเฉพาะเมื่อขึ้นอยู่ในตงไฟพระอินทร์จึงทำให้สังเกตได้ยาก



รูปที่ 2.17 ไลเคนชนิด *Rinodina* วงศ์ Physciaceae (ติดตามะกอกดำ)(Richard Droker, 2559)

### 5) หลังตุ๊กแก ชนิด *Arthonia* วงศ์ Arthoniaceae

#### ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทตวงหรือผงมีสีขาวเทาหมักมีรอยแตกกระแหงตุคล้ายนาแห้ง
  - ผลมีรูปร่างไม่แน่นอนที่พบในกรุงเทพมักมีลักษณะคล้ายร่องหนองน้ำสีดำน้ำตาลถึงแดงเข้ม
- ตุคล้ายพื้นกรามอดยา

#### การกระจาย

พบได้ทั่วไปบางครั้งจะพบใกล้ถนน



รูปที่ 2.18 ไลเคนชนิด *Arthonia* วงศ์ Arthoniaceae (หลังตุ๊กแก) (มุสนิธิโลกสีเขียว, 2559)

### 6) กลุ่มโตรายากิ ชนิด *Bacidia* & *Caloplaca* วงศ์ Bacidiaceae & Teloschistaceae

#### ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทตวงหรือผงมีสีขาวอมเทาสีเขียวตองอ่อนถึงสีเขียวเข้ม
- มักแตกหน่อเป็นฟองหรือผงเป่งทำให้ผิวของผืนไลเคนดูขรุขระ
- ผลอวบเป่งมีสีครีมหรือสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม
- *Bacidia* ตอนเป็นผลอ่อนรูปร่างกลมแบนและเห็นขอบสีอ่อนชัดเจนเมื่อแก่ขึ้นผลจะเป่งขึ้นเรื่อยๆ จนกลมมนรูปร่างเบี้ยวคล้ายเห็ดหูหนูและไม่เห็นขอบ
- ผล *Caloplaca* เห็นขอบสีอ่อนได้ตลอดตั้งแต่ผลอ่อนถึงผลแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจาย  
สามารถพบขึ้นนอกเขตเมืองมากกว่าในเมือง



รูปที่ 2.19 ไลเคนชนิด *Bacidia & Caloplaca* วงศ์ *Bacidiaceae & Teloschistaceae* (โตรยาภิ) (H. Sipman, 2559)

7) ไททองโรยขมิ้น ชนิด *Laurera benguelensis* วงศ์ *Trypetheliaceae*

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวงหรือผงในสภาพดีพื้นไลเคนจะเป็นสีเขียวและมักมีฝุ่นสีเหลืองถึงส้มเหมือนผงขมิ้นโรยหน้าจนบางครั้งเห็นเป็นสีเหลืองส้มทั้งผืนแต่ในบริเวณที่มีมลภาวะพื้นไลเคนมักเกิดการฟอกขาว

- มักออกผลจำนวนมากติดแน่นกันทั้งผืนตัวผลคล้ายกระปุกหรือไหกระเทียมดองสีเหลืองมีรูหนึ่งรูตรงกลาง

การกระจาย

สามารถพบขึ้นนอกเขตเมืองมากกว่าในเมือง



รูปที่ 2.20 ไลเคนชนิด *Laurera benguelensis* วงศ์ *Trypetheliaceae* (ไททองโรยขมิ้น) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

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

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวงหรือผงมีสีเขียวถึงสีเขียวขี้ม้าผิวเรียบมันแต่บางครั้งอาจดูเป็นลักษณะย่น

- ออกผลสีดำด้านคล้ายเมล็ดพริกไทยจำนวนมากกระจายเป็นกองๆ ตัวผลมักเชื่อมติดกัน

แต่ยังเห็นผลเดี่ยวๆ แต่ละผลมีหนึ่งรูเมื่อสปอร์แตกจะดูคล้ายเมล็ดพริกไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจาย  
สามารถพบขึ้นนอกเขตเมืองมากกว่าในเมือง



รูปที่ 2.21 ไลเคนชนิด *Trypethelium tropicum* วงศ์ Trypetheliaceae (พริกไทยร้อยเม็ด)  
(Con la tecnología de, 2559)

9) กลุ่มลายเส้นผลรวม ชนิด *Glyphis & Sacographa* วงศ์ Graphidaceae

ลักษณะเด่น

- ไลเคนประเภทดวงหรือผง

- ผลหลายผลเชื่อมรวมเป็นก้อนเดียวกันดูเฟินๆ คล้ายขนมเม็ดแมงลักเมื่อส่องใกล้ๆ จะเห็นรู

สปอร์หลายรู

การกระจาย

เป็นไลเคนวงศ์เดียวกันกับพวกลายเส้นแต่ละชนิดอาจมีความทนทานต่อมลภาวะอากาศต่างกันจากการสังเกตในเบื้องต้นพวกสาकुถั่วดำ (*Glyphis*) มักจะทนมลภาวะได้ค่อนข้างดีบางครั้งพบขึ้นใกล้ถนนในขณะที่บุงขนเทา (*Sacographa*) จะอ่อนไหวกว่าและพบได้ง่ายนอกเมือง



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.22 ไลเคนชนิด (ก) *Glyphis* (สาकुถั่วดำ) และ (ข) *Sacographa* (บุงขนเทา)  
(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

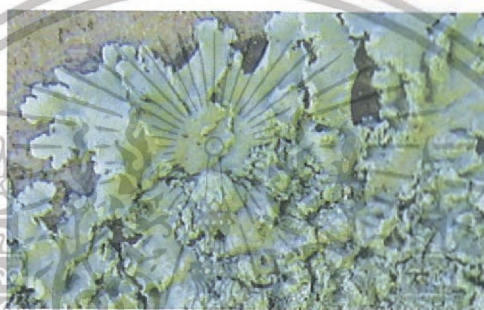
10) สาวน้อยกระโปรงบานบางกอก ชนิด *Physcia dimidiata* วงศ์ Physciaceae

ลักษณะเด่น

- ใบขนาดเล็กขอบใบหยักละเอียดมีลักษณะแผ่ล้วยบานเหมือนระบายชายกระโปรง
- ตัวใบเผยอขึ้นมาไม่แนบติดกับวัตถุที่เกาะอย่างหัตถ์ทศกัณฑ์กุ่มน้ำแข็งหรือริ้วแพร
- อาจเห็นรากเทียมเป็นเส้นเดี่ยวสีขาวใกล้ขอบใบ
- แดงหน่อเป็นพองพองแข็งจำนวนมากตรงกลางผืนไลเคนดูเหมือนดอกกะหล่ำ
- ไม่พบออกผล

การกระจาย

มักจะพบในบริเวณที่ค่อนข้างชื้นไลเคนสกุลนี้ส่วนใหญ่ไม่ทนต่อมลภาวะแต่ชนิดที่พบในกรุงเทพมหานครจะเป็นชนิดที่ค่อนข้างทนทานบางครั้งจะพบขึ้นใกล้ถนนใหญ่



รูปที่ 2.23 ไลเคนชนิด *Physcia dimidiata* วงศ์ Physciaceae (สาวน้อยกระโปรงบานบางกอก) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

11) แป้งมณฑิชา ชนิด *Chrysothrix* วงศ์ Chrysothricaceae

ลักษณะเด่น

- เป็นผงฝุ่นสีเขียวตองอ่อนสดบางครั้งมีสีเหลืองสด
- ไม่พบออกผล

การกระจาย

พบนอกเมืองมากกว่าในเมือง



รูปที่ 2.24 ไลเคนชนิด *Chrysothrix* วงศ์ Chrysothricaceae (แป้งมณฑิชา) (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 กลุ่มอากาศดี

#### 1) ผักกาดหน่อแห้ง ชนิด *Parmotrema tinctorum* วงศ์ Parmeliaceae

##### ลักษณะเด่น

- โไลเคนประเภทใบขนาดใหญ่มีสีเทาขาวเขียวขอบใบโค้งมนคล้ายใบผักสลัดโอบีคลีฟ
- ในเวลาที่แห้งหน้าใบของไลเคนจะมีสีเทาส่วนในเวลาที่เปียกจะมีสีเขียวใต้ใบมีสีน้ำตาลดำ
- แดกหน่อเป็นแท่งเล็กๆทั่วใบ
- ไม่พบออกผล

##### การกระจาย

พบได้ทั่วไปตามต้นไม้สวนและป่าต่างๆถ้าสภาพอากาศดีมักพบขึ้นบนกิ่งไม้มากกว่าบริเวณลำต้นปัจจุบันไม่พบในเขตกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2.25 โไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* วงศ์ Parmeliaceae (ผักกาดหน่อแห้ง)  
(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

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

##### ลักษณะเด่น

- โไลเคนประเภทใบขนาดใหญ่มีสีเทาขาวหรือเขียวอมเทาขอบใบหยักเหมือนใบ

##### ผักกาดหอม

- ในเวลาที่แห้งหน้าใบของไลเคนจะมีสีเทาส่วนในเวลาที่เปียกจะมีสีเขียวใต้ใบมีสี

##### น้ำตาลดำ

- แดกหน่อเป็นฟองผงแป้งริมขอบใบ

- ไม่พบออกผล

##### การกระจาย

พบได้ทั่วไปตามต้นไม้สวนและป่าต่างๆถ้าสภาพอากาศดีมักพบขึ้นบนกิ่งไม้มากกว่าบริเวณลำต้นปัจจุบันไม่พบในเขตกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ไลเคนชนิด *Parmotrema praesorediosum* วงศ์ Parmeliaceae (ผักกาดหน่อฟอง)  
(มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559)

ในการประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคนที่มีการแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการทน  
มลภาวะอากาศสามารถจำแนกกลุ่มได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคน

กลุ่มไลเคนที่พบ	คุณภาพอากาศ
พบกลุ่มอากาศดีทั่วไป : Fruticose และ/หรือ Squamulose	อากาศดี
พบกลุ่มหนานมากที่สุด : Foliose	อากาศพอใช้
พบกลุ่มหนานสูงมากกว่ากลุ่มอื่น : Crustose > Foliose	อากาศแย่มาก
พบเฉพาะกลุ่มหนานสูง : Crustose	อากาศแย่มาก
ไม่พบไลเคน	มีมลภาวะทางอากาศรุนแรง

ที่มา : มูลนิธิโลกสีเขียว, 2559

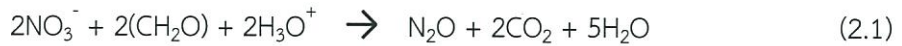
## 2.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน

ชนิดของออกไซด์ของไนโตรเจนได้แก่ ไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ), ไนตริกออกไซด์ ( $NO$ ), ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ), ไดไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $N_2O_5$ ) และไนโตรเจนไตรออกไซด์ ( $NO_3$ ) แต่ชนิดที่มักจะพบในบรรยากาศทั่วไปคือไนตรัสออกไซด์, ไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ โดยเฉพาะไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ซึ่งเกิดได้เองตามธรรมชาติ (Natural source) และจากการกระทำของมนุษย์ (Antropogenic source) นั้นพบว่าเป็นสารที่ว่องไวและจะทำปฏิกิริยาต่อในบรรยากาศและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำอันก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ของมนุษย์ (ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหงบนโลกอินเทอร์เน็ตมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2559)

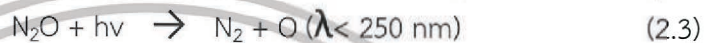
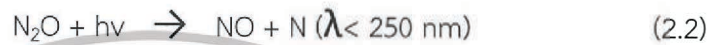
### 2.4.1 แหล่งและปฏิกิริยาของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>)

- ไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) เป็นก๊าซที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเกิดได้เองตามธรรมชาติโดยปฏิกิริยา Denitrification ของธาตุไนโตรเจนในรูปไนเตรตไอออนที่มีในดินที่มีออกซิเจนน้อย

ดังสมการ



แล้วถูกปล่อยในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จากนั้นจะค่อยๆเคลื่อนที่ต่อไปยังอากาศชั้นสตราโตสเฟียร์และเกิดโฟโตลิซิสต่อได้ที่ความสูงจากพื้นโลกมากกว่า 20 กิโลเมตรได้เป็น 2 สมการต่อไปนี้

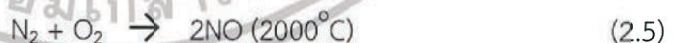


N<sub>2</sub>O สามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อกับอะตอมของออกซิเจนเกิดเป็นไนตริกออกไซด์ดังสมการ



จากปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไนตรัสออกไซด์จัดเป็นสารมลพิษปฐมภูมิโดยจะสามารถให้ไนตริกออกไซด์ที่เป็นสารมลพิษทุติยภูมิแต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันนักสิ่งแวดล้อมได้ให้ความสำคัญในตรัสออกไซด์มากขึ้นเนื่องจากเป็นที่ทราบกันว่าผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกด้วยเพราะสมบัติของตัวสารเองและเป็นออกไซด์ของไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในบรรยากาศ(0.3ppm) โดยมีอัตราการปล่อยที่มีแนวโน้มในการเพิ่ม 0.3% ต่อปี

- ไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสีและไม่เสถียรในบรรยากาศจัดเป็นมลพิษทั้งประเภทปฐมภูมิและทุติยภูมิเกิดได้จากธรรมชาติและจากกิจกรรมมนุษย์ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมรวมถึงในเครื่องยนต์ต่างๆกระบวนการเผาไหม้เองที่ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้นจึงเป็นเหตุให้แก๊สที่มีมากที่สุดที่สุดในบรรยากาศ (79%) คือไนโตรเจนเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศดังสมการ

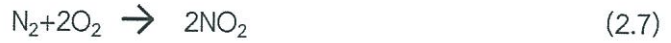


ลำดับประเภทเชื้อเพลิงที่ปล่อยไนตริกออกไซด์เรียงจากปริมาณมากไปน้อยได้ดังนี้ถ่านหิน > น้ำมันปิโตรเลียม > แก๊สสำหรับจากธรรมชาตินอกจากไนตรัสออกไซด์จะให้ไนตริกออกไซด์พบว่าฟ้าผ่าก็เป็นแหล่งกำเนิดหลักของไนตริกออกไซด์และเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับการเผาไหม้เช่นกันไนตริกออกไซด์เป็นแก๊สที่ว่องไวจึงพบว่าหลังจากที่ถูกปล่อยในบรรยากาศได้ 4-6 วันก็จะถูกออกไซด์ออกด้วยอะตอมของออกซิเจนหรือโอโซนแล้วให้ไนโตรเจนออกมาได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

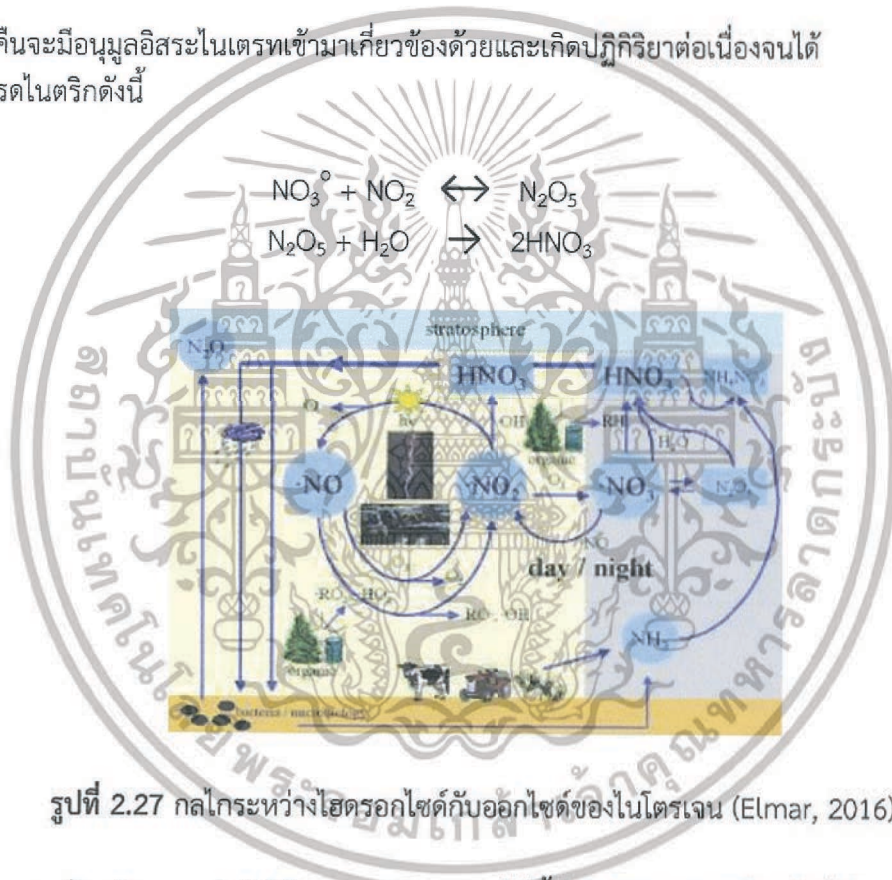
- ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) เป็นแก๊สที่มีสีน้ำตาลปนแดงจัดเป็นมลพิษทั้งประเภทปฐมภูมิและทุติยภูมิแหล่งที่มาจากทั้งธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์โดยพบว่าทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงและจากฟ้าผ่าจะให้นิโตรเจนไดออกไซด์ได้ตั้งสมการ



ไนโตรเจนไดออกไซด์จะให้กรดไนตริกโดยจะมีกลไกการเกิดในเวลากลางวันและกลางคืนที่ต่างกัน



กลางคืนจะมีอนุมูลอิสระไนเตรทเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้เป็นกรดไนตริกดังนี้



รูปที่ 2.27 กลไกระหว่างไฮดรอกไซด์กับออกไซด์ของไนโตรเจน (Elmar, 2016)

กรดไนตริกจะถูกกำจัดให้ออกจากบรรยากาศได้ทั้งในรูปของเหลวหรือแห้งก็ได้ลงสู่พื้นโลกในบางกรณีกรดไนตริกจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียซึ่งระเหยจากปัสสาวะของสัตว์และสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนได้เป็นสารประกอบแอมโมเนียไนเตรตดังนี้



แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกกำจัดจากบรรยากาศสู่พื้นโลกโดยอาจรวมตัวกับน้ำหรืออยู่ในรูปแอร์ซอลที่เป็นของแข็ง

NO<sub>x</sub> โดยเฉพาะไนตริกออกไซด์เป็นสารเคมีเริ่มต้นหลักที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโฟโตเคมีคัลสม็อกซึ่งก่อให้เกิดสารมลพิษที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

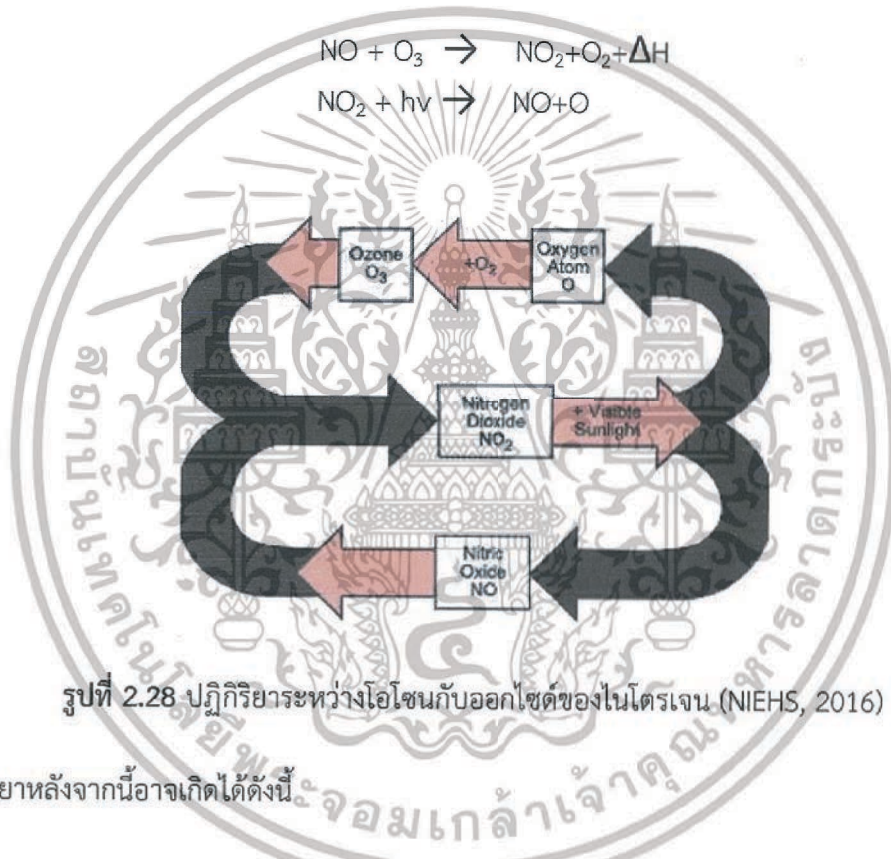
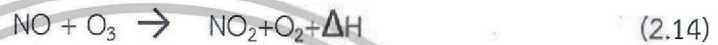
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้าย  $\text{NO}_x$  จะกลายเป็นไนโตรดหรือไนเตรดที่รวมกับอนุภาคมลพิษโดยเกิดผ่านบางปฏิกิริยาดังตัวอย่างและแสดงดังรูปที่ 2.3

1. ออกซิเดชันโดยโอโซนคือ



2. ปฏิกิริยากับแสง



รูปที่ 2.28 ปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับออกไซด์ของไนโตรเจน (NIEHS, 2016)

ปฏิกิริยาหลังจากนี้อาจเกิดได้ดังนี้



หรือ



แต่พบว่าปฏิกิริยาที่ให้  $\text{HNO}_3$  เร็วที่สุดเกิดดังนี้



และอาจจะให้สารต่อเป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2 ผลกระทบของไนโตรเจนออกไซด์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและการอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2559)

ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจาก  $\text{NO}_x$  นั้นมีได้หลายรูปแบบเนื่องจากไนโตรเจนไดออกไซด์มีสารประกอบหลายตัวที่อยู่ในกลุ่มของไนโตรเจนออกไซด์ได้แก่ไนโตรเจนออกไซด์, กรดไนตริก, ไนตริกออกไซด์, ไนตริกและไนตริกออกไซด์สรุปผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมีดังนี้

1. ก๊าซโอโซนในระดับพื้นดิน (Smog) เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{NO}_x$  กับสารระเหยอินทรีย์ (Volatile Organic Compounds หรือ VOCs) โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการรับผลกระทบได้แก่เด็กคนชราผู้ที่เป็นโรคปอดหรือหลอดลมเช่นโรคหอบหืด และผู้ที่ทำงานหรือออกกำลังกายนอกบ้านซึ่งเมื่อสัมผัสเป็นเวลานานๆอยู่เป็นประจำจะทำให้มีการทำลายของเนื้อปอดทำให้การทำงานของปอดลดลงนอกจากนั้นโอโซนสามารถถูกพัดพาไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทำให้เกิดผลกับประชาชนหรือสิ่งแวดล้อมที่อยู่ห่างไกลออกไปได้รวมถึงมีผลต่อการลดผลผลิตทางการเกษตรด้วย

2. ฝนกรดเกิดจาก  $\text{NO}_x$  และ  $\text{SO}_x$  สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดกรดและเมื่อตกลงมายังพื้นผิวโลกไม่ว่าจะเป็นผืนหมอกหิมะหรืออนุภาคแห้งและบางที่สามารถที่จะถูกพาไปได้ไกลหลายร้อยไมล์ฝนกรดจะทำให้เกิดการกัดกร่อนอาคารบ้านเรือนรถยนต์อนุสาวรีย์หรือโบราณสถานต่างๆ และทำให้แหล่งน้ำต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำทะเลสาบมีความเป็นกรดและไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตตามปกติของพืชหรือสัตว์ที่อาศัยในแหล่งน้ำนั้น

3. ผู้มีละอองขนาดเล็กมีผลต่อระบบหายใจและทำลายเนื้อปอดและเป็นสาเหตุของการตายก่อนเวลาอันสมควรอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจได้ลึกทำให้ผู้ที่มิโรคของระบบทางเดินหายใจอยู่แล้วมีอาการแย่ลงจากเดิมเช่นผู้ที่มีถุงลมโป่งพองหลอดลมอักเสบและทำให้ผู้ที่เป็โรคหัวใจมีอาการแย่ลงจากเดิม

4. คุณภาพของแหล่งน้ำแย่งการที่มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำสูงขึ้นโดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งจะทำให้רבกวนสมดุลของสารอาหารต่างๆ ในแหล่งน้ำทำให้พืชน้ำบางชนิดเจริญเติบโตมากเกินไปจนเป็นเหตุให้เกิดการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทำให้ลดจำนวนประชากรของปลาและหอย

5. การเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศไนตริกออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ซึ่งอยู่ในตระกูลของไนโตรเจนออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก (Greenhouse effect) ถ้ามีการสะสมในบรรยากาศในปริมาณที่มากจะทำให้อุณหภูมิของโลกค่อยๆสูงขึ้นซึ่งจะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อมนุษยชาติทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากต่อพืชและสัตว์

6. เกิดสารเคมีที่เป็นพิษ  $\text{NO}_x$  ทำปฏิกิริยากับสารต่างๆโดยเฉพาะสารอินทรีย์หรืออาจจะเป็นโอโซนจะได้สารประกอบตัวใหม่ที่เป็นพิษซึ่งบางตัวเป็นสาเหตุของการผ่าเหล่าทางชีวภาพ(Biological mutation) โดยตัวอย่างของสารประกอบที่เกิดขึ้นที่เป็นพิษเช่น nitrate radicalnitroarenesและ nitrosamines

7. ลดทัศนวิสัยของการมองเห็นอนุภาคของไนเตรตและไนโตรเจนไดออกไซด์จะขัดขวางการผ่านของแสงอาทิตย์ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองหรือสวนสาธารณะต่างๆ

2.4.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์  
สำหรับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์นั้นกรม  
ควบคุมมลพิษได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 2.3 และแปรผลคุณภาพอากาศดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยทั่วไป

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

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2559

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ความเข้มข้น (ppb)	คุณภาพอากาศ	แนวทางการป้องกันผลกระทบ
0-85	ดี	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
86-170	ปานกลาง	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
171-600	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกาย ภายนอกอาคารบุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุไม่ ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคาร เป็นเวลานาน
601-1,202	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมภายนอก อาคารบุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็ก และผู้สูงอายุควรจำกัดการออก กำลังกายภายนอกอาคาร
มากกว่า 1,202	อันตราย	บุคคลทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการ ออกกำลังกายนอกอาคาร สำหรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดิน หายใจควรอยู่ในอาคาร
มากกว่า 1,202	อันตราย	บุคคลทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการ ออกกำลังกายนอกอาคาร สำหรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดิน หายใจควรอยู่ในอาคาร

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide : SO<sub>2</sub>) เรียกชื่ออื่นว่าซัลฟูรัสแอนไฮไดรด์ (Sulfurous Anhydride) หรือซัลฟูรัสออกไซด์ (Sulfurous Oxide) หรือซัลเฟอร์ซูเปอร์ออกไซด์ (Sulfur Superoxide) มีน้ำหนักโมเลกุล 60.06 กรัมต่อโมลมีจุดเดือด -75.5 (ที่ 101.3 kPa) มีจุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็ง -10.0 องศาเซลเซียส (ที่ 101.3 kPa) ความหนาแน่นเท่ากับ 1.46 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ -10.0 องศาเซลเซียส) ความสามารถในการละลายน้ำ 8.5% ที่ 25 องศาเซลเซียสเป็นก๊าซไม่มีสีมีกลิ่นกรดไม่ไวไฟที่ระดับความเข้มข้นสูงถึงระดับ 3 พีพีเอ็มจะมีกลิ่นฉุนแสบจมูกการสันดาปเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานในการดำรงชีพของมวลมนุษย์ซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และอนุภาคมลสารกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆก็เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทั้งสองเช่นกันก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และละอองกำมะถันก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจเช่นโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังนอกจากนี้ก๊าซนี้ยังทำให้น้ำฝนที่ตกลงมามีสภาพความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งจะทำลายระบบนิเวศป่าไม้แหล่งน้ำสิ่งมีชีวิตต่างๆรวมถึงการกัดกร่อนอาคารและโบราณสถานอีกด้วย (กองอนามัยสิ่งแวดล้อมสำนักอนามัยกทม, 2559)

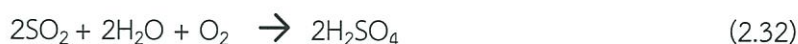
ซัลเฟอร์ที่พบในบรรยากาศอยู่ในรูปสารประกอบ 3 ชนิดคือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>), ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) และซัลเฟต (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ในรูปแอโรซอลซึ่งทั้ง 3 ชนิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) มีความสำคัญที่สุดปฏิกิริยาการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ตามสมการ (2.30)



เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศจะเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO<sub>3</sub>) และจะรวมตัวเป็นกรดกำมะถันเมื่อมีความชื้นเพียงพอหากอยู่รวมกันกับอนุภาคมลสารที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นแมงกานีสเหล็กและวานาเดียมจะเกิดมีปฏิกิริยาเติมออกซิเจนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์และเป็นกรดกำมะถันเช่นกันดังสมการ (2.31)



โดยปกติในบรรยากาศมีส่วนประกอบที่เป็นไอน้ำหมอกเมฆและฝนเมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกละลายออกมาสู่บรรยากาศก็จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ซึ่งเป็นอันตรายมากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เองโดยเฉพาะสามารถทำให้วัตถุเกิดการผุกร่อนได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีครึ่งชีวิต (half-life) ประมาณ 3 วันโดยทั่วไปจะถูกออกไซด์เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์โดยออกซิเจนหรือโอโซน (O<sub>3</sub>) และควบแน่นหรือตกสู่ในรูปของกรดซัลฟูริกหรือซัลเฟตโดยปฏิกิริยาเคมีแสงในอากาศและมีตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นฝุ่นเกิดการรวมตัวเป็นฝนกรด (Acid rain) ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าไม้แหล่งน้ำสิ่งมีชีวิตและมีฤทธิ์กัดกร่อนอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ดังสมการ (2.32) และ (2.33)

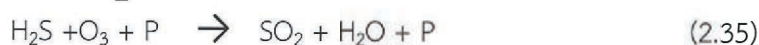
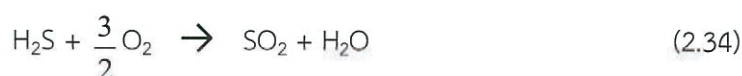


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.1 แหล่งกำเนิดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

### แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากแหล่งธรรมชาติได้แก่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟกับออกซิเจนหรือโอโซนโดยที่ฝุ่นหรือละอองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อเกิดปรากฏการณ์ของหมอกควันแสงเคมี (Photochemical smog) เพราะทั้งออกซิเจน, โอโซนและฝุ่นมีความเข้มข้นสูงดังสมการ (2.34) และ (2.35)



เมื่อ P คืออนุภาคเช่นฝุ่นหรือละอองน้ำ

### แหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์

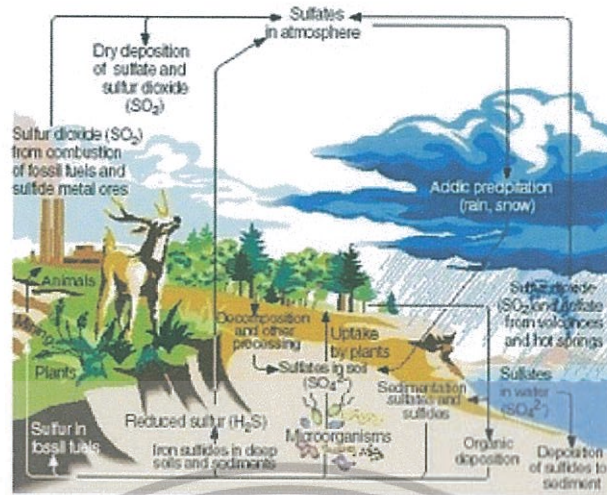
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในกลุ่มของก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO<sub>x</sub>) ซึ่งเป็นออกไซด์ของกำมะถันหรือซัลเฟอร์ (S) อย่างหนึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านหินหรือน้ำมันซึ่งมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์เจือปนอยู่ประมาณครึ่งหนึ่งของซัลเฟอร์ในถ่านหินจะอยู่ในรูปของไพไรต์ (FeS<sub>2</sub>) และอีกครั้งหนึ่งจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์การเผาไหม้ของไพไรต์เกิดเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีปฏิกิริยาดังสมการ (2.36)



การเผาไหม้ของไพไรต์จะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่อาจจะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขึ้นได้แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศแล้วเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกดังสมการ (2.37)



โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศในปริมาณสูงได้แก่โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำมันปิโตรเลียมโรงงานอุตสาหกรรมถลุงสินแร่โลหะโรงงานผลิตกระดาษเป็นต้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากการกระทำของมนุษย์มากกว่าที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศจากการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับปริมาณของซัลเฟอร์ซึ่งปรากฏอยู่ในเชื้อเพลิงแหล่งที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งในการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศคืออุตสาหกรรมถลุงโลหะซึ่งสินแร่บางชนิดเช่นสินแร่สังกะสีและทองแดงมักอยู่ในรูปของซัลไฟด์ระหว่างการถลุงจะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระบายออกมาด้วยและแหล่งที่น่าสนใจอีกแหล่งหนึ่งคือจากโรงงานผลิตกรดซัลฟูริก



รูปที่ 2.29 วัฏจักรซัลเฟอร์ (Sulfur Cycle) (Science Booth, 2559)

### 2.5.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม

การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมากก๊าซนี้มีอันตรายต่อร่างกายมากยิ่งขึ้นเมื่อรวมตัวกับฝุ่นซึ่งฝุ่นบางชนิดสามารถดูดซึมและละลายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ในตัวเช่นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ละอองไอของเหล็กเพอร์สิแมงกานีสวานาเดียมเป็นต้น ซึ่งรวมถึงผลกระทบต่ออาการเจ็บป่วยของระบบทางเดินหายใจโรคปอดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ และผู้ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือเด็กคนชราและผู้ป่วยโรคหัวใจโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจหรือโรคปอดเช่นหลอดลมอักเสบถุงลมโป่งพอง

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นทำให้ระบบทางเดินหายใจเช่นจมูกลำคอ อักเสบระคายเคืองทั้งนี้เนื่องมาจากในน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์มีกำมะถันปนอยู่เมื่อเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะมีกำมะถันหลุดออกมาทางท่อไอเสียรถยนต์ดังนั้นโรงกลั่นน้ำมันต้องกำจัดกำมะถันในน้ำมันดิบออกให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ก๊าซนี้มีอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์เพราะเป็นตัวนำที่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจทำให้สิ่งมีชีวิตเจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจส่วนต้นในอัตราสูงถ้าสูดเข้าไปเสมอๆทำให้เกิดหลอดลมอักเสบเรื้อรังถ้ามากทำให้ลิ้นไก่สั่นเกิดการเกร็งหดปัดทางเดินหายใจและตายทันทีที่สำคัญที่สุดเป็นอันตรายต่อปอดในรายที่คนไข้เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจอยู่แล้วจะมีอาการเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขนาด 0.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ขนาดที่ได้รับกลิ่นฉุน)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่ออยู่รวมกับฝุ่นและความชื้นจะมีผลต่อสุขภาพเพิ่มขึ้นมากได้มีการศึกษาผลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อร่างกายและก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กับสัตว์พบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลต่อระบบหายใจส่วนบนเมื่อระดับต่ำกว่า 20 พีพีเอ็มซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลเฉพาะเฉียบพลันแต่ไม่มีผลเรื้อรังจากการศึกษาที่สัตว์พบว่าการได้รับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขนาดปานกลางและไม่ต่อเนื่องก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไม่มีผลสะสมใดๆและจะต้องมีระดับจนถึง 1 พีพีเอ็มจึงจะเกิดผลกับสุขภาพหรือให้ผลแตกต่างระหว่างคนปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ผลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อมนุษย์

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ppm)	ผลที่เกิดขึ้น
1500 (0.52) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	เพิ่มอัตราการตาย
เท่ากับหรือมากกว่า 715 (0.25) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	อาจเพิ่มอัตราการตายต่อวัน
500 (0.19) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	อาจเพิ่มอัตราการตาย
300-500 (0.11-0.19) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	เพิ่มอัตราป่วยเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วย โรคทางเดินหายใจเพิ่มอัตราการขาดงาน
715 (0.25) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	อัตราการป่วยของผู้มีอายุเกิน 54 ปีเพิ่มขึ้นโดย ฉับพลัน
600 (0.21) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	ผู้ป่วยด้วยโรคปอดเรื้อรังอาจมีอาการรุนแรง
105-265 (0.037-0.092) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	มีอาการโรคทางเดินหายใจบ่อยครั้งขึ้นและอาจ เกิดโรคปอด
102 (0.046) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	เป็นโรคทางเดินหายใจบ่อยครั้งขึ้นและอาการ ร้ายแรงขึ้น
115 (0.040) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	เพิ่มอัตราตายด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจและมะเร็ง ปอดผลต่อการมองเห็น 286 (0.10) การมองเห็น ไกลลดลงประมาณ 5 ไมล์

ที่มา : USHEW, 1962

2.5.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระดับต่างๆกันย่อมแสดงความเป็นอันตราย  
แตกต่างกันจึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตารางที่ 2.6 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ส่วนในล้านส่วน(0.01 mg/m <sup>3</sup> )
24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.12 ส่วนในล้านส่วน(0.30 mg/m <sup>3</sup> )
1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.30 ส่วนในล้านส่วน(780 µg/m <sup>3</sup> )

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ค่ามาตรฐานของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 10 นาที ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	เกณฑ์ในการกำหนดระดับ
	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		
Interim Target1 (IT1)	125	0.125	-	ค่าเป้าหมายระหว่างกลาง ใช้การควบคุมทั้งการปล่อย ไอเสียจากรถยนต์และจาก โรงงานอุตสาหกรรมและ โรงไฟฟ้าค่านี้เป็นค่าที่ สมเหตุสมผลและสามารถ ทำได้จริงสำหรับประเทศที่ กำลังพัฒนาที่สามารถที่จะ บรรลุได้ในช่วงเวลา 1-2 ปี ซึ่งจะทำให้สุขภาพดีขึ้น และถ้าบรรลุเป้าหมายนี้ แล้วให้พัฒนาต่อยอดไปสู่ ระดับ AQG
Interim Target2 (IT2)	50	0.050	-	
Air Quality Guideline (AQG)	20	0.020	500	

ที่มา : WHO Air Quality Guideline, 2005

ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระยะยาว 1 ปีไม่จำเป็นต้องมีเนื่องจาก WHO ระบุว่าค่าระยะสั้นที่ 24 ชั่วโมงถ้าสามารถควบคุมให้ต่ำได้ค่า 1 ปีก็จะต่ำไปด้วยจึงไม่จำเป็นต้องกำหนดเนื่องจากการบรรลุตามค่า Guideline ในบางประเทศเป็นเรื่องที่ยากจึงได้กำหนดขั้นบันไดของค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ IT1 และ IT2 (ตารางที่ 2.3) แนวทางการควบคุมคือการควบคุมการปล่อยไอเสียทั้งจากท่อไอเสียรถยนต์หรือจากโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าจะทำให้สามารถลดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำตามค่ามาตรฐานของประเทศไทยค่าเฉลี่ย 0.3  $\text{mg}/\text{m}^3$  แสดงว่ามีมาตรฐานเข้มงวดกว่าค่า IT2 ของ WHO (0.050  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) แต่ยังมีค่าสูงกว่า AQG ที่ระบุว่าควรพัฒนาต่อยอดให้ประชากรมีสุขภาพดี

#### 2.5.4 ข้อมูลระดับของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกรุงเทพมหานคร

การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานครแบ่งพื้นที่ตรวจวัดออกเป็น 2 พื้นที่คือพื้นที่ริมถนนและพื้นที่ทั่วไปนอกจากนี้ยังมีกรตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบพาสซีฟในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นอีก 18 จุดทำการตรวจวัดจุดละประมาณ 2 สัปดาห์สำหรับผลการติดตามตรวจสอบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของกรมควบคุมมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกรุงเทพมหานครปี 2558

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น ในเวลา 1 ชั่วโมง	ช่วงค่า ที่วัดได้	ค่ามาตรฐาน	จำนวนครั้งที่เกิน มาตรฐาน/ จำนวนครั้งที่ ตรวจวัด (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย 1 ปี
1) บริเวณพื้นที่ริมถนน SO <sub>2</sub> เฉลี่ย (ppb)	0 – 23	300	0/15,258(0)	3
2) บริเวณพื้นที่ทั่วไป SO <sub>2</sub> เฉลี่ย (ppb)	0 – 20	300	0/38,885 (0)	2

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2559

## 2.6 วิธีเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive sampling) (สิทธิชัย, 2551)

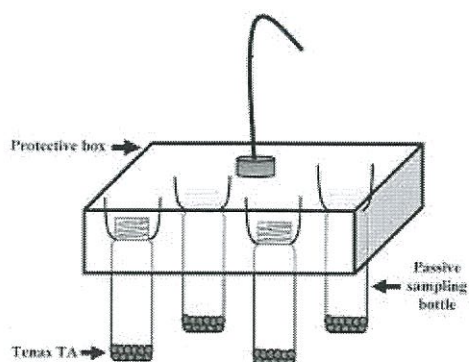
เป็นวิธีที่อาศัยการแพร่ (Diffusion) ของสารมลพิษในอากาศปนเปื้อนอยู่โดยก๊าซที่ต้องการศึกษาสามารถแพร่จากอากาศเข้าไปยังตัวดูดซับที่เหมาะสมแล้วนำตัวที่ดูดซับแล้วไปทำการสกัดแล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ต้องการทราบความเข้มข้นได้

อุปกรณ์พาสซีฟนี้มีราคาถูกกว่าเครื่องมือชนิดแอคทีฟมากขึ้นตอนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างไม่ยุ่งยากสารเคมีที่ใช้หาได้ง่ายและมีราคาถูกรวมทั้งไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์นี้จึงมีราคาถูกขนาดเล็กน้ำหนักเบาใช้ติดตามตัวได้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้และสามารถนำไปใช้ตรวจวัดคุณภาพอากาศได้ในทุกสถานที่เช่นในชุมชนในเมืองในโรงงานอุตสาหกรรมในชนบทในป่าและสามารถใช้ติดตามคุณภาพอากาศได้พร้อมกันในหลายๆแห่งได้



รูปที่ 2.30 กลไกการแพร่ของอากาศ (Sigma-Aldrich, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Chongdee, 2016)

### 2.6.1 หลักการ (Operating principles)

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

$$F = -D \frac{dc}{dx} \quad (2.38)$$

- เมื่อ F คือ ฟลักซ์ของมวลสาร ( $\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )  
 D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (Diffusion coefficient) ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ )  
 C คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษในหลอด ( $\text{mol cm}^{-3}$ )  
 X คือ ความยาวของการแพร่ (cm)

ปริมาณของก๊าซที่เดินทางโดย Fick's law จากอากาศโดยรอบไปที่ก้นหลอดหาได้จากสมการ

$$Q = F(\pi r^2) t \quad (2.39)$$

- เมื่อ Q คือ ปริมาณของก๊าซ (mol)  
 t คือ ระยะเวลาที่รับสัมผัส (วินาที)  
 r คือ รัศมีของหลอด (m)

แทนค่า F จากสมการ (2.38) ลงใน (2.39)

$$Q = -D \frac{dc}{dx} (\pi r^2) t \quad (2.40)$$

$$\frac{dc}{dx} = \frac{c_1 - c_0}{t} \quad (2.41)$$

- เมื่อ  $C_1$  คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ ( $\text{mol cm}^{-3}$ )  
 $C_0$  คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษของตัวดูดซับ ( $\text{mol cm}^{-3}$ )  
 L คือ ความยาวของหลอด (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จำนวนโมลของ  $\text{SO}_2$  หรือ  $\text{NO}_2$  ที่เก็บได้ คือ

$$Q = \frac{(C_1 - C_0)(\pi^2)t}{1} \quad (2.42)$$

สำหรับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในอากาศโดยรอบ (D) คือ  $1.27 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  สมมติให้ sorbent มีประสิทธิภาพ 100% ดังนั้น  $C_0 = 0$  ความเข้มข้นของ  $\text{SO}_2$  คัดได้จากสมการ

$$C_1 = \frac{Q \times l}{\pi^2 \times t \times 1.27 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{g} / \text{m}^3 \text{ of } \text{SO}_2} \quad (2.43)$$

เมื่อ Q ปริมาณของ  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}$ ) ที่ได้จากการคำนวณ  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $\mu\text{g}$ )

### 2.6.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟ

จากการที่ได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้ทำให้ทราบว่า การตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) ด้วยอุปกรณ์พาสสิฟมีข้อดีและข้อจำกัดดังนี้ (สมพร, 2548)

- ข้อดีของการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟ

อุปกรณ์ที่ใช้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีราคาถูก สามารถผลิตได้ง่าย และสะดวกในการติดตั้ง เหมาะสำหรับการตรวจวัดแบบบุคคลพลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ไม่ต้องใช้ปั๊มดูดอากาศ เหมือนที่ใช้กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟ สามารถใช้ตรวจวัดมลสารได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และสามารถทำซ้ำได้หลายค่า

- ข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟ

ต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างค่อนข้างนาน อยู่ในช่วงประมาณ 1 หรือ 2 อาทิตย์เป็นอย่างน้อย ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นสูงสุดของมลสารได้ และผลการตรวจวัดอาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้น

ดังนั้นวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟจึงเป็นวิธีที่มีการทดลองและศึกษาเพื่อหาปริมาณก๊าซและสารระเหยต่างๆ หลายชนิด เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากมาก มีราคาถูกอีกทั้งค่าใช้จ่ายในการทดลองต่ำ จึงมีการทดลองและพัฒนาวิธีการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการเก็บตัวอย่าง และเพื่อให้มีความสะดวกในการนำไปใช้ได้มากขึ้น

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 สุธีรา พุกษากร (2550) ได้ติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศโดยใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในเขตเทศบาลจังหวัดลำพูนและศึกษาความหลากหลายของไลเคนในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2547 - เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2548 โดยแบ่งพื้นที่ทำการศึกษาในเขตเทศบาลเป็นตารางขนาด 500x500 ตารางเมตรจำนวน 30 ตารางสุ่มเลือกต้นมะม่วง (*Magifera indica* Linn.) วัดเส้นรอบวงที่ตำแหน่งสูงจากพื้นดิน 150 เซนติเมตรตารางละ 6 ต้นรวมทั้งหมด 180 ต้นนากริดเฟรม (Grid frame) ขนาด 20x50 ตารางเซนติเมตรแบ่งเป็น 10 ช่องเล็กช่องละ 10x10 ตารางเซนติเมตรทาบกับลำต้นมะม่วงโดยให้ขอบล่างของกริดเฟรมสูงจากระดับพื้นดิน 100 เซนติเมตรพบว่ามีไลเคนกลุ่มโพลีโอส 3 สกุลครีโตส 7 สกุลและเลอโพส 1 สกุล นำความถี่ของจำนวนไลเคนที่พบมาคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ในเขตเทศบาลจังหวัดลำพูนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลำดับชั้นคุณภาพอากาศ (Air Quality Class: AQC) คือ ชั้นที่ 1 มีดัชนีคุณภาพอากาศตั้งแต่ 0.0-7.4 บ่งชี้บริเวณที่มีมลพิษทางอากาศสูงมากซึ่งแสดงด้วยสีแดงพบ 7 ตารางชั้นที่ 2 มีดัชนีคุณภาพอากาศตั้งแต่ 7.5-14.8 บ่งชี้บริเวณที่มีมลพิษทางอากาศสูงถึงสูงมากแสดงด้วยสีส้มแดงพบ 22 ตารางและชั้นที่ 3 มีดัชนีคุณภาพอากาศเท่ากับ 14.9-22. บ่งชี้บริเวณที่มีมลพิษทางอากาศสูงแสดงด้วยสีส้มพบว่าในเขตเทศบาลจังหวัดลำพูนนั้นมีมลพิษทางอากาศเกิดขึ้น

2.7.2 ราพรวน กิ่งเจิม (2552) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายของไลเคนและตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 ในพื้นที่ศึกษาขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตรจำนวน 10 พื้นที่รอบโรงไฟฟ้าทำการสำรวจความหลากหลายของไลเคนบนต้นมะม่วง (*Magifera indica* Linn.) จำนวน 10 ต้นในแต่ละพื้นที่รวมทั้งหมด 100 ต้นโดยใช้กรอบสำรวจความถี่ขนาด 20x50 ตารางเซนติเมตรบันทึกชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคนแต่ละชนิดเก็บเปลือกไม้เพื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่างและบันทึกข้อมูลทางกายภาพอื่นๆของต้นไม้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศในฤดูแล้งและฤดูฝนโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive sampling technique) ชนิดหลอดทำการตรวจวัดปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีผลการศึกษาพบไลเคน 13 วงศ์ 24 สกุล 43 ชนิดประกอบด้วยไลเคนกลุ่มโพลีโอสจำนวน 5 สกุล 11 ชนิดและไลเคนกลุ่มครีโตสจำนวน 19 สกุล 32 ชนิดโดยไลเคนส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในสกุล *Dirinaria*, *Pyxine*, *Chrysothrix*, *Cryptothecia*, *Arthonia*, *Lecanographa*, *Laurera* และ *Hyperphyscia* ส่วนน้อยที่พบเป็นไลเคนที่อยู่ในสกุล *Buellia*, *Ocellularia* และ *Chapsa* มีไลเคนที่ไม่สามารถจัดจำแนกสกุลได้ 1 ตัวอย่างไลเคนชนิด *Dirinaria picta* และ *Pyxine cocoes* พบในทุกพื้นที่ศึกษานอกจากนี้ยังพบว่าไลเคนกลุ่มครีโตสมีจำนวนชนิดมากกว่าไลเคนกลุ่มโพลีโอสในทุกพื้นที่ศึกษาสำหรับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ตรวจวัดในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 0.84-8.65 และ 0.51-1.72 ส่วนในพื้นล้นส่วนโดยปริมาตรตามลำดับการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหลากหลายของไลเคนกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศในพื้นที่ศึกษาพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการศึกษารังนี้ ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำไม่มีผลต่อความหลากหลายของไลเคนและความเป็นกรด-ด่างของเปลือกไม้ในพื้นที่ศึกษานอกจากนี้ยังพบว่าไลเคนส่วนใหญ่มีแนวโน้มเจริญอยู่บนลำต้นของต้นมะม่วงในทิศทางที่มีกหลักหนีจากทิศที่หันเข้าสู่โรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 **เวชศาสตร์ พลเยี่ยม และคณะ (2552)** ได้ทำการสำรวจไลเคนมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพของไลเคน ในเขตเมืองที่มีมลพิษทางอากาศสูง เพื่อจัดทำคู่มือศึกษาไลเคนในเขตเมืองและเพื่อใช้ไลเคนเป็นเครื่องมือชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไลเคนจากสวนสาธารณะ 9 แห่งคือสวนหลวงร.9 สวนพระนครสวนเสรีไทยสวนจตุจักรสวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์สวนเบญจสิริสวนรมณีนาถสวนลุมพินีและสวนธนบุรีรมย์เก็บไลเคนได้ทั้งสิ้น 54 ตัวอย่างจัดจำแนกตามหลักอนุกรมวิธานได้ 27 ชนิด 16 สกุล 9 วงศ์ซึ่งครั้งนี้มีไลเคนที่สำรวจพบเพิ่มขึ้นจากในอดีตหลายชนิดโดยมีไลเคนอีกหลายชนิดยังระบุชื่อไม่ได้ไลเคนที่พบแพร่กระจายได้ดีส่วนใหญ่เป็นพวกทนทานมลพิษทางอากาศสูงซึ่งได้แก่ *Pyxine cocoes*, *Anthracotheicum subglobosum* และ *Trypethelium eluteriae* ส่วนกลุ่มทนทานปานกลางพบได้บางสวนเท่านั้น สวนสาธารณะที่พบชนิดไลเคนได้มากที่สุดคือสวนธนบุรีรมย์รองลงมาคือสวนหลวงร.9 ซึ่งทั้งสองสวนตั้งอยู่ในเขตใกล้ชานเมืองปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของไลเคนในสวนต่างๆขึ้นอยู่กับภูมิอากาศสมบัติของเปลือกไม้และมลพิษทางอากาศการอยู่รอดของไลเคนในสวนสาธารณะอาจชี้วัดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมทั้งมนุษย์ที่จำเป็นต้องติดตามเผ่าละวั่งในระยะยาวต่อไป

2.7.4 **อมรรัตน์ พิทักษ์พงษ์ (2552)** ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพในการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในปี 2552 โดยแผนที่ไลเคนในการจัดการคุณภาพอากาศและใช้การเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟในการตรวจวัดคุณภาพอากาศปริมณูมิ, ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟพื้นที่ในการศึกษามีทั้งหมด 46 จุด (1x1 กิโลเมตร) และได้เก็บไลเคนจากต้นมะม่วงทั้งหมด 278 ต้นพบไลเคนทั้งหมด 29 ชนิดซึ่งเป็นไลเคนชนิดครัสโตส 22 ชนิดและเป็นไลเคนชนิดโพลีออส 7 ชนิดส่วนไลเคน 5 ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Hyperphyscia adglutinata*, *Pyxine cocoes*, *Physcia dimidiata*, *Lecanora leprosa* และ *Opeggriapha stirtio* ในศูนย์กลางของเมืองจะพบน้อยกว่าพื้นที่ด้านนอกทำการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ซึ่งมีความแตกต่างกัน 4.7 ถึง 29.2 และทำการหาชั้นของคุณภาพอากาศ (Air Quality Class: AQC) โดยกำหนดจากไลเคนได้ 4 ระดับชั้นโดยใช้สีในการแบ่งของขอบเขตมลพิษอากาศจากสมการของเพียร์สันแสดงให้เห็นดัชนีความหลากหลายของไลเคน (Lichen Diversity Index: LDI) มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $r = -0.446, p < 0.01$ ) และความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $r = -0.470, p < 0.01$ ) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับพีเอชของเปลือกไม้ ( $r = 0.144, p < 0.01$ ) พีเอชของเปลือกไม้มีค่าแตกต่างกัน 5.09 ถึง 5.62 ดัชนีความหลากหลายของไลเคนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญไปยังเปลือกไม้ ( $r = -0.004, p < 0.01$ ) สรุปได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลกับความหลากหลายของไลเคนในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

2.7.5 **ชุมพล สานแดงและคณะ (2554)** ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ทำการสำรวจชนิดพร้อมเก็บตัวอย่างไลเคนที่พบและตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 13 จุดระหว่าง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2554 – เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟชนิดหลอดโดยแขวนหลอดเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ 15 วันนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟพร้อมตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิจากเครื่องมือที่เกี่ยวข้องผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 4 วงศ์ 7 สกุลและ 7 ชนิดได้แก่ *Chrysothrix xanthina*, *Graphis* sp.,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Lecanora* sp., *Dirinaria* sp., *Hyperphyscia* sp., *Pycnidia* sp., และ *Pyxine cocoes* ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Pyxine cocoes* และ *Dirinaria* sp. และปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษาค้นคว้าเดือนพฤศจิกายนพ.ศ. 2554, เดือนธันวาคมพ.ศ. 2554 และเดือนมกราคมพ.ศ. 2555 ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 2.211-7.970, 4.173-12.654 และ 2.933-12.356ppbv ตามลำดับจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ ) โดยจุดเก็บตัวอย่างคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและประตูทางเข้า-ออกสถาบันฯ ฟังถนนมอเตอร์เวย์มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุดผลที่ได้จากการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศและตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สรุปได้ว่าในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังคุณภาพอากาศอยู่ในระดับพอใช้

2.7.6 จันทร์พิมพ์ สังขนารอดและคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะลาดกระบัง (สวนพระนคร) ได้ทำการสำรวจชนิดพร้อมเก็บตัวอย่างไลเคนที่พบและตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 12 จุดระหว่างเดือนกรกฎาคม-เดือนกันยายนพ.ศ. 2555 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟชนิดหลอดโดยแขวนหลอดเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ 15 วันนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีพร้อมตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิตามที่เกี่ยวข้อผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 2 วงศ์ 3 สกุลและ 3 ชนิดได้แก่ *Buellia* sp., *Pyxine cocoes* และ *Graphis* sp. ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Pyxine cocoes* ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษาค้นคว้าค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ช่วงเดือนกรกฎาคม - เดือนกันยายนพ.ศ. 2555 ทั้ง 12 จุดเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 2.755-8.099 และ 3.890-11.262 ตามลำดับจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่าปริมาณของ  $SO_2$  และ  $NO_2$  ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ ) ผลที่ได้จากการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศสรุปได้ว่าบริเวณสวนสาธารณะลาดกระบัง (สวนพระนคร) มีคุณภาพอากาศพอใช้

2.7.7 พล งามสวัสดิ์วงศ์และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิได้ทำการสำรวจชนิดพร้อมเก็บตัวอย่างไลเคนที่พบและตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 10 จุดระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 - เดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟ ชนิดหลอดโดยแขวนหลอดเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ 10 วันนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีพร้อมตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิตามที่เกี่ยวข้อผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 5 วงศ์ 10 สกุล 10 ชนิดได้แก่ *Chrysothrix xanthine*, *Graphis* sp., *Lecanora* sp., *Trypethelium eluteriae*, *Dirinaria* sp., *Hyperphyscia* sp., *Pycnidia* sp., *Pyxine cocoes*, *Pyxine dimidiata*, *Amandinea extunata* ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Pyxine cocoes* ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษาค้นคว้าค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ช่วงเดือนสิงหาคม - เดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ทั้ง 10 จุดเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 1.39-60.50 และ 10.94-97.97 ppbv ตามลำดับจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่าปริมาณของ  $SO_2$  และ  $NO_2$  ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ ) ผลที่ได้จากการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศสรุปได้ว่าบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมีคุณภาพอากาศพอใช้

2.7.8 กานต์ลีณี วงษ์วิวัฒน์และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจากจุดเก็บตัวอย่าง 5 จุดเป็นระยะเวลา 3 เดือนคือเดือนมกราคมเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมพ.ศ. โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสสิฟชนิดนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีพร้อมตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิตามวิธีที่เกี่ยวข้องผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 6 วงศ์ (Family) 9 สกุล (Genus) 9 ชนิด (Species) ชนิดไลเคนที่พบคือ *Graphis* sp., *Lecanora* sp., *Trypethlium eluteriae*, *Arthonia* sp., *Pyxine cocoes*, *Amandinea extunata*, *Rinaria* sp., *Physcia dimidiata*, *Anthracotheicum eluteriae* ไลเคนชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Anthracotheicum eluteriae* มีปริมาณทั้งหมด 1183 Thallus ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมดจัดอยู่ในกลุ่ม Foliose และ Crustose ซึ่งเป็นไลเคนชนิดที่มีความทนทานและทนทานสูงตามลำดับพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเวลา 24 ชั่วโมงและความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในเกณฑ์ของค่ามาตรฐานตามที่กำหนดไว้ซึ่งแสดงว่าไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของจากการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 5 จุดในเชิงปริมาณพบว่าในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ครัวการบินไทยมีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มากกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่นๆแต่ในเชิงสถิติพบว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ชนิดของไลเคนที่พบคือ *Anthracotheicum eluteriae* ซึ่งเป็นไลเคนกลุ่มทนทานสูง (มุลนิธิโลกสีเขียว, 2554) จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพอากาศโดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมินั้นมีคุณภาพอากาศอยู่ในระดับพอใช้

2.7.9 Lindsay Seed et al., (2013) ได้ทำการศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไลเคนกับมลพิษทางอากาศและสภาพภูมิอากาศโดยทำการสำรวจชนิดของไลเคนทั้ง 9 ชนิดได้แก่ *Usnea* spp., *Evernia* sp., *Hypogymnia* spp., *Melanelixia* spp., *Flavoparmelia* spp., *Parmelia* spp., *Xanthoria* sp., *Xanthoria* sp และ *Physcia* spp. บนต้นไม้ผลัดใบทั้งหมด 19,344 ต้นและศึกษาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นและ ANOVA ของไลเคน *Quercus* spp. กับมลพิษทางอากาศ, สภาพภูมิอากาศและสถานที่ตั้งซึ่งจากการศึกษาพบว่าชนิดของไลเคนและปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์ที่มีในลำต้นและใบมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่ดีซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการชี้วัดคุณภาพอากาศในระดับท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสม

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง




เนื่องจากการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลเคนกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ที่มีอยู่ในบรรยากาศบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงกำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณเดียวกันกับบริเวณที่เคยมีการสำรวจพบโลเคน โดยทำการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศเปรียบเทียบกับงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ (2554) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างและสำรวจพบโลเคน

จุดเก็บ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	พิกัดทางภูมิศาสตร์
S1	 คณะวิทยาศาสตร์ บริเวณศูนย์เครื่องมือ	หางนกยูง	ที่จอดรถบริเวณ ข้างรั้วสถาบันติด ถนนฉลองกรุง	13°43'45.7"N 100°46'46.8"E รนท.6.4 m
S2	 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร	บุนนาค	พื้นที่ว่างระหว่าง บริเวณอาคารมี ต้นไม้โดยรอบ	13°43'35.5"N 100°46'51.0"E รนท.12.8 m




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างและสำรวจพบไลเคน (ต่อ)

จุดเก็บ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	พิกัดทาง ภูมิศาสตร์
S3	 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ บริเวณทางโค้งริมถนน	ชมพูพันธุ์ทิพย์	บริเวณฟุตบอลสนาม ถนนฉลองกรุง	13°43'29.6"N 100°46'41.1"E รณค.4.8 m
S4	 สถานีพระจอมเกล้า บริเวณริมทางรางรถไฟ	ชมพูพันธุ์ทิพย์	มีต้นไม้เรียงติดกับ รางรถไฟ	13°43'41.6"N 100°46'22.1"E รณค.6.3 m
S5	 ลานอเนกประสงค์ บริเวณสนามกีฬาสถาบัน	ชงโค	อยู่ติดริมทางรถไฟ เป็นพื้นที่โล่งแจ้งมี ต้นไม้เรียงติดขอบ รางรถไฟ	13°43'46.4"N 100°46'16.7"E รณค.3.0 m




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างและสำรวจพบไลเคน (ต่อ)

จุดเก็บ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	พิกัดทาง ภูมิศาสตร์
S6	 ริมมอเตอร์เวย์ บริเวณสนามกีฬาสถาบัน	แคสแต	อยู่ติดบริเวณริม ถนนมอเตอร์เวย์มี ต้นไม้เรียงติดถนน	13°43'53.4"N 100°46'22.8"E รณก.2.1 m
S7	 ตึกอธิการบดี บริเวณสวนหย่อม	ตีนเป็ด	มีส่วนห่ออมอยู่ บริเวณระหว่าง อาคารสำนักงาน และอาคารเรียน	13°43'50.2"N 100°46'38.6"E รณก.7.3 m
S8	 อุทยานพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง	ตะแบก	อยู่ติดกับบริเวณริม ถนนมีต้นไม้เรียง ติดกับถนน	13°43'50.7"N 100°46'45.0"E รณก.5.6 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างและสำรวจพบไลเคน (ต่อ)

จุดเก็บ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ชื่อต้นไม้	สภาพแวดล้อม	พิกัดทาง ภูมิศาสตร์
S9	 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ บริเวณติตริมถนน	ตีนเป็ด	อยู่ติตริมถนนมี ต้นไม้เรียงติดกับ ถนน	13°43'50.6"N 100°46'52.6"E รณก.8.7 m
S10	 คณะเทคโนโลยีการเกษตร บริเวณใกล้โรงอาหาร	หมากแดง	เป็นส่วนห้อยมี สระน้ำและอยู่ติด กับที่จอดรถระยะ ยาว	13°43'45.8"N 100°46'53.4"E รณก.8.0 m
S11	 คณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรม (ถนนฉลองกรุง)	ตีนเป็ด	อยู่ติดกับริมถนนมี ต้นไม้ขนาดใหญ่ เรียงติดถนนและมี ที่จอดรถ	13°43'49.0"N 100°46'48.3"E รณก.8.5 m

หมายเหตุ รณก. = ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level : MSL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมรอบบริเวณที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างอากาศ

โดยสภาพพื้นที่บริเวณโดยรอบจุดที่ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างอากาศจะกล่าวถึงเส้นทางคมนาคม ความหนาแน่นของการสัญจร และกิจกรรมที่ส่งผลภายในโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 11 จุด สามารถจำแนกได้เป็นกลุ่มดังนี้

#### 1. เส้นทางคมนาคมหนาแน่น

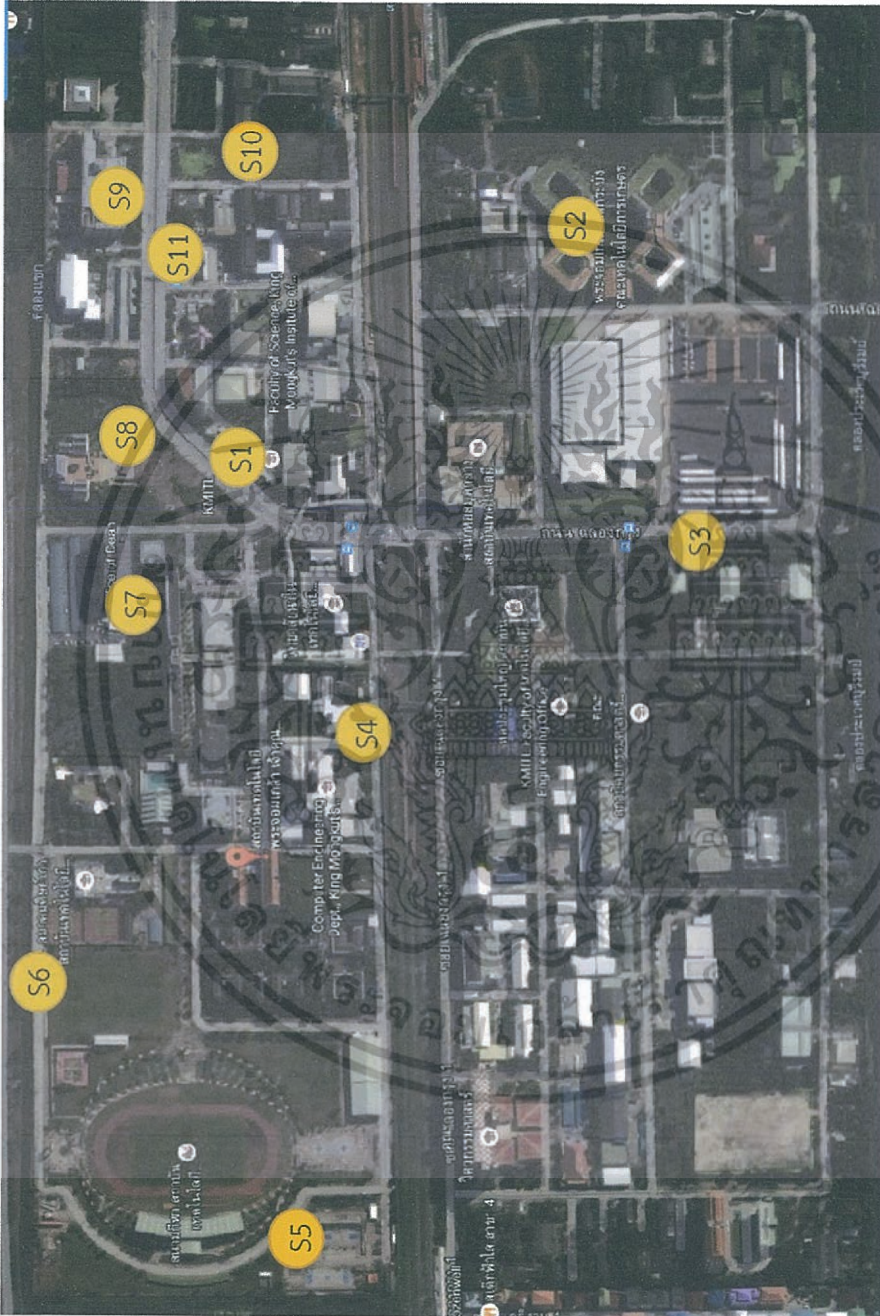
เป็นเส้นทางที่ใช้สัญจรเส้นหลักของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คือถนนฉลองกรุงกับถนนมอเตอร์เวย์ ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์, จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 สถานีพระจอมเกล้า, จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 ลานอเนกประสงค์, จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ริมมอเตอร์เวย์, จุดเก็บตัวอย่างที่ 8 อุทยานพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, จุดเก็บตัวอย่างที่ 9 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, จุดเก็บตัวอย่างที่ 10 คณะเทคโนโลยีการเกษตร, จุดเก็บตัวอย่างที่ 11 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม (ฉลองกรุง)

#### 2. เส้นทางคมนาคมไม่หนาแน่น

เป็นเส้นทางการสัญจรที่ไม่ค่อยพลุกพล่าน เช่น ทางเดินเท้า และ ทางเข้า-ออกภายในคณะ ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร, จุดเก็บตัวอย่างที่ 7 ตึกอธิการบดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างและสำรวจทาบแปลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

- 1) หลอดเก็บตัวอย่างอากาศพอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) ขนาด 5 cm x 2.8 cm
- 2) กล่องพลาสติกบรรจุหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ ขนาด กว้าง 14 cm x ยาว 24 cm x สูง 12 cm.
- 3) แผ่นกรองเซลลูโลส (Filter Paper) ยี่ห้อ ADVANTEC 5B เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm
- 4) เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) รุ่น DX 600 ยี่ห้อ Metrohm
- 5) เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) รุ่น 136 H บริษัท Fisher Scientific Worldwild
- 6) เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure OrganaxCartridge) รุ่น Millipak-40
- 7) เครื่อง GPS map 60 GARMIN
- 8) เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux/Fc Light Meter) รุ่น TM-204 ยี่ห้อ TENMARS
- 9) เครื่องเคาะฝุ่นรุ่น DN200 ยี่ห้อ VAKUUMFEST
- 10) ตู้อบ รุ่น UN 55 ยี่ห้อ MEMMERT
- 11) เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) รุ่น 860 ยี่ห้อ Consort
- 12) แผ่นกรองที่มีรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ยี่ห้อ CNW Technologies
- 13) ไมโครปิเปตขนาด 1000  $\mu\text{L}$
- 14) ไมโครปิเปตขนาด 1000  $\mu\text{L}$
- 15) ถุงซิปปลาสติก
- 16) โกร่งบดสาร
- 17) มีดแบบพกพา
- 18) ตลับเมตรชนิดสายวัดผ้า
- 19) เครื่องแก้วสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ

### 3.3 สารเคมี

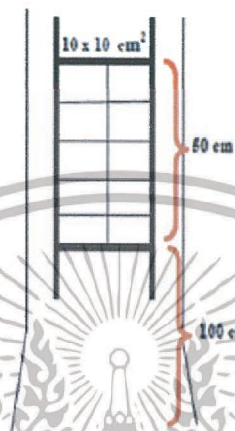
- 1) สารละลายไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine : TEA) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
- 2) สารละลายมาตรฐานซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) เข้มข้น 1000 ppm เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ MEARK
- 3) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
- 4) สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
- 5) อะซิโตน (acetone) ยี่ห้อ Fisher Scientific
- 6) น้ำความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการทดลอง (อมรรัตน์, 2552)

#### 3.4.1 การสำรวจไลเคนในจุดเก็บตัวอย่าง

โดยการใช้กริดเฟรม (Grid frame) ขนาด 20 cm x 50 cm ซึ่งแบ่งเป็น 10 ตาราง ขนาด 10 cm x 10 cm ทาบลงบนลำต้นของต้นไม้ในจุดเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงจากขอบบนของกริดเฟรม 150 cm เหนือระดับพื้นดิน โดยพื้นที่ในการสำรวจไลเคนคือ 10 m x 10 m รอบจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของกริดเฟรมสำหรับสำรวจไลเคน (Verein Deutscher Ingenieure, 1995)

#### 3.4.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ

1. ตัดกระดาษกรองเซลลูโลสขนาดรูพรุน 0.45  $\mu\text{m}$  (ADVENTEC, 5B) เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 cm แช่ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) วางในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแช่ทิ้งไว้ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง เป็นเวลา 1 คืน หลังจากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 103  $^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเก็บใส่ถุงซิปลาสติกนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์

2. นำหลอดเก็บตัวอย่างอากาศพอลิเอทิลีนแช่ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงตั้งในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาออกมาผึ่งไว้ให้แห้ง

#### 3.4.3 การเตรียมตัวกลางดูดซับ

1. การเตรียม 20% TEA ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง

- ปิเปิด TEA 20 ml ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ml
- เติมน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง 20 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากัน
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง จนถึงขีดบอกปริมาตร

2. นำกระดาษกรองที่เตรียมไว้มาบรรจุลงหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ ปิเปิด 20% TEA ปริมาตร 50  $\mu\text{L}$  ลงบนกระดาษกรอง

3. ปิดหลอดเก็บตัวอย่างอากาศด้วยพาราฟิล์ม เก็บอุปกรณ์ที่เตรียมเรียบร้อยแล้วลงในถุงซิปลาสติก

#### 3.4.4 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

นำหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่เป็นพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนรูปทรงกระบอกขนาด 5 cm x 2.8 cm ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงมาเรียบร้อยแล้วภายในหลอดบรรจุกระดาษกรองชุบด้วย 20% TEA ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับส่วนกล่องบรรจุหลอดเก็บตัวอย่างอากาศเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีฝาปิดกว้าง 14 cm x ยาว 24 cm x สูง 12 cm เมื่อนำไปใช้งานจะนำหลอดเก็บตัวอย่างที่เตรียมไว้มาติดตั้งที่ด้านทั้งสามด้านภายในกล่องและหนึ่งด้านสำหรับแบล็ก (Blank) สำหรับด้านบนของกล่องจะถูกเจาะรูผูกติดกับเส้นลวดแล้วนำไปผูกติดกับบริเวณที่จะทำการศึกษาโดยแขวนอุปกรณ์ดังกล่าวสูงจากพื้นดินประมาณ 1.50 m เนื่องจากการวัดหาค่าเฉลี่ยของฝุ่นละออง ในบรรยากาศทั่วไป ต้องสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) เรื่องการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป โดยวางจุดละ 3 ซ้ำที่ 5 จุดเก็บตัวอย่างและขณะติดตั้งได้ทำทริบแบล็ก (Trip Blank) โดยในหลอดเก็บตัวอย่างบรรจุกระดาษกรองชุบ 20% TEA ปิดพาราฟิล์มนำไปด้วยขณะทำการติดตั้ง



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 10 วันหลังจากติดตั้งอุปกรณ์แล้ว โดยสารดูดซับจะยังอยู่เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ทำการเก็บตัวอย่างถึง 15 วัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาค่าได้โดยใช้สารดูดซับที่เท่ากัน จึงทำการเก็บหลอดเก็บตัวอย่างอากาศและปิดปากหลอดเก็บตัวอย่างอากาศด้วยพาราฟิล์มให้เรียบร้อยแล้วนำหลอดบรรจุลงถุงซิปลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป (เก็บรักษาตัวอย่างในตู้แช่เย็นกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันที) ดำเนินการวางตัวอย่างและเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 ครั้งดังนี้

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี (วางตัวอย่าง)	วัน/เดือน/ปี (เก็บตัวอย่าง)
1	2 กันยายน 2559	12 กันยายน 2559
2	16 กันยายน 2559	26 กันยายน 2559
3	1 ตุลาคม 2559	11 ตุลาคม 2559
4	15 ตุลาคม 2559	25 ตุลาคม 2559
5	1 พฤศจิกายน 2559	11 พฤศจิกายน 2559
6	11 พฤศจิกายน 2559	21 พฤศจิกายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ปิเปตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง จำนวน 4 ml ลงในหลอดเก็บตัวอย่าง เขย่าเป็นครั้งคราว คราวละ 2-3 ครั้ง สกัดในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที
2. กรองด้วยแผ่นกรองที่มีรูพรุน  $0.45 \mu\text{m}$  ใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี
3. ทำแปลงค์โดยการเตรียมหลอดพาสีที่ไม่เปิดรับสัมผัสอากาศและทำเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง
4. นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีโดยตัวอย่างที่เตรียมไว้ ต้องทำการวิเคราะห์ทันที

### 3.4.6 การทำกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 500 ppm ทำการเจือจาง 5 เท่าโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตปริมาตร 2 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงจนถึงขีดบอกริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 100 ppm
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 0.5 1.0 3.0 5.0 10.0 และ 15.0 ppm จากสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 100 ppm ที่เตรียมได้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (ppm)	ปริมาตรสารละลายซัลเฟตที่ใช้ ( $\mu\text{L}$ )
0.5	50
1.0	100
3.0	300
5.0	500
10.0	1000
15.0	1500

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรด 0.5 1.0 3.0 5.0 10.0 และ 15.0 ppm จากสารละลายมาตรฐานไนเตรดเข้มข้น 100 ppm ที่เตรียมได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรต

ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) (ppm)	ปริมาตรสารละลายซัลเฟตที่ใช้ ( $\mu\text{L}$ )
0.5	50
1.0	100
3.0	300
5.0	500
10.0	100
15.0	150

4. ปิเปตสารละลายดังตาราง ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml จำนวน 7 ขวด  
5. ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง จนถึงขีดบอกปริมาตร  
6. กรองด้วยแผ่นกรองที่มีรูพรุน  $0.45 \mu\text{m}$  ใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้า  
เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

7. ฉีดเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี เพื่อทำการภาพมาตรฐาน

**3.4.7 การวิเคราะห์ซัลเฟตไอออน ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) โดยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี**  
การเตรียมสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile Phase Eluent) สำหรับการวิเคราะห์แอนไอออน มีดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) กับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ที่มีความเข้มข้น 3.2 และ 1.0 mM โดยชั่ง  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และ  $\text{NaHCO}_3$  มา 0.6783 g และ 0.1680 g ตามลำดับ ละลายด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ประมาณ 80 – 100 ml

2. เติมนอร์มัลโซลิวชัน จำนวน 100 ml เพื่อป้องกันการเติบโตของแบคทีเรีย ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง จนได้ 2 L ในขวดวัดปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3. นำสารละลายที่ได้ไปใส่ก๊าซในอ่างอัลตราโซนิกนาน 30 นาที

4. นำมากรองโดยใช้กระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน  $0.45 \mu\text{m}$  ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแบบลดความดัน

5. นำมาแช่ในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาทีอีกครั้งเพื่อไล่ก๊าซออกไป

**3.4.8 การทำความสะอาดเครื่องแก้ว**

1. ล้างเครื่องแก้วด้วยน้ำประปา น้ำยาล้างเครื่องแก้ว และน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง

2. เติมกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 20% w/w (AR Grade) ลงไปในเครื่องแก้วและแช่ไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนเครื่องแก้วที่ไม่สามารถกักเก็บกรดไนตริกได้ เช่น ปิเปต ให้แช่ไว้ในบีกเกอร์และกระบอกตวง 1000 ml ที่มีกรดไนตริกความเข้มข้นเท่ากัน

3. นำเครื่องแก้วที่แช่เสร็จแล้วมาทำการล้างด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง 3 ครั้ง ผึ่งหรืออบให้แห้งเก็บเครื่องแก้วไว้ในอุปกรณ์ป้องกันฝุ่นจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ใส่ถุงซิปลาสติกปิดสนิท

### 3.4.9 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

#### 3.4.9.1 วัดเส้นรอบวงของต้นไม้

วัดเส้นรอบวงของต้นไม้ที่สำรวจพบโลเคน (จุดเดียวกับบริเวณที่แขวนกล่องเก็บตัวอย่างอากาศ) ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุดที่ระดับความสูง 1.50 m เหนือพื้นดิน โดยใช้ตลับเมตรชนิดสายวัดผ้า

#### 3.4.9.2 ค่าพีเอชของเปลือกไม้ (พล และคณะ, 2558)

เก็บเปลือกไม้จากจุดเก็บตัวอย่างอากาศที่มีระยะห่างจากโลเคน 2-3 ml และมีความสูงจากจุดเก็บเปลือกไม้ถึงพื้นดิน 1.50 m โดยใช้มีดแบบพกพา เก็บรักษาไว้ในถุงซิปลาสติกจากนั้นนำไปบดด้วยโกรงบดสารให้พอยาบ นำตัวอย่างของเปลือกไม้ที่บดแล้วมา 1 g แช่ในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง 15 ml ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้ววัดค่าพีเอชของตัวอย่างเปลือกไม้ด้วยเครื่องวัดพีเอช

#### 3.4.9.3 วัดค่าความเข้มของแสง

วัดค่าความเข้มของแสงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุดในช่วงเวลาเช้า กลางวัน และเย็น ด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง แล้วนำมาหาค่าความเข้มของแสงเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างต่อวัน

#### 3.4.9.4 อุณหภูมิ

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในสถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ

#### 3.4.9.5 ความชื้นสัมพัทธ์

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในสถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ

#### 3.4.9.6 ปริมาณน้ำฝน

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในสถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ

### 3.4.10 การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.4.10.1 การคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Plaisance et al., 2002)

โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีพมาทำการวัดความเข้มข้นโดยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี คำนวณหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) จากซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) จากสูตรดังต่อไปนี้

$$Q = X(\text{ppm}) \times \text{ปริมาตรสารที่ใช้สกัด (ml)} \times \frac{M\text{W}\text{SO}_2}{M\text{W}\text{SO}_4^{2-}}$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ Q = ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\mu\text{g}$ )  
 L = ความยาวของหลอดเก็บตัวอย่าง (m)  
 r = รัศมีของหลอดเก็บตัวอย่าง (m)  
 t = ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)  
 D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในอากาศโดยรอบ ( $\text{SO}_2 = 0.0000127 \text{ m}^2/\text{s}$ )

ทำการเปลี่ยนหน่วยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  เป็น ppb หรือ  $\text{ppb}_v$  จากสมการ

$$\text{ppb}_v = \frac{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times \text{molecular volume (L)}}{\text{molecular weight}}$$

เมื่อ  $\text{molecular volume} = \frac{22.41 \times (273.15 + 25)}{273.15} \times \frac{101.3}{100.8}$

$\text{molecular volume} = 24.58 \text{ L/mol}$

เมื่อ  $P = 101.3 \text{ kPa}$

หมายเหตุ P = ความดันบรรยากาศ 1 atm

### 3.4.10.2 การคำนวณหาความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์

โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีพมาทำการวัดความเข้มข้นโดยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) จากไนเตรต ( $\text{NO}_3$ ) จากสูตรดังต่อไปนี้

$$Q = X(\text{ppm}) \times \text{ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)} \times \frac{MW_{\text{NO}_2}}{MW_{\text{NO}_3}}$$

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

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

- เมื่อ Q = ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\mu\text{g}$ )  
 L = ความยาวของหลอดเก็บตัวอย่าง (m)  
 r = รัศมีของหลอดเก็บตัวอย่าง (m)  
 t = ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)  
 D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในอากาศโดยรอบ ( $\text{NO}_2 = 0.0000154 \text{ m}^2/\text{s}$ )

ทำการเปลี่ยนหน่วยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จาก  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  เป็น ppb หรือ  $\text{ppb}_v$  จากสมการ

$$\text{ppb}_v = \frac{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times \text{molecular volume (L)}}{\text{molecular weight}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \textit{molecular volume} &= \frac{22.41 \times (273.15 + 25)}{273.15} \times \frac{101.3}{100.8} \\ \textit{molecular volume} &= 24.58 \text{ L/mol} \\ \text{เมื่อ } P &= 101.3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

หมายเหตุ  $P$  = ความดันบรรยากาศ 1 atm

### 3.4.10.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

ทำการเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS โดยวิธี One Way ANOVA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาประกอบด้วยการเก็บรวบรวมตัวอย่างและสำรวจพบไลเคนจากบริเวณที่ทำการศึกษา การวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศจากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 11 จุด บริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีการเก็บตัวอย่างอากาศทั้ง 6 ครั้ง ในระยะเวลา 3 เดือน ดังนี้ กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 และนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของชุมพล สานแดงและคณะปี พ.ศ. 2554 ซึ่งผลวิจัยสรุปได้ดังนี้

#### 4.1 การศึกษาชนิดปริมาณของไลเคนและปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบ

##### 4.1.1 ชนิดของไลเคน

จากการศึกษาชนิดของไลเคนโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในงานวิจัยนี้ พบไลเคนทั้งหมด 4 วงศ์ (Family) 8 สกุล (Genus) 8 ชนิด (Species) ซึ่งไลเคนที่พบมากที่สุด คือ ลายเส้น (*Graphid* sp.) โดยชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายชื่อชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด

Thallus type (รูปแบบการเจริญเติบโต)	Family (วงศ์)	Genus (สกุล)	Species (ชนิด)
Crustose	Physciaceae	Amandinea	<i>Amandinea extunata</i>
	Trypetheliaceae	Trypethelium	<i>Trypethelium</i>
	Graphidaceae	Graphid	<i>eluteriae</i>
		Glyphis	<i>Graphid</i> sp. <i>Glyphis</i>
Foliose	Physciaceae	Pyxine	<i>Pyxine cocoes</i>
		Dirinaria	<i>Dirinaria</i> sp.
		Physcia	<i>Physcia dimidiata</i>
		Rinodina	<i>Rinodina</i> sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



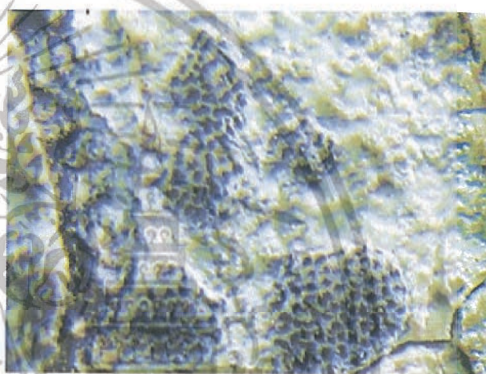
*Amandinea extunata*



*Trypethlium eluteriae*



*Graphid* sp.



*Glyphis*



*Pyxine cocoes*



*Dirinaria* sp.

รูปที่ 4.1 ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



*Physcia dimidiata*



*Rinodina* sp.

รูปที่ 4.1 ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมด (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 ชนิดของไลเคนที่พบในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ในงานวิจัยนี้ พ.ศ. 2559

Species	จุดเก็บตัวอย่างที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Amandinea extunata</i>		✓	✓				✓			✓	✓
<i>Trypethlium eluteriae</i>										✓	
<i>Graphid</i> sp.	✓	✓	✓				✓	✓		✓	✓
<i>Pyxine cocoes</i>			✓				✓	✓	✓	✓	✓
<i>Dirinaria</i> sp.			✓								
<i>Physcia dimidiata</i>		✓									
<i>Rinodina</i> sp.											✓
<i>Glyphis</i> sp.				✓							
ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ย 10 วัน (ppb <sub>v</sub> )	1.04	0.58	1.01	1.04	1.41	1.54	1.00	1.09	1.08	0.93	0.95
ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ย 10 วัน (ppb <sub>v</sub> )	3.14	1.73	3.11	3.20	3.28	4.95	3.91	4.24	3.31	3.05	2.87

จากตารางที่ 2.2 การประเมินคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคนและงานวิจัยของ กัณษิตรีย์ บุญประกอบ (2550) แสดงให้เห็นว่า พบไลเคนกลุ่มทนทานมากกว่ากลุ่มอื่น แสดงให้เห็นว่าในบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอยู่ในระดับคุณภาพอากาศที่พอใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไลเคนที่พบในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด (ในหน่วย Thallus) ในงานวิจัยนี้ พ.ศ. 2559

Species	จุดเก็บตัวอย่างที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Amandinea extunata</i>	0	2	5	0	0	0	3	0	0	42	88
<i>Trypethlium eluteriae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
<i>Graphid</i> sp.	43	235	10	0	0	0	22	11	0	2	10
<i>Pyxine cocoes</i>	0	0	4	0	0	0	59	30	15	1	131
<i>Dirinaria</i> sp.	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Physcia dimidiata</i>	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rinodina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Glyphis</i> sp.	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

จากงานวิจัยของ ชุมพล สานแดงและคณะ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องเดียวกันในปี พ.ศ. 2554 จึงได้ทำการนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 ไลเคนที่สำรวจพบบริเวณ โดยรอบ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปี พ.ศ. 2559 มาเปรียบเทียบชนิดของไลเคนที่สำรวจพบในงานวิจัยนี้ ผลแสดงดังตารางที่ 4.4

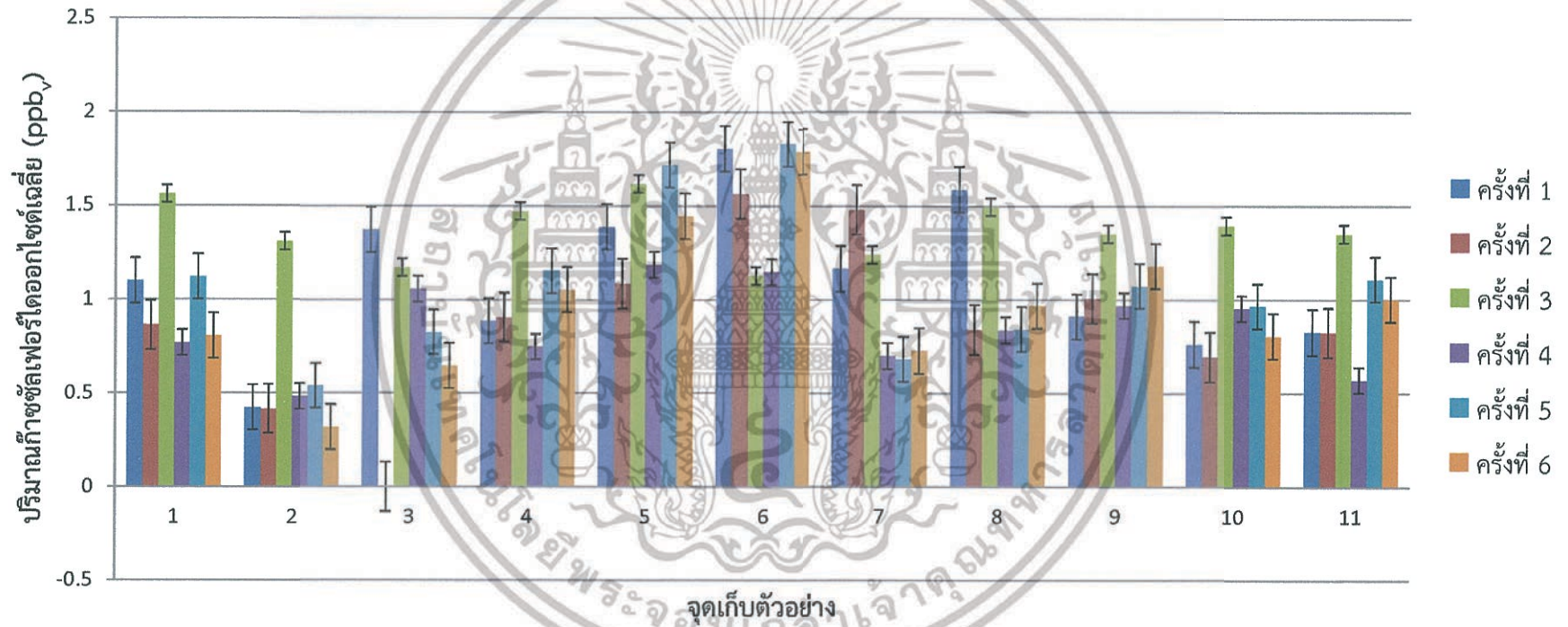
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบชนิดของไลเคน

จุดเก็บตัวอย่างที่	ชนิดของไลเคน	
	งานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ ปี พ.ศ. 2554	งานวิจัยนี้ ปี พ.ศ. 2559
1	<i>Pycnidia</i> sp.	<i>Graphid</i> sp.
2	<i>Hyperphyscia</i> sp.	<i>Graphid</i> sp. <i>Physcia dimidiata</i> <i>Amandinee extunata</i>
3	ไม่ได้ศึกษา	<i>Amandinee extunata</i> <i>Graphid</i> sp. <i>Pyxine cocoes</i> <i>Dirinaria</i> sp.
4	<i>Lecanora</i> sp.	<i>Glyphis</i> sp.
5	ไม่ได้ศึกษา	ไม่พบชนิดไลเคน
6	<i>Pyxine cocoes</i>	ไม่พบชนิดไลเคน

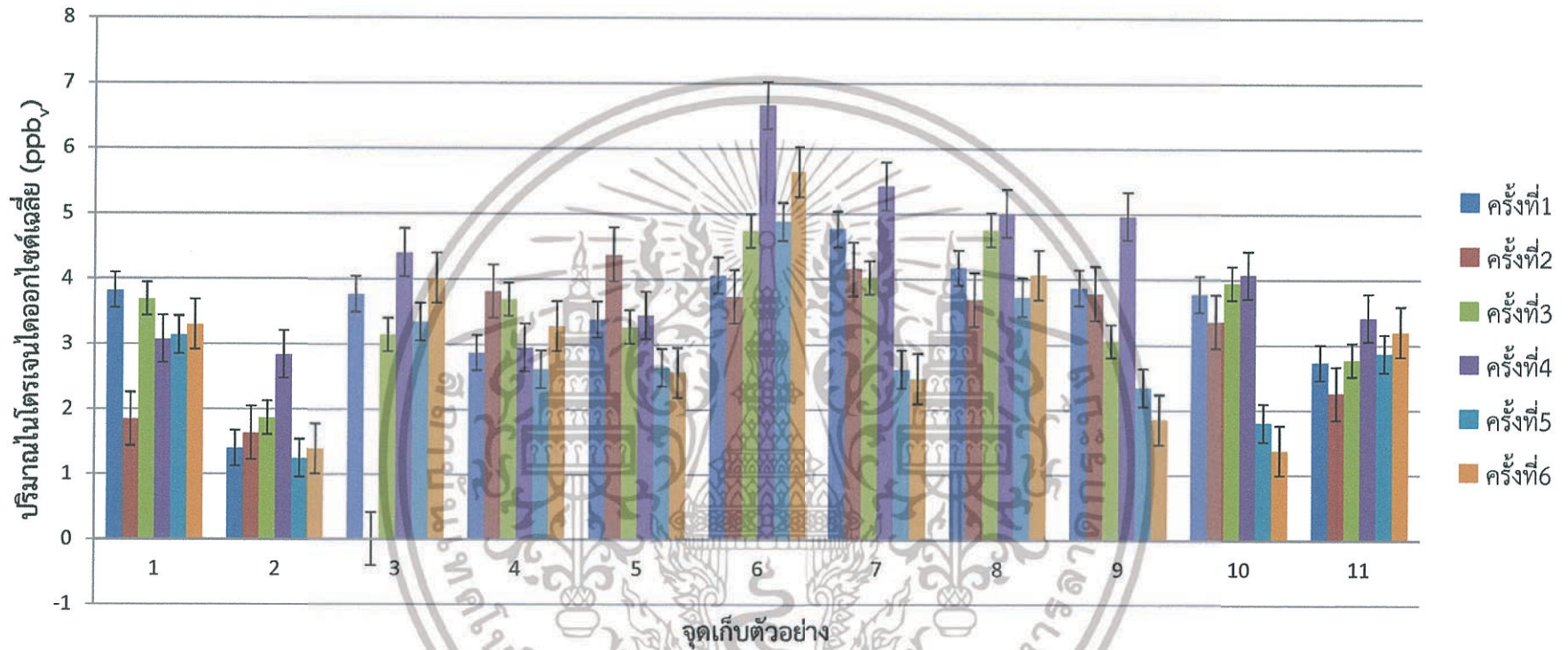
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบชนิดของไลเคน (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่างที่	ชนิดของไลเคน	
	งานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ ปี พ.ศ. 2554	งานวิจัยนี้ ปี พ.ศ. 2559
7	<i>Chrysothrix xanthina</i>	<i>Amandinea extunata</i> <i>Graphid</i> sp. <i>Pyxine cocoes</i>
8	<i>Graphis</i> sp. <i>Dirinaria</i> sp. <i>Pyxine cocoes</i>	<i>Graphid</i> sp. <i>Pyxine cocoes</i>
9	<i>Dirinaria</i> sp.	<i>Pyxine cocoes</i>
10	ไม่พบชนิดไลเคน	<i>Amandinea extunata</i> <i>Trypethlium eluteriae</i> <i>Graphid</i> sp. <i>Pyxine cocoes</i>
11	ไม่พบชนิดไลเคน	<i>Amandinea extunata</i> <i>Graphid</i> sp. <i>Pyxine cocoes</i> <i>Rinodina</i> sp.

จากตารางที่ 4.4 งานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ แสดงให้เห็นว่า จุดเก็บตัวอย่างที่ 8 อุทยานพระจอมเกล้า พบไลเคนชนิด *Pyxine cocoes* (หัตถ์ทศกัณฐ์ กุมน้ำแข็ง) ซึ่งเป็นชนิดเดียวกันกับที่พบในงานวิจัยนี้ เนื่องจากไลเคนชนิดนี้เป็นกลุ่มทนทานสูงสอดคล้องกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยที่วัดได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 6 ครั้งของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในงานวิจัยนี้ พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย 6 ครั้งของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในงานวิจัยนี้ พ.ศ. 2559

#### 4.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไลเคนรอบบริเวณที่ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่าง

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไลเคนรอบบริเวณที่ทำการศึกษาคาดว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไลเคนและชนิดของไลเคนที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย 7 พารามิเตอร์ ได้แก่ ลักษณะของเปลือกไม้, เส้นรอบวงของต้นไม้, พีเอชของเปลือกไม้, ความเข้มแสง, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ปริมาณน้ำฝน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่วัดได้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ พ.ศ. 2559

พารามิเตอร์	ช่วงที่เหมาะสม	จุดเก็บตัวอย่าง										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ลักษณะเปลือกไม้	ขรุขระ	ขรุขระ	ผิวเรียบ	ขรุขระ	ขรุขระ	ขรุขระ	ขรุขระ	ขรุขระ	ขรุขระ	ขรุขระ	ผิวเรียบ	ขรุขระ
เส้นรอบวงต้นไม้	-	174.7	46.5	114	210.1	54.3	60.8	63.2	58.5	79.7	47.5	124.3
พีเอชเปลือกไม้	4 ถึง 6	6.28	6.34	6.27	6.27	6.27	6.24	6.27	6.24	6.27	6.24	6.27
ความเข้มแสงเฉลี่ย (Lux.)	$5.8 \times 10^5$ ถึง $1.5 \times 10^6$	$1.19 \times 10^{13}$	$8.32 \times 10^{12}$	$6.80 \times 10^{12}$	$6.27 \times 10^{12}$	$1.44 \times 10^{13}$	$1.26 \times 10^{13}$	$1.21 \times 10^{13}$	$8.47 \times 10^{13}$	$1.02 \times 10^{13}$	$1.34 \times 10^{13}$	$1.09 \times 10^{13}$
SO <sub>2</sub> (ppb <sub>v</sub> )	0 ถึง 120	1.04	0.58	1.01	1.04	1.41	1.54	1.00	1.09	1.08	0.93	0.95
NO <sub>2</sub> (ppb <sub>v</sub> )	0 ถึง 170	3.14	1.73	3.11	3.20	3.28	4.95	3.91	4.24	3.31	3.05	2.87

จากตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่วัดได้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยรวมแล้วมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน เนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ มีค่าไม่ต่างกันมากจากช่วงที่เหมาะสม จะเห็นว่าจุดที่มีต้นไม้ผิวขรุขระจะพบไลเคนได้มากกว่าต้นไม้ผิวเรียบ ค่าพีเอชและค่าความเข้มแสงที่เกินช่วงที่เหมาะสมทำให้ไลเคนเติบโตช้าหรือ ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของไลเคน แต่ขนาดของต้นไม้จะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคน ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จะส่งผลต่อชนิดของไลเคน จะเห็นว่าจุดที่ 6 มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มากที่สุดและปัจจัยการเจริญเติบโตของไลเคนไม่เหมาะสมทำให้ไม่พบไลเคนในบริเวณริมถนนมอเตอร์เวย์ และนำผลคือ พีเอชของเปลือกไม้, ความเข้มแสง, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ที่ได้จากงานวิจัยในปี พ.ศ. 2559 มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของชุมพล สานแดงและคณะปี พ.ศ. 2554 เพราะพารามิเตอร์ทั้ง 5 พารามิเตอร์นี้ มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคน

#### 4.2.1 ลักษณะของเปลือกไม้

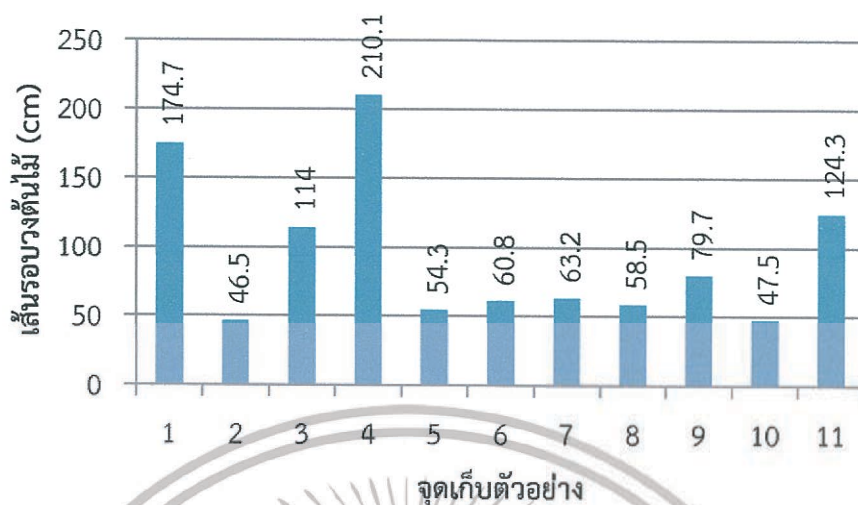
ตามที่สามารถสังเกตลักษณะของเปลือกไม้ในบริเวณพื้นที่ศึกษาและพบไลเคนเจริญเติบโต สามารถจำแนกได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ผิวเรียบ: เปลือกไม้มีลักษณะเรียบและบาง ไม่มีรอยแตกลึกของผิวเปลือกไม้ เช่น บุนนาค
2. ผิวค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ: เปลือกไม้มีลักษณะค่อนข้างเรียบและหนา มีรอยแตกของผิวเปลือกไม้อย่างสม่ำเสมอ เช่น หมากแดง
3. ผิวขรุขระ: เปลือกไม้มีลักษณะหยาบ ขรุขระและหนา มีรอยแตกของผิวเปลือกไม้ขนาดใหญ่และลึก เช่น ประดู่ ตีนเป็ด แคนแสด ชมพูพันธุ์ทิพย์ ตะแบก หางนกยูง โดยลักษณะพื้นที่ผิวของเปลือกไม้ที่มีความขรุขระหรือมีรอยแตก การสร้างโคโลนีของไลเคนจะสร้างได้ง่ายกว่าพื้นที่ผิวเรียบ (Brodon, 1973)

จะเห็นได้ว่าการศึกษาลักษณะเปลือกไม้แบบขรุขระพบไลเคนเจริญเติบโตมากกว่าแบบผิวเรียบจากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.5

#### 4.2.2 เส้นรอบวงของต้นไม้

ทำการวัดเส้นรอบวงของต้นไม้ที่พบไลเคนที่ระดับความสูง 1.50 m จากระดับเหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นความสูงเดียวกับที่ทำการแขวนกล่องเก็บตัวอย่างอากาศ จากการศึกษาพบว่า ต้นไม้ในบริเวณที่ศึกษามีขนาดของเส้นรอบวงแตกต่างกัน สรุปได้ว่า เส้นรอบวงของต้นไม้ไม่มีผลต่อชนิดและการเจริญเติบโตของไลเคนจากงานวิจัยของ (Angel Zambrano Garcia and Thomas H. Nash III and Maria Angeles Herrera-Campos 2000) ดังรูปที่ 4.4

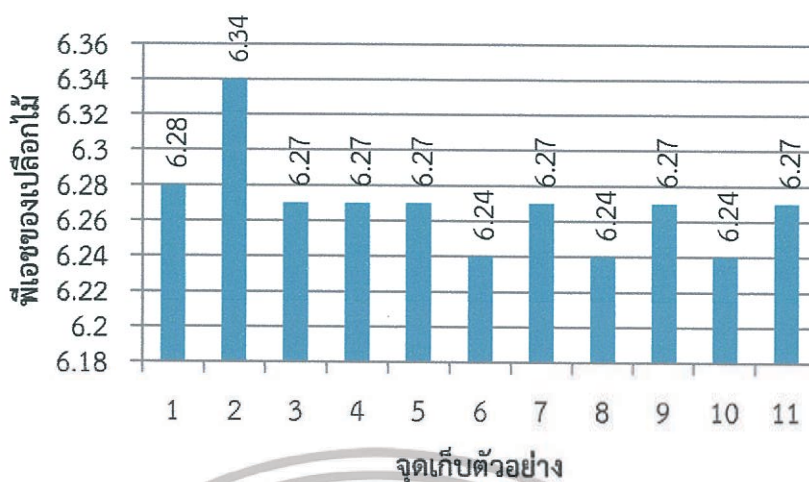


รูปที่ 4.4 เส้นรอบวงของต้นไม้ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด

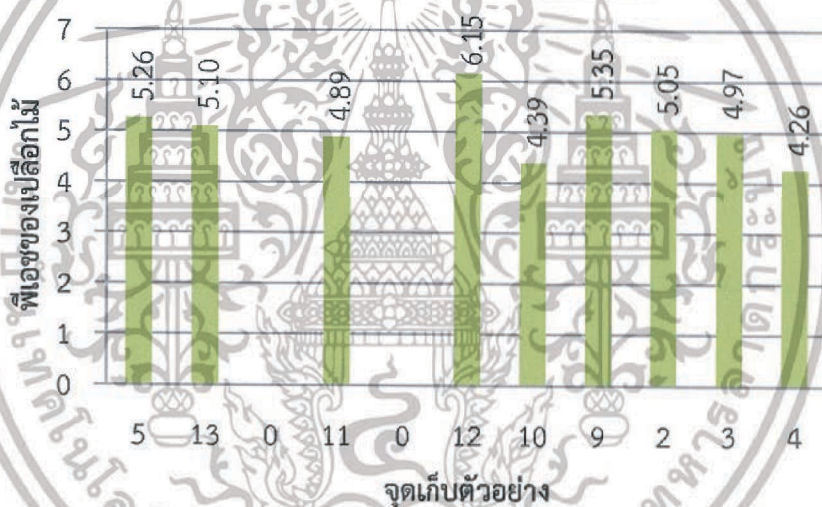
#### 4.2.3 พี่เอชของเปลือกไม้

ตามที่ได้ทำการทดสอบค่าพี่เอชของเปลือกไม้จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 11 จุด โดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่า ค่าพี่เอชอยู่ในช่วง 6.24-6.34 ค่าพี่เอชที่วัดได้จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นกรดโลเคนจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะกรดช่วง 4-6 จากงานวิจัยโลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2555) บริเวณศึกษาที่มีค่าพี่เอชเฉลี่ยของเปลือกไม้ต่ำสุดมี 3 บริเวณ คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ริมมอเตอร์เวย์ (6.24) บริเวณสนามกีฬาสถาบัน (6.24) จุดเก็บตัวอย่างที่ 8 อุทยานพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (6.24) จุดเก็บตัวอย่างที่ 10 คณะเทคโนโลยีการเกษตรบริเวณใกล้เคียงโรงอาหาร (6.24) และบริเวณที่มีค่าพี่เอชเฉลี่ยของเปลือกไม้สูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร (6.34) ดังรูปที่ 4.5

และได้ทำการเปรียบเทียบค่าพี่เอชกับงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะในรูปที่ 4.6 พบว่าค่าพี่เอชของงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 6.24-6.34 โดยค่าพี่เอชของเปลือกไม้แต่ละจุดเก็บตัวอย่างใกล้เคียงกัน ส่วนงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะมีค่าพี่เอชอยู่ในช่วง 4.26-6.15 โดยค่าพี่เอชของเปลือกไม้แต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่ใกล้เคียงกัน และทั้ง 2 งานวิจัยค่าพี่เอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของโลเคน



รูปที่ 4.5 ค่าฟืชของเปลือกไม้ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ปี พ.ศ. 2559



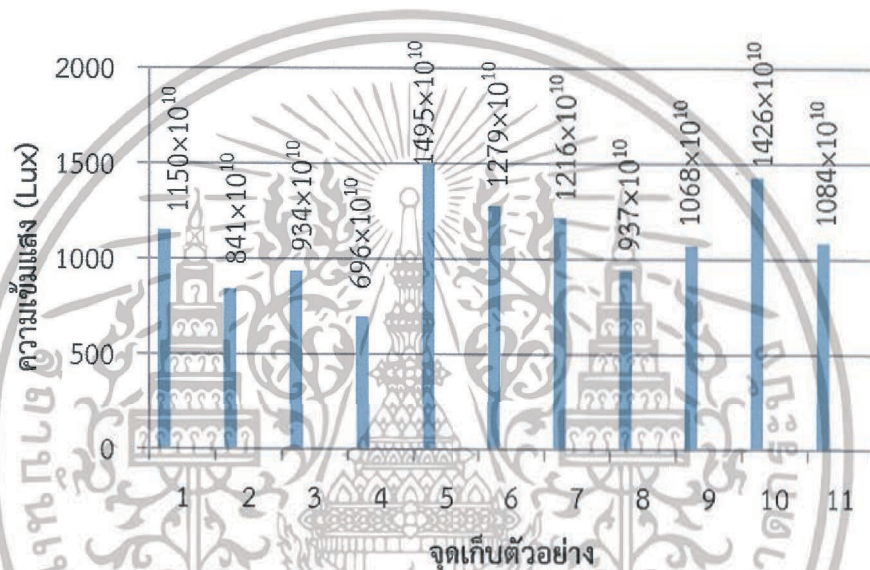
รูปที่ 4.6 ค่าฟืชของเปลือกไม้ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ปี พ.ศ. 2554  
หมายเหตุ 0 คือจุดเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการศึกษา

#### 4.2.4 ความเข้มแสง (Light intensity)

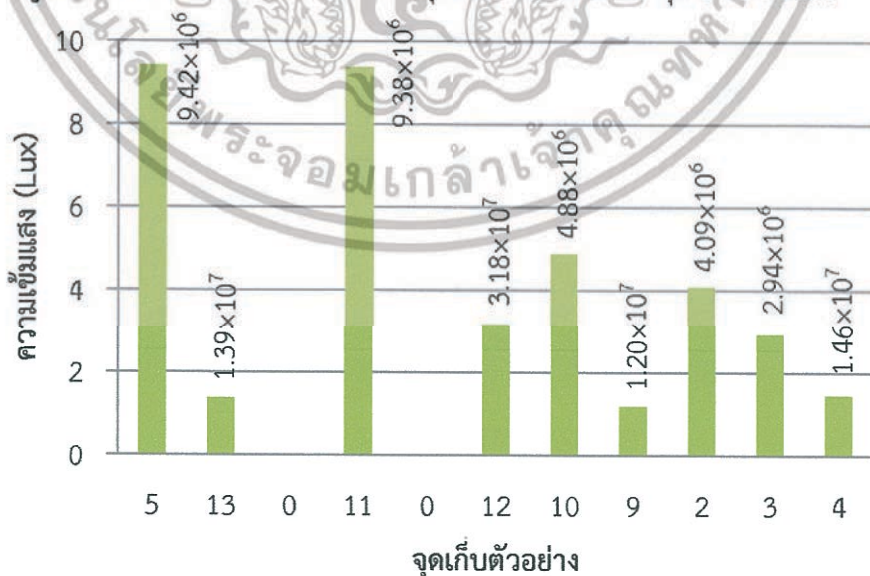
จากการศึกษาความเข้มแสงด้วยเครื่อง Lux/Fc light meter ระยะเวลาระหว่างเดือนกันยายน – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 โดยทำการวัดความเข้มแสงที่เวลาประมาณ 8 โมงเช้า, 11 โมงเช้า, และ 4 โมงเย็น ทุกวันแล้วคิดเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ความเข้มแสงอยู่ในช่วง  $1102.80 \times 10^{10}$  Lux พบว่า บริเวณที่มีค่าความเข้มแสงสูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 ลานอเนกประสงค์ ( $1495.66 \times 10^{10}$  Lux) และบริเวณที่มีค่าความเข้มแสงต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 สถานีพระจอม ( $696.41 \times 10^{10}$  Lux) ดังรูปที่ 4.7 จากหน่วยวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2559) กล่าวว่า ความเข้มแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก บริเวณที่มีไลเคนเจริญเติบโตจะสัมพันธ์กับความเข้มแสง เพราะแสงเป็นตัวสำคัญที่ไลเคนจะใช้ในการสังเคราะห์แสง เมื่อไลเคนได้รับแสงที่เหมาะสมจะทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงขึ้นได้ ถ้าความเข้มแสงต่ำจะทำให้เกิดการเอกสรนี้ เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์แสงได้น้อยหรือไม่เกิดการสังเคราะห์แสงทำให้ไลเคนมีคลอโรฟิลล์ที่น้อยลง มีสีที่ซีด และตายในที่สุดเมื่อไม่เกิดการสังเคราะห์แสง โดยความเข้มแสงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง  $5.8 \times 10^5 - 1.5 \times 10^6$  Lux ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการศึกษาพบว่าอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน

และได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงกับงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะในรูปแบบที่ 4.8 พบว่าค่าความเข้มแสงของงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1102.80 \times 10^{10}$  Lux โดยค่าความเข้มแสงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างสูงเกินช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน ส่วนงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะมีค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง  $1.73 \times 10^8 \pm 8.90 \times 10^6$  Lux โดยค่าความเข้มแสงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน



รูปที่ 4.7 ความเข้มแสงเฉลี่ยระหว่างจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ปี พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.8 ความเข้มแสงเฉลี่ยระหว่างจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ปี พ.ศ. 2554

หมายเหตุ 0 คือจุดเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

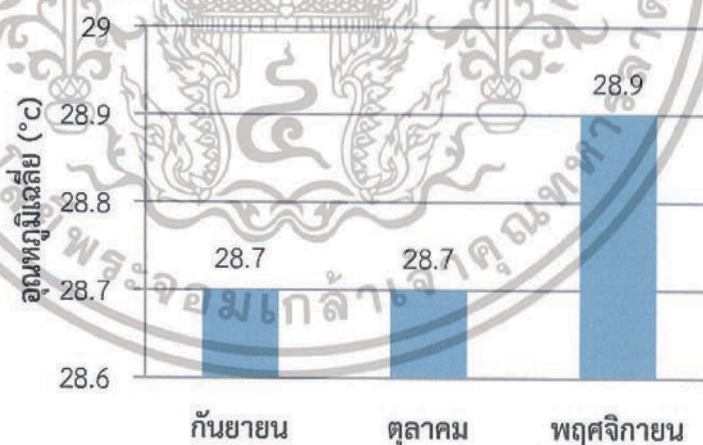
#### 4.2.5 อุณหภูมิ (Temperature)

จากข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษากันทั้ง 3 เดือน คือ กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละเดือน ดังนี้

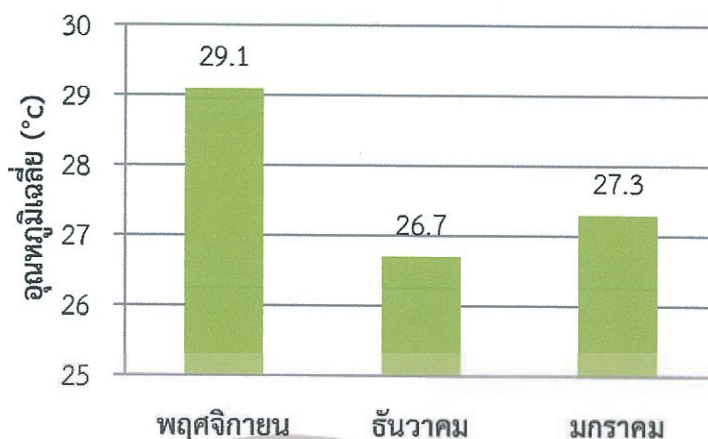
- เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 อุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 °c
- เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 อุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 °c
- เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 อุณหภูมิเฉลี่ย 28.9 °c

จากหน่วยวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2559) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต ซึ่งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 15-30 °c โดยอุณหภูมิที่สูงและต่ำกว่านี้ จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคนแต่อาจจะไม่ใช่ปัจจัยวิกฤตที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขึ้นของไลเคนโดยตรง เนื่องจากอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในช่วงที่สิ่งมีชีวิตทั่วไปสามารถเติบโตได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้จากศึกษาพบว่า อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

และได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิกับงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะในรูปที่ 4.10 พบว่าอุณหภูมิของงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยของ เดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.7, 28.7 และ 28.9 °c ตามลำดับโดยเวลาดังกล่าวเป็นช่วงปลายฤดูฝนและมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน ส่วนงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยของ เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม พ.ศ. 2554 และมกราคม พ.ศ. 2555 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.1, 26.7 และ 27.3 °c ตามลำดับโดยเวลาดังกล่าวเป็นช่วงต้นฤดูหนาวและมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคนเช่นกัน



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายนปี พ.ศ. 2559

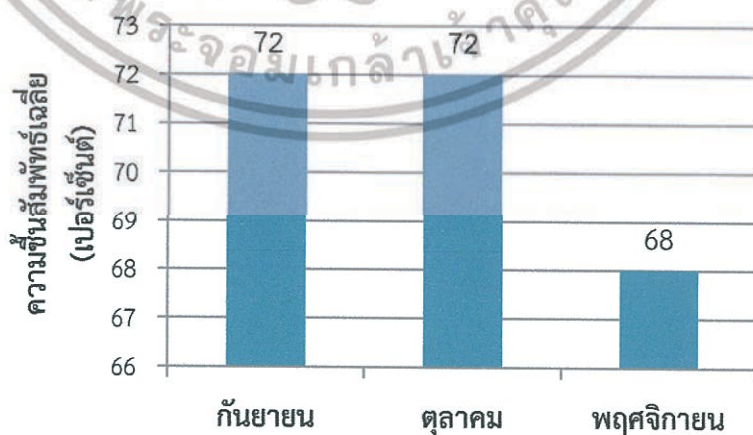


รูปที่ 4.10 อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคมปี พ.ศ. 2554

#### 4.2.6 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

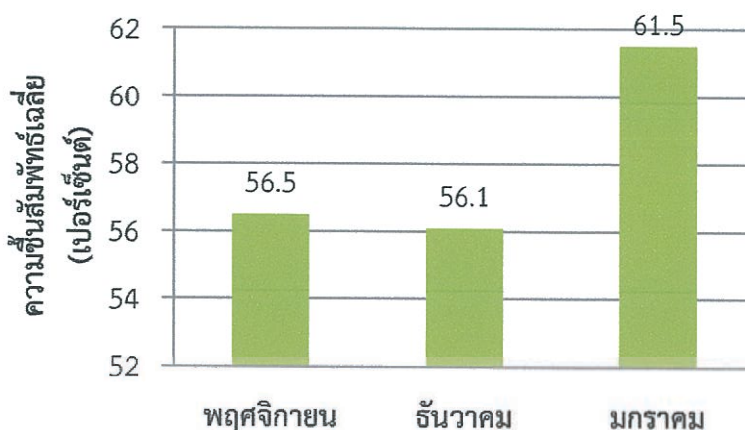
จากข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาทั้ง 3 เดือน คือ กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ดังนี้ 72%, 72% และ 68% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11

จากหน่วยงานวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2559) กล่าวว่า เนื่องจากไลเคนไม่มีชั้นคิวติเคิล ซึ่งทำหน้าที่ในการป้องกันการสูญเสียน้ำและความชื้นในทลีส จึงสมดุลกับความชื้นในบรรยากาศ ถ้าความชื้นในบรรยากาศสูงถึงจุดอิ่มตัวทำให้ทลีสของไลเคนดูดซับน้ำในบรรยากาศไว้ได้ เมื่อได้รับแสงแดดจึงเกิดกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยกระบวนการนี้สิ้นสุดลงเมื่อน้ำหมดไปจากทลีส ดังนั้นการที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ไลเคนดำรงชีวิตอยู่ได้ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 68 – 81 % ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากศึกษาพบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน



รูปที่ 4.11 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของเดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม พ.ศ. 2554

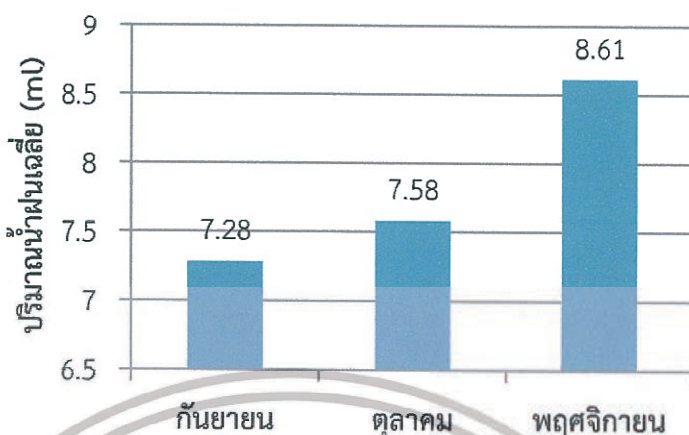
และได้ทำการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์กับงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะในรูปที่ 4.12 พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 3 เดือน คือ เดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ดังนี้ 72%, 72% และ 68% ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 3 เดือน คือ เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม พ.ศ.2554 และมกราคม พ.ศ.2555 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ดังนี้ 56.5%, 56.1% และ 61.5% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยทั้ง 3 เดือนมากกว่าเพราะเป็นปลายฤดูฝนและมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน จากหน่วยงานวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2559) ส่วนของชุมพล สานแดง และคณะ ไม่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน

#### 4.2.7 ปริมาณน้ำฝน (Rain)

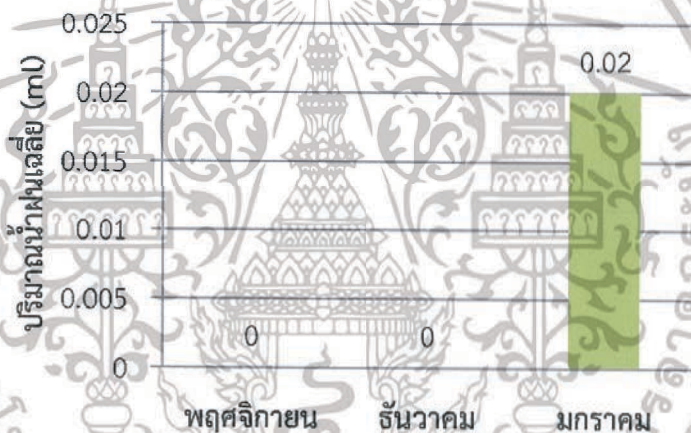
จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาทั้ง 3 เดือน คือ กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ดังนี้ 7.28 ml, 7.58 ml. และ 8.61 ml. ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.13 ปริมาณน้ำฝนเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน จากงานวิจัยของ หนูเดือน เมืองแสน และคณะ (2556)

และได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนกับงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะในรูปที่ 4.14 ปริมาณน้ำฝนทั้ง 3 เดือน คือ เดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.28 ml, 7.58 ml. และ 8.61 ml. ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ มีค่าปริมาณน้ำฝนทั้ง 3 เดือน คือ เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม พ.ศ.2554 และมกราคม พ.ศ.2555 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ดังนี้ 0 ml, 0 ml. และ 0.02 ml. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนของงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยทั้ง 3 เดือนมากกว่าเพราะเป็นปลายฤดูฝนและหน้ามรสุม จึงเป็นปัจจัยทำให้สภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคนมากกว่า ส่วนของชุมพล สานแดง และคณะ ไม่มีปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม พ.ศ.2554 และมีปริมาณน้ำฝนเล็กน้อยในเดือนมกราคม พ.ศ.2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของเดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.14 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของเดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2554

จากข้อมูลปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมรอบบริเวณที่ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างอากาศสรุปได้ว่าสภาพพื้นที่บริเวณโดยรอบซึ่งเป็นพื้นที่สถานศึกษา พื้นที่ที่มีตึกหนาแน่นและไม่มีตึกหนาแน่นไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคนในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ไลเคนสามารถเจริญเติบโตอยู่บนเปลือกของต้นไม้ที่มีลักษณะผิวเรียบ ผิวขรุขระและผิวเรียบค่อนข้างสม่ำเสมอ จากงานวิจัยของหน่วยวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2555) ค่าพีเอชที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของไลเคนอยู่ในช่วง 4 - 6 ซึ่งจากการศึกษาจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.24-6.34 พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของไลเคน

ส่วนปริมาณความเข้มแสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ มีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของไลเคน เนื่องจากไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความอ่อนไหวต่อความเข้มแสง อุณหภูมิและปริมาณความชื้นในอากาศมากเพื่อใช้ในการผลิตอาหารและการเจริญเติบโต จากงานวิจัยของหน่วยวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2555) ช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคนเป็นดังนี้ ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ในช่วง  $5.8 \times 10^5 - 1.5 \times 10^6$  Lux อุณหภูมิเฉลี่ย 15- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30 องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 68-81 % จึงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน จากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยา สนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 68-72 % ปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 7.28-8.61 mm. และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.7-28.9 องศาเซลเซียส จากการศึกษา ค่าความเข้มแสงอยู่ระหว่าง  $696 \times 10^{10}$  -  $1495 \times 10^{10}$  Lux ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าสภาวะทางสิ่งแวดล้อมบริเวณจุดเก็บตัวอย่างมีความเหมาะสมในระดับพอใช้ต่อการเจริญของไลเคน จึงทำให้พบชนิดของไลเคนที่หลากหลาย ไลเคนส่วนใหญ่ที่พบเป็นไลเคนจำพวกกลุ่มทนทานและกลุ่มทนทานสูง (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2552) ที่พบได้ทั่วไป บางครั้งสามารถพบไลเคนขึ้นใกล้กับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งมีความทนทานต่อมลพิษได้มากกว่าไลเคนชนิดอื่นๆ

#### 4.3 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสสีฟ

การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ โดยวิธีการเก็บอากาศแบบพาสสีฟจากจุดเก็บตัวอย่าง 11 จุดโดยรอบโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากหลอดเก็บตัวอย่าง 3 หลอดที่บรรจุอยู่ในกล่องบรรจุหลอดเก็บตัวอย่าง (4 หลอดเก็บตัวอย่างต่อพื้นที่เก็บหนึ่งจุด) แขนงหลอดเก็บตัวอย่างทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน นำตัวอย่างมาสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ที่ศึกษาในแต่ละเดือนเป็นเวลา 3 เดือน คือ กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วงของการวัด (ดังภาคผนวก ค) คือ

เดือนกันยายน มีค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.42 – 1.79 ppbv, หรืออยู่ในช่วง 0.22 - 0.95 mg/m<sup>3</sup> จุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร และจุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง 6 ริมมอเตอร์เวย์ บริเวณ สนามกีฬาสถาบัน

เดือนตุลาคม มีค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.48 - 1.61 ppbv, หรืออยู่ในช่วง 0.25 - 0.85 mg/m<sup>3</sup> จุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่าง 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร และจุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง 5 ลานเอนกประสงค์ บริเวณ สนามกีฬาสถาบัน

เดือนพฤศจิกายน มีค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.31 - 1.83 ppbv, หรืออยู่ในช่วง 0.16 - 0.96 mg/m<sup>3</sup> จุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร และจุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง จุด 6 ริมมอเตอร์เวย์ บริเวณ สนามกีฬาสถาบันรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16

เปรียบเทียบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในงานวิจัยนี้กับชุมพล สานแดง และคณะ ในหน่วย ppb<sub>v</sub> เพียงอย่างเดียว เนื่องจากงานวิจัยของชุมพล สานแดง และคณะ ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในหน่วย ppb<sub>v</sub> เท่านั้น โดยระยะเวลาทำการทดลองคนละฤดูกาล ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง จำนวนครั้งในการเก็บตัวอย่าง และบางสถานที่ต่างกัน จึงเพียงแสดงให้เห็นค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงไปในปี พ.ศ. 2554 กับ พ.ศ. 2559 จึงไม่สามารถเทียบได้โดยตรง ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในงานวิจัยนี้ปี พ.ศ. 2559

เดือน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด (ppb <sub>v</sub> )	สถานที่จุดเก็บตัวอย่าง	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด (ppb <sub>v</sub> )	สถานที่จุดเก็บตัวอย่าง
กันยายน	0.42	อาคารเจ้าคุณทหาร คณะ เทคโนโลยีการเกษตร	1.79	ริมถนนมอเตอร์เวย์
ตุลาคม	0.48	อาคารเจ้าคุณทหาร คณะ เทคโนโลยีการเกษตร	1.61	ลาน เอนกประสงค์ สนามกีฬา สถาบันฯ
พฤศจิกายน	0.31	อาคารเจ้าคุณทหาร คณะ เทคโนโลยีการเกษตร	1.83	ริมถนนมอเตอร์เวย์

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปี พ.ศ. 2554

เดือน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด (ppb <sub>v</sub> )	สถานที่จุดเก็บตัวอย่าง	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด (ppb <sub>v</sub> )	สถานที่จุดเก็บตัวอย่าง
พฤศจิกายน	2.21	คณะ สถาปัตยกรรม ศาสตร์	7.97	คณะเทคโนโลยี สารสนเทศ
ธันวาคม	4.17	บ้านพักอาจารย์	12.65	ริมถนนมอเตอร์เวย์
มกราคม	2.93	บ้านพักอาจารย์	12.35	ริมถนนมอเตอร์เวย์

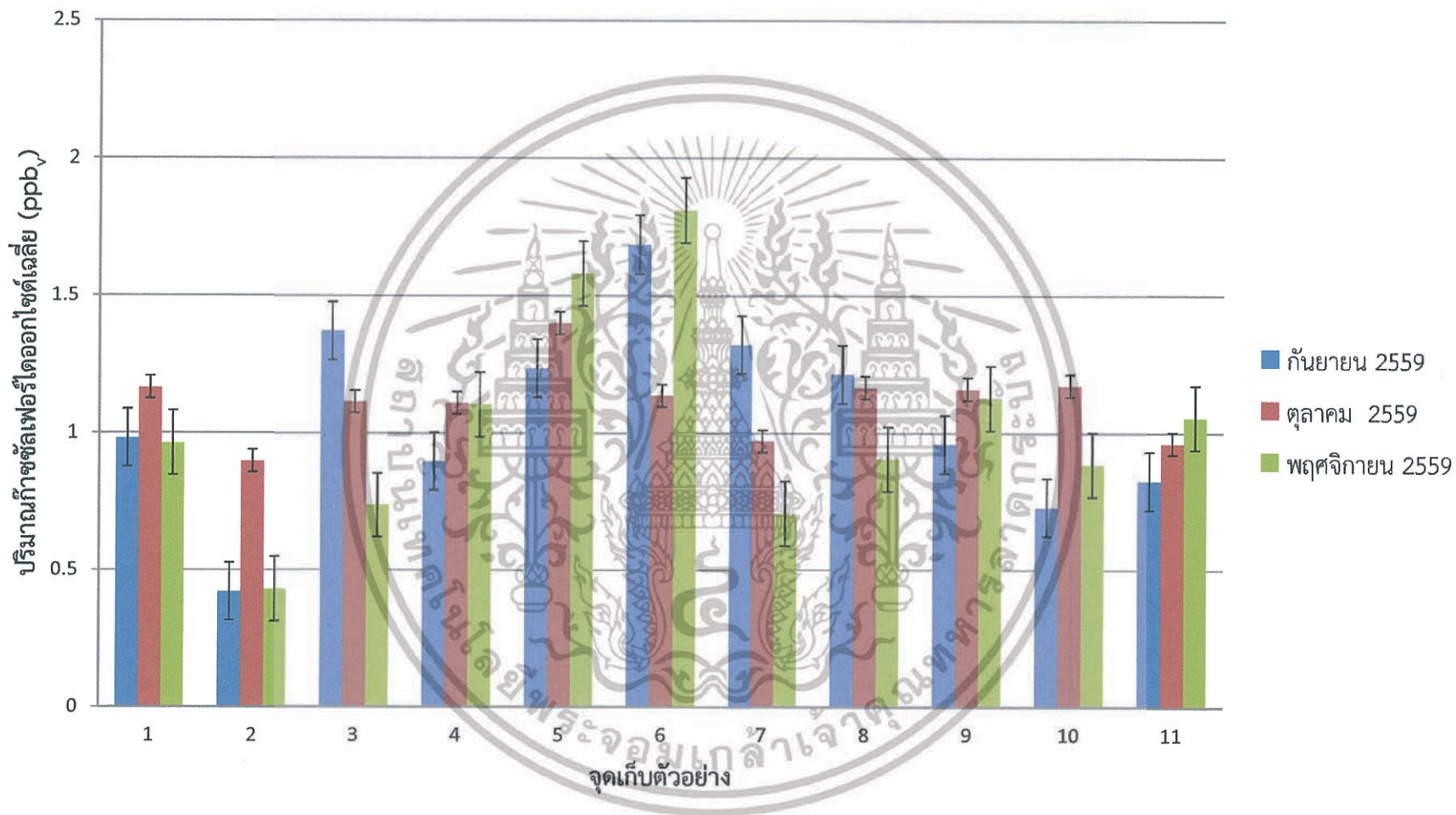
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุดและสูงสุดในงานวิจัยของ ชุมพล สานแดง และคณะ มีปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ เนื่องจากระยะเวลาทำการทดลองคนละฤดูกาล ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง จำนวนครั้งในการเก็บตัวอย่าง และบางสถานที่ต่างกัน จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอดีตกับปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แต่จากตารางสามารถยืนยันได้ว่าบริเวณ ริมถนนมอเตอร์เวย์ ตรงทางเข้าสถาบันฯ มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆในสถาบันฯ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จึงควรเฝ้าระวังและมีมาตรการควบคุมต่อไป

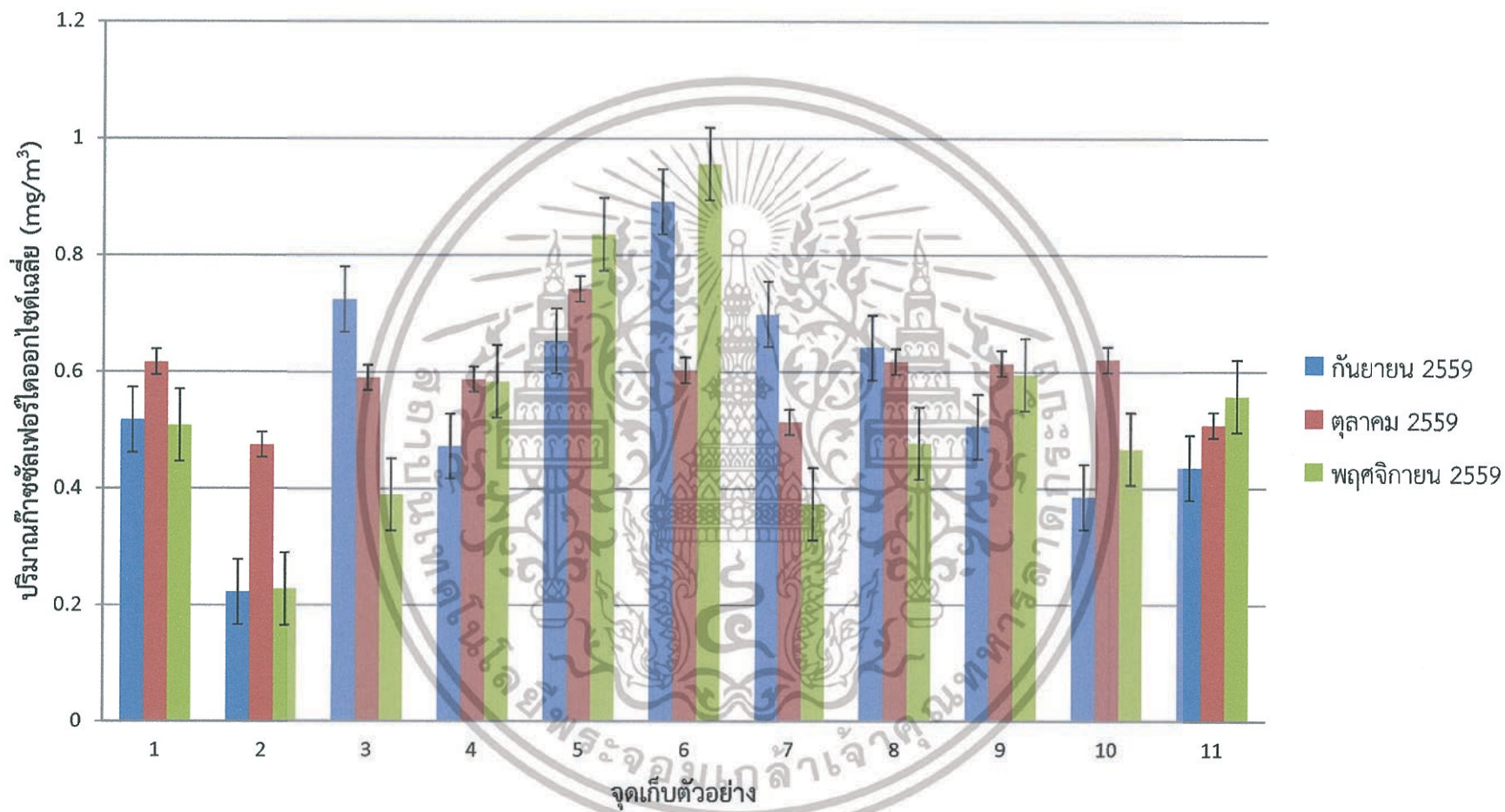
สำหรับชนิดโอโซนที่สำรวจพบในงานวิจัยนี้มีกลุ่มทันทานเจริญเติบโตได้ดีในหลายๆสถานที่ ในขณะที่โอโซนกลุ่มอากาศตีพบได้น้อยมากหรือตายลง เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ ชุมพล สานแดง และคณะ เป็นสัญญาณว่าสภาพแวดล้อมโดยรอบสถาบันฯ เปลี่ยนแปลงไปจากเมื่อก่อนอย่างเห็นได้ชัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppbv) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ใน เดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.16 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ใน เดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559

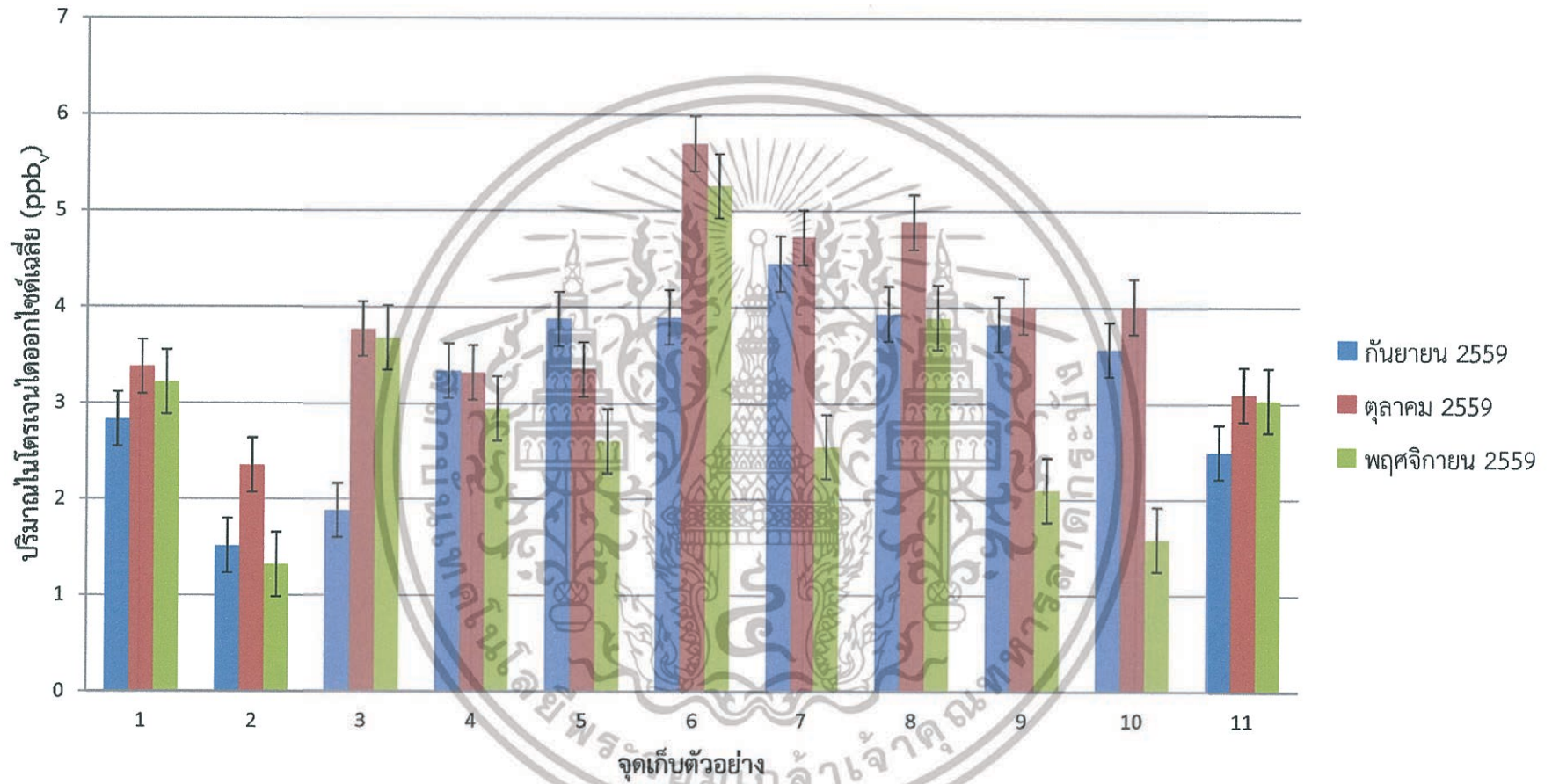
#### 4.4 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ

การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ โดยวิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟจากจุดเก็บตัวอย่าง 11 จุดโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากหลอดเก็บตัวอย่าง 3 หลอดที่บรรจุอยู่ในกล่องบรรจุหลอดเก็บตัวอย่าง (4 หลอดเก็บตัวอย่างต่อพื้นที่เก็บหนึ่งจุด) แขนงหลอดเก็บตัวอย่างทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน นำตัวอย่างมาสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ที่ศึกษาในแต่ละเดือนเป็นเวลา 3 เดือน คือ กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงของการวัด (ตั้งภาคผนวก ง) คือ

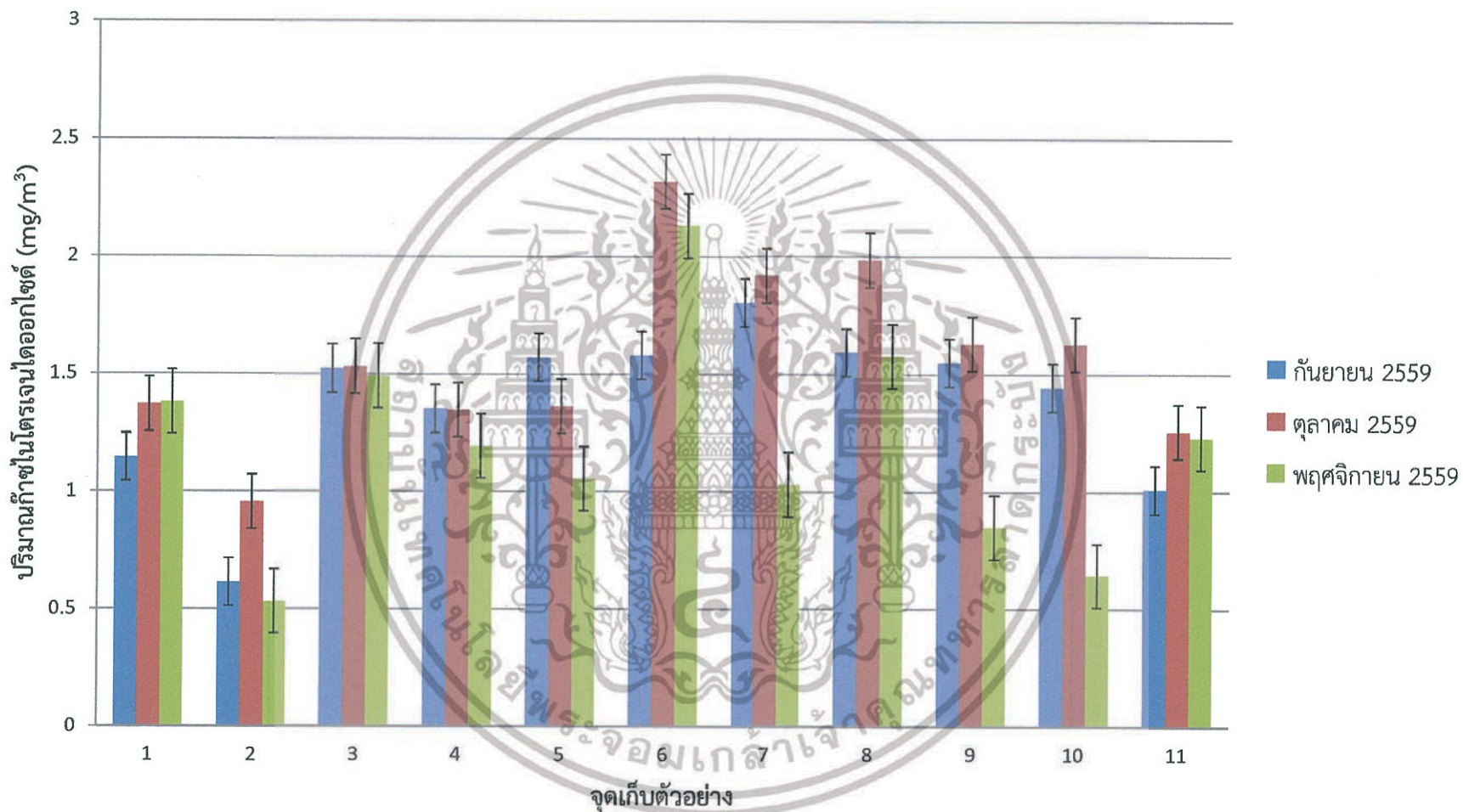
เดือนกันยายน มีค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 1.39 - 4.76 ppb<sub>v</sub> หรืออยู่ในช่วง 0.56 - 1.92 mg/m<sup>3</sup> จุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร และจุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง 6 ริมมอเตอร์เวย์ บริเวณ สนามกีฬาสถาบัน

เดือนตุลาคม มีค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 1.86 - 6.66 ppb<sub>v</sub> หรืออยู่ในช่วง 0.75 - 2.71 mg/m<sup>3</sup> จุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง 6 ริมมอเตอร์เวย์ บริเวณสนามกีฬาสถาบัน และจุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง 5 ลานเอนกประสงค์บริเวณ สนามกีฬาสถาบัน

เดือนพฤศจิกายน มีค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 1.21 - 5.60 ppb<sub>v</sub> หรืออยู่ในช่วง 0.49 - 2.27 mg/m<sup>3</sup> จุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร และจุดเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง จุด 6 ริมมอเตอร์เวย์ บริเวณ สนามกีฬาสถาบัน ดังรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb<sub>v</sub>) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ใน เดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.18 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{mg/m}^3$ ) เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ใน เดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2559

#### 4.5 การเปรียบเทียบไลเคนที่พบกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

เมื่อทำการนำชนิดและจำนวนไลเคนมาเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เพื่อประเมินคุณภาพอากาศโดยรอบของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังตารางที่ 4.2 สามารถบอกได้ว่า จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ริมมอเตอร์เวย์บริเวณสนามกีฬาสถาบัน ในเชิงปริมาณ พบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มากที่สุด เนื่องจากเป็นบริเวณริมถนนของเส้นคมนาคมสายหลักจึงมีรถยนต์สัญจรไปมาตลอดทั้งกลางวันและกลางคืนอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังไม่พบไลเคน ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบการเจริญเติบโต คือ พีเอช และความเข้มข้นสูงกว่าช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน จึงพิจารณาจากค่าที่วัดได้ สามารถสรุปได้ว่าสภาพอากาศพอใช้ ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร พบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์น้อยสุด เนื่องจากอยู่บริเวณที่มีต้นไม้อยู่มาก ไม่ติดเส้นทางการจราจร พบไลเคนในกลุ่มทนทานสูง ได้แก่ ใฝ่พระอินทร์ ชนิด *Amandinea extunata* วงศ์ Physciaceae และพบไลเคนกลุ่มทนทาน ได้แก่ ลายเส้น ชนิด *Graphid* วงศ์ Graphidaceae และสาวน้อยกระโปรงบานบางกอก ชนิด *Physcia dimidiata* วงศ์ Physciaceae ซึ่งการสำรวจพบไลเคนโดยพบกลุ่มทนทาน มากที่สุด แสดงให้เห็นว่ามีสภาพอากาศที่พอใช้

#### 4.6 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ด้วยวิธี Turkey-Kramer ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงค่าดังตารางที่ 4.6-4.7

ตารางที่ 4.8 ความแตกต่างของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่างที่	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2	6	.5822		
3	6	.8455	.8455	
10	6	.9289	.9289	
11	6	.9468	.9468	.9468
7	6	.9993	.9993	.9993
1	6	1.0358	1.0358	1.0358
4	6	1.0361	1.0361	1.0361
9	6	1.0816	1.0816	1.0816
8	6	1.0945	1.0945	1.0945
5	6		1.4059	1.4059
6	6			1.5438
Sig.		.178	.099	.060

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ทั้ง 11 จุด

จุดเก็บตัวอย่าง	SO <sub>2</sub> (ppbv)
2	0.5822 <sup>a</sup>
3	0.8455 <sup>ab</sup>
10	0.9289 <sup>ab</sup>
11	0.9468 <sup>abc</sup>
7	0.9993 <sup>abc</sup>
1	1.0358 <sup>abc</sup>
4	1.0361 <sup>abc</sup>
9	1.0816 <sup>abc</sup>
8	1.0945 <sup>abc</sup>
5	1.4059 <sup>bc</sup>
6	1.5438 <sup>c</sup>

หมายเหตุ a b และ c แสดงกลุ่มของจุดเก็บตัวอย่างที่มีนัยสำคัญกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ชุดของข้อมูลที่มีตัวอักษรเดียวกันไม่ได้แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติ (one - way ANOVA,  $p < 0.05$ )

จากตารางการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่าง ทั้ง 11 จุด ด้วยวิธี Turkey-Kramer ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถจัดกลุ่มของจุดเก็บตัวอย่างที่มีนัยสำคัญกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีค่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่แตกต่างกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 3, 10, 11, 7, 1, 4, 9 และ 8 ( $p > 0.05$ )

กลุ่มที่ 2 พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีค่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่แตกต่างกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 3, 10, 11, 7, 1, 4, 9, 8 และ 5 ( $p > 0.05$ )

กลุ่มที่ 3 พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 11 มีค่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่แตกต่างกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 7, 1, 4, 9, 8, 5 และ 6 ( $p > 0.05$ )

#### 4.7 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ด้วยวิธี Turkey-Kramer ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงค่าดังตารางที่ 4.8 - 4.9

ตารางที่ 4.10 ความแตกต่างของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่างที่	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2	6	1.7281		
11	6	2.8741	2.8741	
10	6	3.0544	3.0544	
3	6	3.1132	3.1132	
1	6	3.1410	3.1410	3.1410
4	6	3.2043	3.2043	3.2043
5	6	3.2809	3.2809	3.2809
9	6	3.3130	3.3130	3.3130
7	6		3.9077	3.9077
8	6		4.2368	4.2368
6	6			4.9515
Sig.		.139	.315	.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด

จุดเก็บตัวอย่าง	NO <sub>2</sub> (ppb <sub>v</sub> )
2	1.7281 <sup>a</sup>
11	2.8741 <sup>ab</sup>
10	3.0544 <sup>ab</sup>
3	3.1132 <sup>ab</sup>
1	3.1410 <sup>abc</sup>
4	3.2043 <sup>abc</sup>
5	3.2809 <sup>abc</sup>
9	3.3130 <sup>abc</sup>
7	3.9077 <sup>bc</sup>
8	4.2368 <sup>bc</sup>
6	4.9515 <sup>c</sup>

หมายเหตุ a, b และ c แสดงกลุ่มของจุดเก็บตัวอย่างที่มีนัยสำคัญกับปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ชุดของข้อมูลที่มีตัวอักษรเดียวกันไม่ได้แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติ (one - way ANOVA,  $p < 0.05$ )

จากตารางการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ด้วยวิธี Turkey-Kramer ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถจัดกลุ่มของจุดเก็บตัวอย่างที่มีนัยสำคัญกับปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีค่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 11, 10, 3, 1, 4, 5 และ 9 ( $p > 0.05$ )

กลุ่มที่ 2 พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 11 มีค่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 10, 3, 1, 4, 5, 9, 7, และ 8 ( $p > 0.05$ )

กลุ่มที่ 3 พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 มีค่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 4, 5, 9, 7, 8 และ 6 ( $p > 0.05$ )

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

**5.1.1 การศึกษาชนิด ปริมาณของไลเคน และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

พบชนิดของไลเคนบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทั้งหมด 4 วงศ์ (Family) 8 สกุล (Genus) 8 ชนิด (Species) คือ *Amandinee extunata*, *Trypethlium eluteriae*, *Graphid* sp., *Glyphis* & *Sacograppha*, *Pyxine cocoes*, *Dirinaria* sp., *Physcia dimidiata* และ *Rinodina* sp. ไลเคนที่พบมากที่สุด คือ *Graphid* sp. มีปริมาณทั้งหมด 333 Thallus ชนิดของไลเคนที่พบทั้งหมดจัดอยู่ในกลุ่ม Foliose และ Crustose ซึ่งเป็นไลเคนชนิดที่มีความทนทาน

จากการศึกษาค่าพีเอชของเปลือกไม้อยู่ในช่วง 6.24 - 6.34 ส่วนปริมาณความเข้มแสงอยู่ในช่วง  $696 \times 10^{10}$  -  $1495 \times 10^{10}$  Lux อุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.7 - 28.9 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 68-72 % และปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 7.28 - 8.61 ml. ของช่วงการเก็บตัวอย่าง เดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 พบว่าเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อชนิด ปริมาณ และการเจริญเติบโตของไลเคนที่พบในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด

**5.1.2 การหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ**

ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้วิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากจุดเก็บตัวอย่าง 11 จุด เป็นระยะเวลา 3 เดือน คือ กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 สามารถสรุปได้ว่า

จากค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ของกรมควบคุมมลพิษ (2559) กำหนดไว้ เมื่อนำค่าปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้ง 3 เดือนที่ตรวจวัดมาเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ของค่ามาตรฐานตามที่กำหนดไว้

**5.1.3 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด**

จากการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ริมมอเตอร์เวย์บริเวณสนามกีฬาสถาบัน มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด เนื่องจากเป็นบริเวณริมถนนของเส้นคมนาคมสายหลักจึงมีรถยนต์สัญจรไปมาตลอดทั้งกลางวันและกลางคืนอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังไม่พบไลเคน ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบการเจริญเติบโต คือ พีเอช และความเข้มแสง สูงกว่าช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไลเคน ถ้าพิจารณาจากชนิดไล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคนที่พบทั้ง 11 จุด จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพอากาศโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีคุณภาพอากาศอยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากมีไอคอนกลุ่มหนานมากกว่ากลุ่มหนานสูง

การใช้ไอคอนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการติดต่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดปริมาณมลพิษของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถบ่งชี้บริเวณที่ได้รับผลกระทบมลพิษทางอากาศได้ สำหรับการศึกษานำข้อมูลใช้เป็นพื้นฐานข้อมูลในการศึกษาไอคอนในบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### 5.1.4 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด

จากการศึกษาการใช้ไอคอนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ริมมอเตอร์เวย์บริเวณสนามกีฬาสถาบันมีปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์สูงสุด เนื่องจากเป็นบริเวณริมถนนของเส้นคมนาคมสายหลักจึงมีรถยนต์สัญจรไปมาตลอดทั้งกลางวันและกลางคืนอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังไม่พบไอคอน ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบทางเคมีของไอคอน คือ พีเอช และความเข้มข้นสูงกว่าช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไอคอน ถ้าพิจารณาจากชนิดไอคอนที่พบทั้ง 11 จุด จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพอากาศโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีคุณภาพอากาศอยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากมีไอคอนกลุ่มหนานมากกว่ากลุ่มหนานสูง

การใช้ไอคอนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการติดต่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดปริมาณมลพิษของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถบ่งชี้บริเวณที่ได้รับผลกระทบมลพิษทางอากาศได้ จากการตรวจวัดพบว่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความเข้มข้นมากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของไอคอนมากกว่า

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ควรทำการวัดเองด้วยเครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยา ณ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างเพื่อให้เป็นค่าที่แท้จริงของจุดที่ทำการศึกษ
2. การเก็บตัวอย่างอากาศและไอคอนควรทำการศึกษาในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลของคุณภาพอากาศที่ชัดเจนมากขึ้นว่าคุณภาพอากาศอยู่ในระดับใด
3. ควรทำการศึกษาผลพิษตัวอื่นที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดของไอคอน เช่น โอโซน ( $O_3$ )
4. เพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือโดยอ้างอิงกับอุปกรณ์มาตรฐาน และเพื่อหาค่ามาตรฐานของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแอกทิฟเพิ่มเติม โดยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างวิธีพาสซีฟในงานวิจัยนี้ควรทำการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างในจุดเดียวกันกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษอย่างน้อย 1 จุด เนื่องจากความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้ด้วยวิธีพาสซีฟกับแอกทิฟเป็นแบบเส้นตรงดังสมการ  $y = mx + c$  เมื่อทราบค่าที่เทียบกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษของวิธีพาสซีฟจึงสามารถหาค่ามาตรฐานของวิธีแอกทิฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กัณฑ์รีย์ บุญประกอบ. 2544, “งานวิจัยด้านความหลากหลายทางชีวภาพในประเทศไทย”  
ชีวปริทรรศน์. 3(3) : 66-67.
- กัณฑ์รีย์ บุญประกอบ. 2550, ไลเคนแห่งเกาะแสมสารจากยอดเขาถึงชายทะเล. กรุงเทพฯ:  
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- กานต์สินี วงษ์วิวัฒน์, จุฑามาส หอมเชื่อม, บงกช ทรัพย์เมฆ และประถมาภรณ์ หอมยก. 2558.  
“การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ” ปรินญาณิพนธ์  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. **มาตรฐานคุณภาพอากาศ  
ในบรรยากาศโดยทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์**. [Online]. Available :  
[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_airsnd01.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2559. ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกรุงเทพมหานคร ปี 2558. [Online].  
Available : <http://aqnis.pcd.go.th/data/57>.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2555. **มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>)**.  
[Online]. Available : [http://aqmthai.com/aqi\\_info.php](http://aqmthai.com/aqi_info.php).
- กรมป่าไม้, สำนักงานความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้. ไลเคน. [Online]. Available :  
[http://biodiversity.forest.go.th/index.php?option=com\\_doflichen&id=52&view=showone&Itemid=53](http://biodiversity.forest.go.th/index.php?option=com_doflichen&id=52&view=showone&Itemid=53).
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. ฝนกรด. [Online]. Available :  
[http://local.environnet.in.th/formal\\_data2.php?id=616](http://local.environnet.in.th/formal_data2.php?id=616).
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2559. **สรุปลักษณะอากาศรายวัน**. [Online]. Available :  
<http://www.tmd.go.th/climate/climate.php>.
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์, กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และสุวรรณี จรรย์ยาพูน. 2558. **ปฏิบัติการเคมี  
สิ่งแวดล้อมสำหรับดินและอากาศ**. กรุงเทพฯ : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กลุ่มงานความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้. 2557. **สิ่งมีชีวิตที่เรียกว่าไลเคน**. [Online].  
Available : <http://chm.forest.go.th/th/?p=2627>.
- ชุมพล สานแดง, โชติกา ลอยทวินนท์ และปริญญา ตาอินทร์. 2554. “การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัด  
อากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง” ปรินญาณิพนธ์  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง
- พล งามสวัสดิ์วงศ์, เมธาวดี เข้มทอง และหทัยรัตน์ ชนะขำ. 2558. “การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัด  
คุณภาพอากาศบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ” ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มูลนิธิโลกสีเขียว. คู่มือฉบับทดสอบนักสืบสายลม สำรวจโลเคนกรุงเทพ. [Online]. Available : <http://www.greenworld.or.th/sites/default/files/airdetectedraft.pdf>.
- เวชศาสตร์ พลเยี่ยม, รุ่งอรุณ ถนอมจิตร และคณะ. 2552, “โลเคนในสวนสาธารณะ กรุงเทพมหานคร และการชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม Lichens in the Public Parks in Bangkok and Their Indication of Environmental Quality” เอกสารการประชุมวิชาการและวิจัยประจำปี 2552 (RURC 2009).
- สมพร จันทระ. 2548, “การหาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้ การเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ” รายงานฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เสถียร ดามาพงษ์. 2553. โลเคนดัชนีคุณภาพอากาศ. [Online]. Available : <http://www.sahavicha.com/?name=knowledge&file=readknowledge&id=2281>
- หน่วยวิจัยโลเคน ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. โลเคน. [Online]. Available : <http://joomlas.ru.ac.th/lichen/index.php/lichen/identify>.
- หนูเดือน เมืองแสนและคณะ. ความหลากหลายชนิดของโลเคนในป่าชุมชนและโบราณสถานแห่ง นคร ชัยบุรีรินทร์ [Online]. Available : <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/4672/2/Fulltext.pdf>
- อมรรัตน์ พิทักษ์พงษ์. 2552. “การใช้โลเคนเพื่อเป็นดัชนีในการเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขต เทศบาลนครราชสีมาและสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาชีววิทยาสงแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Alan Wellbern 1994. *Air Pollution and Climate Change*. Sulfurdioxide. New York. British Lichens. Lichen structures. [Online]. Available : <http://www.britishlichens.co.uk/whatarelichens.html>
- B.W. FERRY. Lichen Transplant Experiments and Air Pollution Studies. [Online]. Available : <https://www.cambridge.org/core/journals/lichenologist/article/Lichen-transplant-experiments-and-air-pollution-studies>.
- Daniel Vallero. 2008. *Sources of Air Pollution* . Fundamentals of Air Pollution. California. Academic Press.
- Dariusz Krochmal. A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide determination in ambient air by use of passive samplers and ion chromatography. [Online]. Available : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231097001544>.
- Encyclopædia Britannica. *Sulfer Cycle*. [Online]. Available : <https://global.britannica.com/science/sulfur-cycle>.
- Jeremy Colls. 1997. *Nitrogen oxide production*. Air Pollution. London. TJ international Ltd.
- Ian L. Pepper. 1997. *Atmospheric Pollution*. Environmental and Pollution Science. Canada. Academic Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Marquita K. Hill. 1996. **Pollution**. Understanding Environmental Pollution. New York. Cambridge University.
- Robert Jenning Heinsohn. 1999. **Climate**. Source and Control of Air Pollution. London. A Viacom Company.
- Roy M. Harrison. 1996. **Greenhouse Gases and Global Climate**. An Introduction to Pollution Science. Birmingham. RCSPublishing
- THOMAS H. 1996. **Thallus morphology and anatomy**. Lichen Biology. Cambridge. Cambridge University.
- William A. 1995. **Nitrogenoxide**. Environmental Pollution, USA. Prentice-Hall,inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph)

#### หลักการของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

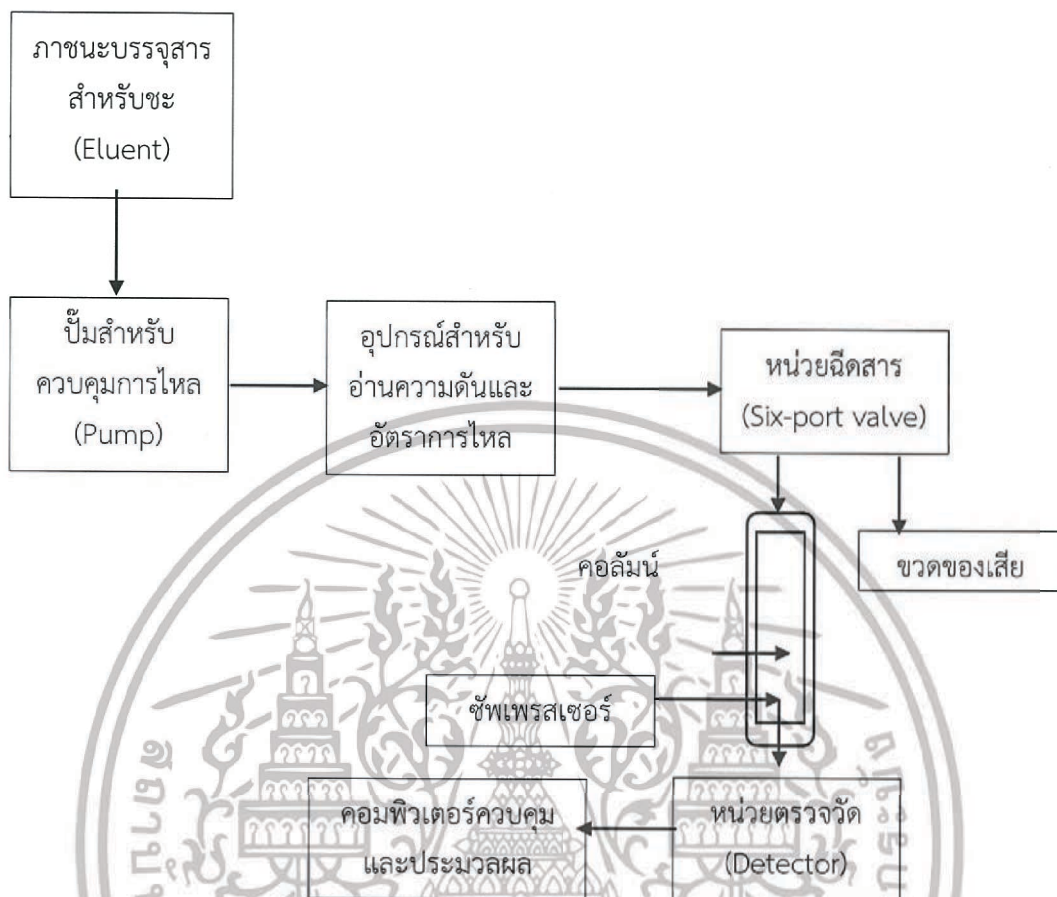
ไอออนโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคการแยกไอออนด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) โดยไอออนที่อยู่ในสารตัวอย่างซึ่งไหลไปพร้อมกับสารละลายสำหรับชะ หรือเรียกว่าอยู่ในวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile Phase) กับวัฏภาคที่อยู่กับที่ (Stationary Phase) ในที่นี้คือเรซินที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้และบรรจุไว้ในคอลัมน์ ไอออนที่แลกเปลี่ยนกับประจุเรซิน และยึดติดกับเรซินได้ดี จะถูกชะออกมาถึงเครื่องตรวจวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity Detector) ได้ช้า เมื่อเทียบกับไอออนที่แลกเปลี่ยนกับประจุบนเรซิน และยึดติดกับเรซินได้ไม่ดี ถูกชะออกมาถึงเครื่องตรวจวัดก่อน แสดงผลสัญญาณเป็นพีค (Peak) แต่ละพีคเรียงลำดับตามความสามารถในการแลกเปลี่ยนและยึดกับเรซิน เวลาที่นับตั้งแต่ฉีดสารเข้าคอลัมน์จนตรวจวัดจนเกิดพีคได้ เรียกว่า Retention time,  $R_f$  เป็นเวลาที่จำเพาะสำหรับแต่ละคอลัมน์ ชนิดของไอออน และเกิดขึ้นกับสารชะที่นำมาใช้

#### ส่วนประกอบของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

1. ชุดพร้อมสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับแคทไอออน (Eluent or Mobile phase for Cation)
2. ชุดพร้อมสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับแอนไอออน (Eluent or Mobile phase for Anion)
3. ปั๊มสำหรับสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่ (709 IC pump) สำหรับแยกแคทไอออน ให้ใช้อัตราไหล 1.00 มล.ต่อนาที และสำหรับแยกแอนไอออนให้อัตราไหล 0.70 มล.ต่อนาที
4. หน่วยติดต่อประมวลผลทุกหน่วยย่อย (762 IC Interface)
5. ตู้ภายในบรรจุคอลัมน์สำหรับแยกแคทไอออน (METROSEP 2\_105 ขนาด 4.0x250 มม.)
6. เครื่องตรวจวัดสัญญาณการนำไฟฟ้า สำหรับแยกแคทไอออนและแอนไอออน (Conductivity detector, 732 IC-Detector)
7. หน่วยซัพเพรสเซอร์ (753 IC Suppressor)
8. เครื่องตรวจวัดสัญญาณ (791 VA Detector)
9. หน่วยสำหรับกรววิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคไดอะไลซิส (812 Valve unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แผนภาพหน่วยประกอบการทำงานของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ



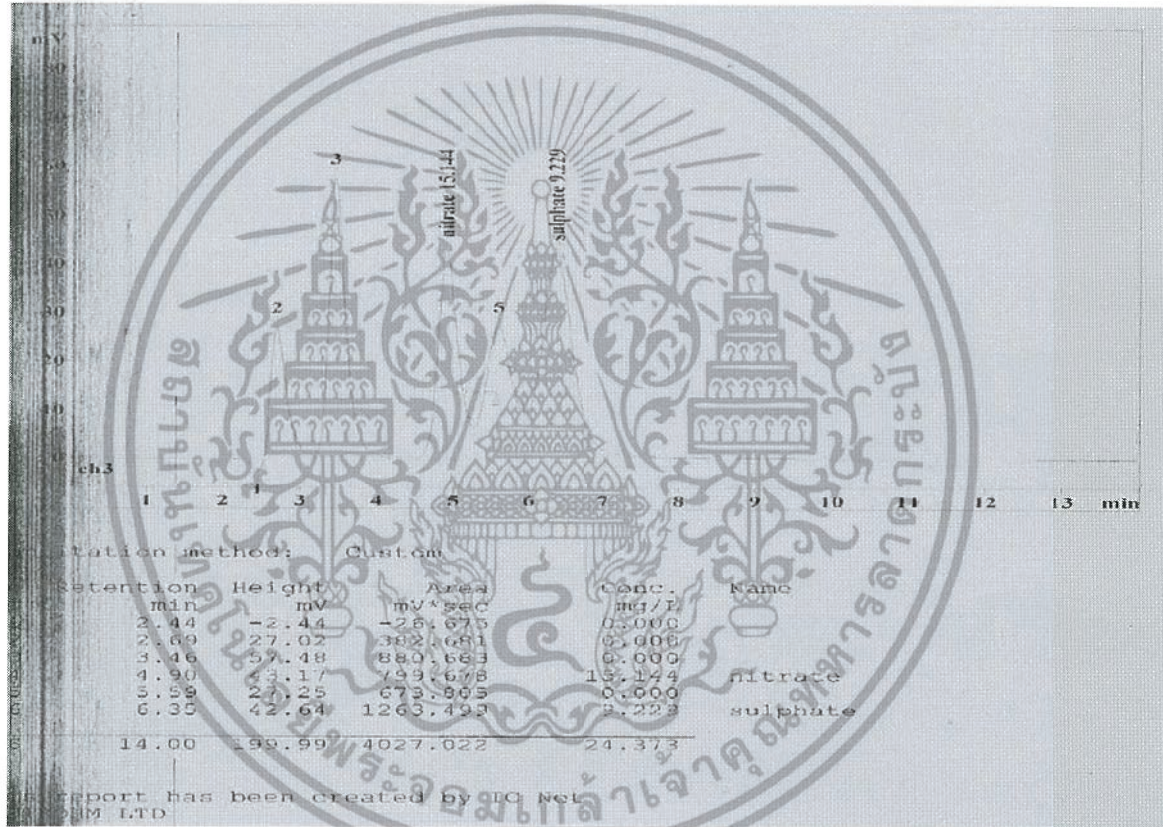
การแยกไอออนในสารละลายตัวอย่าง คอลัมน์และสภาวะที่ใช้เหมาะสมจะได้โครมาโทแกรมของสารแต่ละพีคมีลักษณะแยกกันแต่ละสารชัดเจนและเป็นพีคที่สมมาตร (Symmetre peak) การเลือกใช้คอลัมน์ที่บรรจุเรซินใดพิจารณาเลือกจากข้อกำหนดคุณลักษณะของคอลัมน์ (Column specification) เช่น

- ชนิดและขนาดของเรซินที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ เรซินที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ถ้าเป็นเรซินชนิดเดียวกันจะแยกได้ดีกว่า แต่ทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายหรือทำให้ความดันคอลัมน์สูงเพิ่มขึ้น
- ความยาวของคอลัมน์ คอลัมน์ที่มีความยาวเรซินความจุมากกว่า ความสามารถในการแยกประจุจะดีกว่าคอลัมน์สั้น แต่จะทำให้ใช้เวลาวิเคราะห์นานขึ้น
- สารละลายวฏภาคเคลื่อนที่ทำการชะเรซิน ต้องเตรียมตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดคุณลักษณะของคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

## โครมาโทแกรม (Chromatogram)



รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐาน

CALIBRATION OF COMPONENT sulphate

Method: std Anion NO3 SO4 Pranee Use 9-9-59.mtw  
 Equation:  $Q = 0.146079 \cdot A$   
 RSD: 4.481 %  
 Correlation coefficient: 0.999176



K3 = 0    K2 = 0    K1 = 0.146079    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	2.298	47.37	0.5	20	7.794	Yes	Z9111353.CHW
2	7.648	156.9	1	20	7.794	Yes	Z9111417.CHW
3	20.56	439.8	3	20	7.794	Yes	Z9111444.CHW
4	33.68	739.6	5	20	7.794	Yes	Z9111507.CHW
5	61.38	1384	10	20	7.794	Yes	Z9111529.CHW
6	84.67	2016	15	20	7.794	Yes	Z9111555.CHW

รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALIBRATION OF COMPONENT nitrate

Method: std Anion NO3 SO4 Pranee Use 9-9-59.mtw  
 Equation:  $Q = 0.37876 \cdot A$   
 RSD: 2.683 %  
 Correlation coefficient: 0.999931

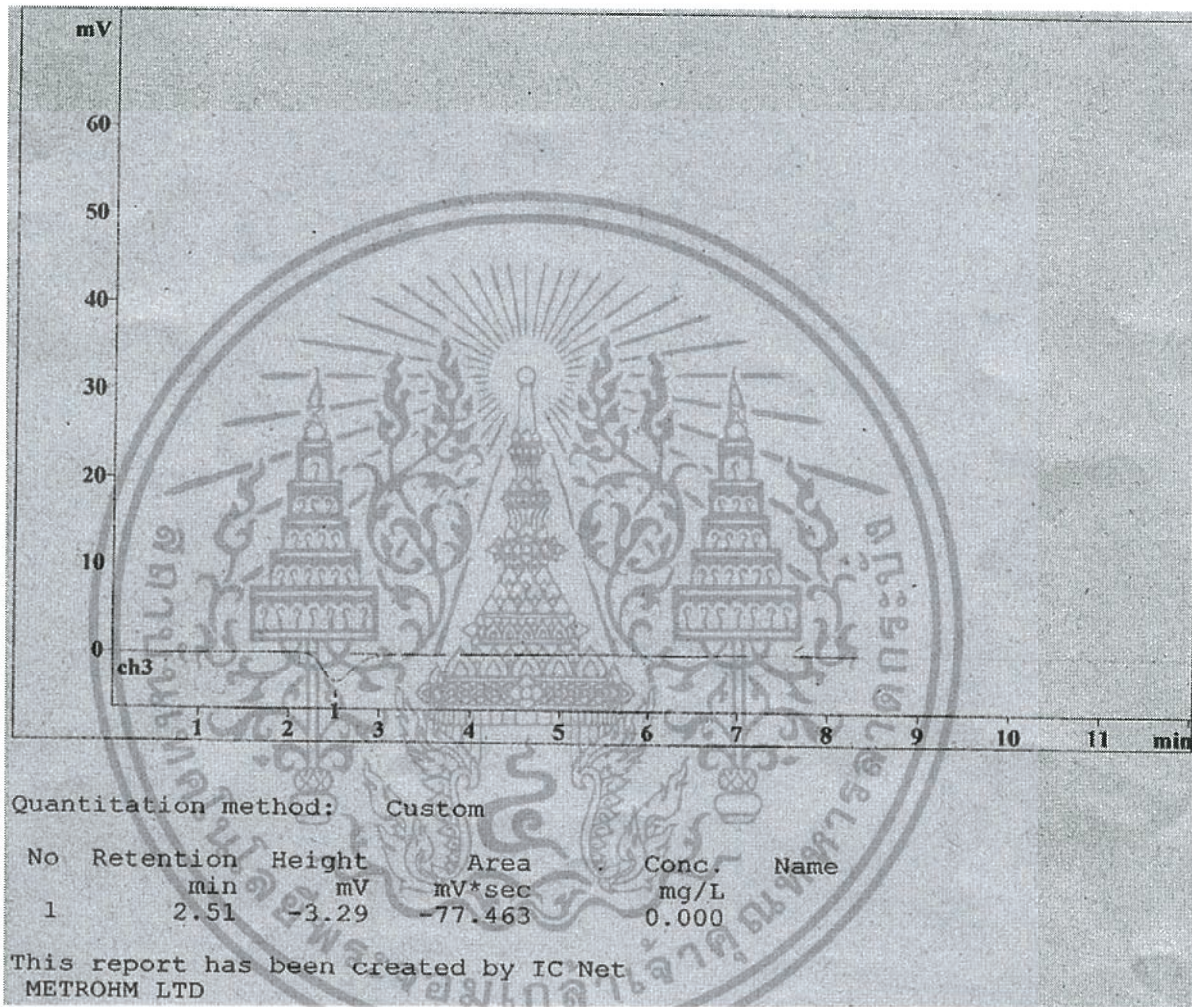


K3 = 0      K2 = 0      K1 = 0.37876      K0 = 0  
 Base: Area  
 Ref.channel: ch3  
 ISTD: waterpeak  
 Formula: Linear through zero  
 Weight: 1

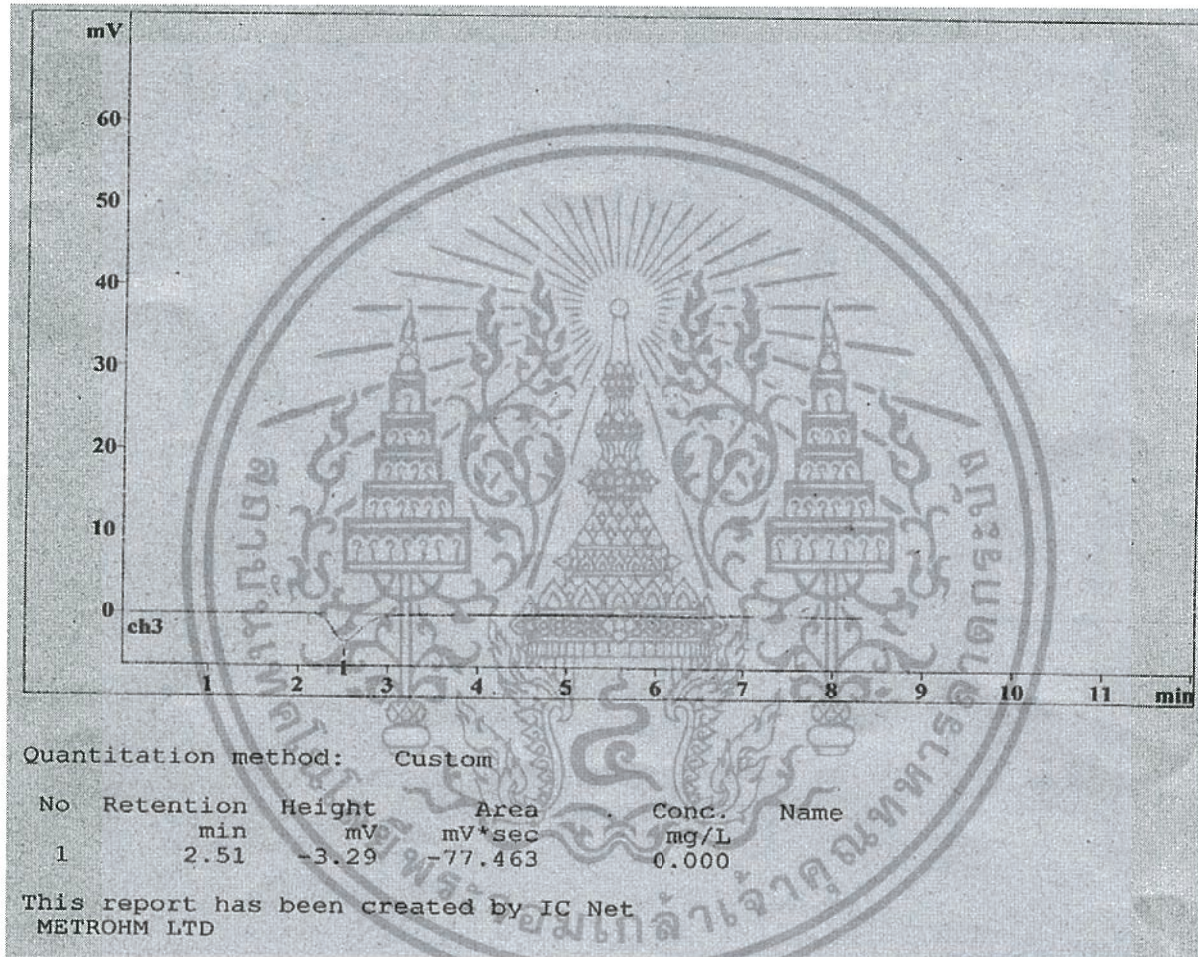
Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	1.027	15.96	0.5	20	5.369	Yes	Z9111353.CHW
2	3.144	49.22	1	20	5.369	Yes	Z9111417.CHW
3	9.425	146.1	3	20	5.369	Yes	Z9111444.CHW
4	16.26	258.1	5	20	5.369	Yes	Z9111507.CHW
5	33.78	530.1	10	20	5.369	Yes	Z9111529.CHW
6	51.39	795.3	15	20	5.369	Yes	Z9111555.CHW

รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานในเตรท

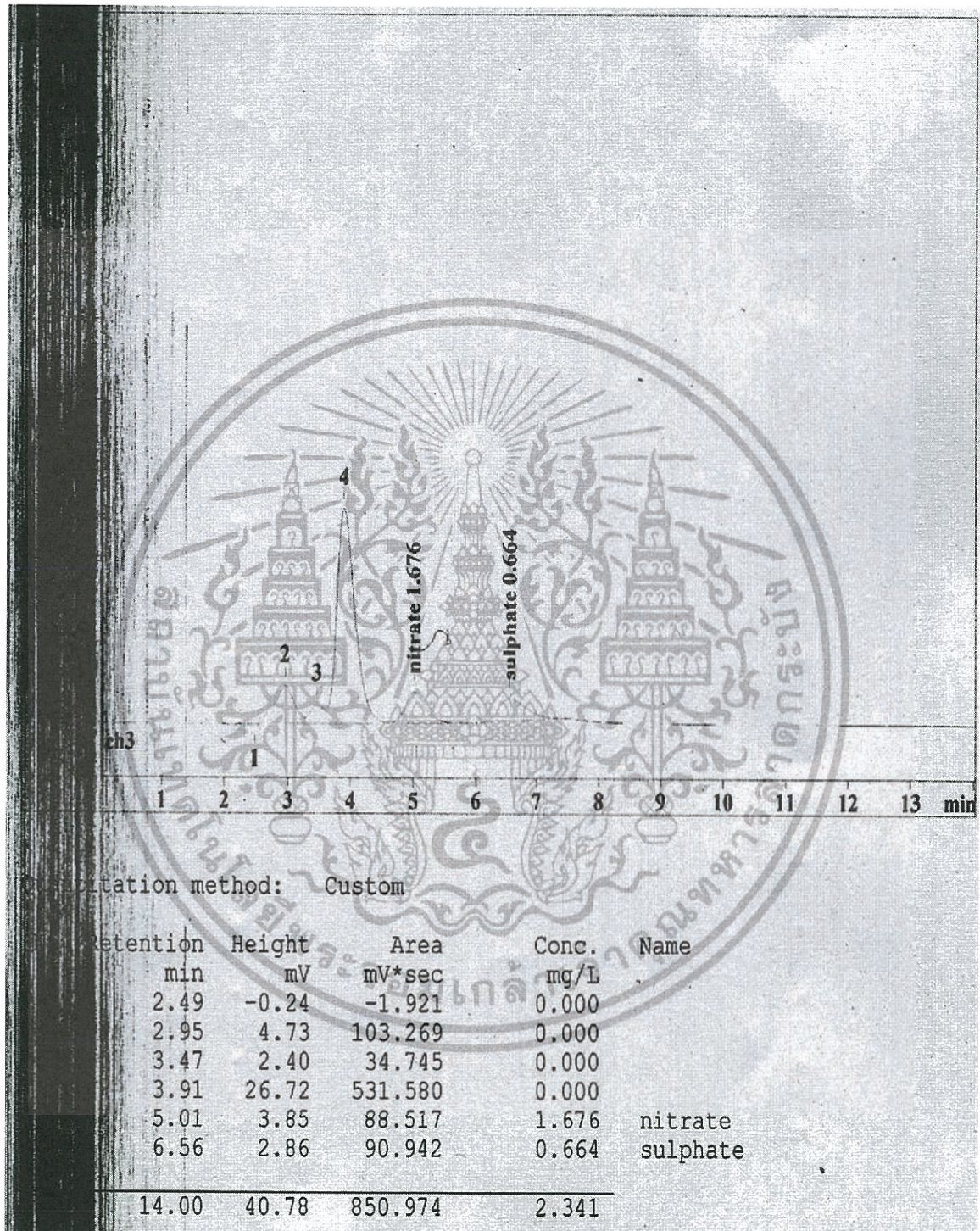
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-4 แบลงค์



รูปที่ ข-5 ทริปแบลงค์



รูปที่ ข-6 กราฟตัวอย่างอากาศที่วิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ค**  
**การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์**  
**ในอากาศ**

ตารางที่ ค-1 การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) ในอากาศ

No.	[ $SO_4^{2-}$ ] <sub>Ion chromatograph</sub>	[ $SO_4^{2-}$ ]		[ $SO_4^{2-}$ ]	Average
	X (ppm)	Q ( $\mu g$ )	L (m)	C ( $\mu g/m^3$ )	(ppb <sub>v</sub> )
S1/1	0.71	1.90	0.05	3.51	1.34
S1/2	0.65	1.73	0.05	3.19	1.22
S1/3	0.38	1.02	0.05	1.88	0.72
					1.09

โดยกำหนดค่า

$$L = 5 \times 10^{-2} m$$

$$\pi r^2 = 3.14 \times (0.028 \times 0.028) = 0.002463 m^2$$

เมื่อ r คือ รัศมีของหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (m)

$$t = 24 \times 60 \times 60 \times 10 = 864,000 s$$

$$D = 0.0000127 m^2 / s$$

เมื่อ D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่  $SO_2$  ในอากาศโดยรอบ

$$\text{Molecular volume (MO)} = 24.46 L$$

$$\text{มวลโมเลกุลของ } SO_2 \text{ } MWSO_2 = 64 g/mol$$

$$\text{มวลโมเลกุลของ } SO_4^{2-} \text{ } MWSO_4^{2-} = 96 g/ion$$

$$\frac{MWSO_2}{MWSO_4^{2-}} = 0.67^*$$

การคำนวณหาปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$ ) (อมรรัตน์, 2552)

$$[SO_2]X = 0.71 ppm = 0.71 \mu g / L$$

$$Q(\mu g) = X(ppm) \times \text{ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)} \times \frac{MWSO_2}{MWSO_4^{2-}}$$

$$= 0.71 \frac{\mu g}{L} \times 4 ml \times \frac{64}{96}$$

$$= 1.90 \mu g \text{ ของ } SO_2$$

การคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) ในหน่วย  $\mu g / m^3$

$$\begin{aligned} C(\mu g / m^3) &= \frac{[Q \times L]}{[(\pi r^2) \times t \times D]} \\ &= \frac{1.90 \times 0.05}{0.002463 \times 864,000 \times 0.0000127} \\ &= 3.51 \mu g / m^3 \end{aligned}$$

ทำการเปลี่ยนหน่วยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก  $\mu g / m^3$  เป็น  $ppb$  หรือ  $ppb_v$  หาได้จากสมการ

$$ppb_v = \frac{\frac{\mu g}{m^3} \times \text{molecular volume (L)}}{\text{molecular weight}}$$

$$\text{molecular volume} = \frac{22.41 \times (273.15 + 25)}{273.15} \times \frac{101.3}{100.8} = 24.58 \text{ L/mol}$$

หมายเหตุ  $P =$  ความดันบรรยากาศ  $1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa}$

ดังนั้น ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) ( $ppb_v$ )

$$\begin{aligned} SO_2(ppb_v) &= \frac{3.51 \frac{\mu g}{m^3} \times 24.58 \text{ L/mol}}{64 \text{ g/mol}} \\ &= 1.34 \text{ ppb}_v \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ง**  
**การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์**  
**ในอากาศ**

ตารางที่ ง-1 การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ในอากาศ

No.	[ $\text{NO}_3^-$ ] Ion chromatograph		[ $\text{NO}_2$ ]		[ $\text{NO}_2$ ]	Average
	X (ppm)	Q ( $\mu\text{g}$ )	L (m)	C ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )
S1/1	1.38	4.09	0.05	6.37	3.39	
S1/2	1.63	4.84	0.05	7.54	4.01	
S1/3	1.63	4.83	0.05	7.53	4.01	3.80

โดยกำหนดค่า

$$L = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\pi r^2 = 3.14 \times (0.028 \times 0.028) = 0.002463 \text{ m}^2$$

เมื่อ  $r$  คือ รัศมีของหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (m)

$$t = 24 \times 60 \times 60 \times 60 \times 10 = 864,000$$

$$D = 0.0000154 \text{ m}^2 / \text{s}$$

เมื่อ  $D$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่  $\text{NO}_2$  ในอากาศโดยรอบ

$$\text{Molecular volume (MO)} = 24.46 \text{ L}$$

มวลโมเลกุลของ  $\text{NO}_2$   $MW_{\text{NO}_2} = 46 \text{ g/mol}$

มวลโมเลกุลของ  $\text{NO}_3^-$   $MW_{\text{NO}_3^-} = 62 \text{ g/ion}$

$$\frac{MW_{\text{NO}_2}}{MW_{\text{NO}_3^-}} = 0.74$$

การคำนวณหาปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์จากไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) (อมรรัตน์, 2552)

$$[\text{NO}_2]X = 1.38 \text{ ppm} = 1.38 \mu\text{g} / \text{L}$$

$$Q(\mu\text{g}) = X(\text{ppm}) \times \text{ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)} \times \frac{MW_{\text{NO}_2}}{MW_{\text{NO}_3^-}}$$

$$= 1.38 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \times 4 \text{ ml} \times \frac{46}{62}$$

$$= 4.09 \mu\text{g} \text{ ของ } \text{NO}_2$$

การคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ในหน่วย  $\mu g / m^3$

$$\begin{aligned} C(\mu g / m^3) &= \frac{[Q \times L]}{[(\pi r^2) \times t \times D]} \\ &= \frac{4.09 \times 0.05}{0.002463 \times 864,000 \times 0.0000154} \\ &= 6.37 \mu g / m^3 \end{aligned}$$

ทำการเปลี่ยนหน่วยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จาก  $\mu g / m^3$  เป็น  $ppb$  หรือ  $ppb_v$  หาได้จากสมการ

$$ppb_v = \frac{\frac{\mu g}{m^3} \times \text{molecular volume (L)}}{\text{molecular weight}}$$

$$\text{molecular volume} = \frac{22.41 \times (273.15 + 25)}{273.15} \times \frac{101.3}{100.8} = 24.58 \text{ L/mol}$$

หมายเหตุ  $P$  = ความดันบรรยากาศ  $1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa}$

ดังนั้น ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ( $ppb_v$ )

$$\begin{aligned} NO_2(ppb_v) &= \frac{6.37 \frac{\mu g}{m^3} \times 24.58 \text{ L/mol}}{46 \text{ g/mol}} \\ &= 3.39 \text{ ppb}_v \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ  
ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ย  
ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสสีฟ

ตาราง จ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2-12 กันยายน 2559

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	0.71	1.90	0.05	3.51	1.34		
S1/2	0.65	1.73	0.05	3.19	1.22		
S1/3	0.38	1.02	0.05	1.88	0.72	1.09	0.33
S2/1	0.27	0.71	0.05	1.31	0.50		
S2/2	0.12	0.31	0.05	0.58	0.22		
S2/3	0.29	0.77	0.05	1.43	0.54	0.42	0.17
S3/1	0.69	1.84	0.05	3.41	1.30		
S3/2	0.69	1.84	0.05	3.40	1.30		

ตาราง จ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอไรไดออกไซด์ 2-12 กันยายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S3/3	0.79	2.11	0.05	3.91	1.49	1.37	0.11
S4/1	0.33	0.87	0.05	1.61	0.61		
S4/2	0.32	0.86	0.05	1.59	0.61		
S4/3	0.75	2.01	0.05	3.72	1.42	0.88	0.47
S5/1	5.58	14.87	0.05	27.51	10.52		
S5/2	0.83	2.22	0.05	4.11	1.57		
S5/3	0.79	2.10	0.05	3.88	1.48	4.52	5.19
S6/1	0.93	2.48	0.05	4.59	1.76		
S6/2	1.02	2.71	0.05	5.01	1.91		
S6/3	0.72	1.91	0.05	3.53	1.35	1.67	0.29
S7/1	0.83	2.22	0.05	4.11	1.57		
S7/2	0.49	1.30	0.05	2.40	0.92		
S7/3	0.53	1.40	0.05	2.59	0.99	1.16	0.36

ตาราง จ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2-12 กันยายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>Ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S8/1	0.48	1.27	0.05	2.35	0.90		
S8/2	0.52	1.38	0.05	2.56	0.98		
S8/3	1.52	4.06	0.05	7.50	2.87	1.58	1.12
S9/1	0.47	1.25	0.05	2.31	0.88		
S9/2	0.46	1.23	0.05	2.28	0.87		
S9/3	0.51	1.37	0.05	2.53	0.97	0.91	0.05
S10/1	0.39	1.05	0.05	1.94	0.74		
S10/2	0.38	1.02	0.05	1.88	0.72		
S10/3	0.44	1.17	0.05	2.16	0.83	0.76	0.06
S11/1	0.50	1.34	0.05	2.49	0.95		
S11/2	0.38	1.00	0.05	1.85	0.71		
S11/3	0.43	1.14	0.05	2.11	0.81	0.82	0.12

ตาราง จ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 16-26 กันยายน 2559

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]		C (µg/m <sup>3</sup> )	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] (ppb <sub>v</sub> )	Average (ppb <sub>v</sub> )	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)				
S1/1	0.42	1.12	0.05	2.07	0.79		
S1/2	0.50	1.34	0.05	2.48	0.95		
S1/3	0.44	1.18	0.05	2.19	0.84	0.86	0.08
S2/1	0.13	0.34	0.05	0.62	0.24		
S2/2	0.28	0.74	0.05	1.38	0.53		
S2/3	0.26	0.68	0.05	1.26	0.48	0.42	0.16
S3/1							
S3/2							
S3/3							
S4/1	0.62	1.64	0.05	3.04	1.16		
S4/2	0.41	1.09	0.05	2.01	0.77		
S4/3	0.41	1.10	0.05	2.03	0.78	0.90	0.22
S5/1	0.61	1.62	0.05	3.00	1.15		

ตาราง จ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 16-26 กันยายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>Ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	0.57	1.51	0.05	2.79	1.07		
S5/3	0.55	1.45	0.05	2.69	1.03	1.08	0.06
S6/1	0.70	1.87	0.05	3.47	1.33		
S6/2	0.72	1.92	0.05	3.55	1.36		
S6/3	1.06	2.82	0.05	5.22	2.00	1.56	0.38
S7/1	0.66	1.77	0.05	3.28	1.25		
S7/2	0.89	2.38	0.05	4.40	1.68		
S7/3	0.79	2.11	0.05	3.91	1.50	1.48	0.22
S8/1	0.43	1.14	0.05	2.12	0.81		
S8/2	0.53	1.41	0.05	2.61	1.00		
S8/3	0.37	1.00	0.05	1.85	0.71	0.84	0.15
S9/1	0.52	1.38	0.05	2.55	0.97		
S9/2	0.58	1.53	0.05	2.84	1.08		

ตาราง จ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 16-26 กันยายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] ion chromatograph	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	0.50	1.34	0.05	2.48	0.95	1.00	0.07
S10/1	0.27	0.72	0.05	1.33	0.51		
S10/2	0.29	0.77	0.05	1.43	0.55		
S10/3	0.54	1.44	0.05	2.67	1.02	0.69	0.28
S11/1	0.31	0.83	0.05	1.54	0.59		
S11/2	0.52	1.39	0.05	2.58	0.99		
S11/3	0.47	1.26	0.05	2.32	0.89	0.82	0.21

ตาราง จ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1-11 ตุลาคม 2559

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]		[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average (ppb <sub>v</sub> )	SD
	X (ppm)	Q (μg)	L (m)	C (μg/m <sup>3</sup> ) (ppb <sub>v</sub> )		
S1/1	0.58	1.56	0.05	2.88	1.10	
S1/2	0.66	1.76	0.05	3.26	1.25	
S1/3	1.23	3.28	0.05	6.06	2.32	0.66
S2/1	0.42	1.13	0.05	2.09	0.80	
S2/2	0.64	1.70	0.05	3.15	1.20	
S2/3	1.02	2.71	0.05	5.01	1.92	0.57
S3/1	0.67	1.79	0.05	3.31	1.27	
S3/2	0.59	1.57	0.05	2.91	1.11	
S3/3	0.60	1.59	0.05	2.94	1.12	0.09
S4/1	0.93	2.48	0.05	4.58	1.75	
S4/2	0.83	2.21	0.05	4.09	1.56	
S4/3	0.58	1.54	0.05	2.85	1.09	0.34
S5/1	1.02	2.72	0.05	5.03	1.92	

ตาราง จ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1-11 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	0.77	2.04	0.05	3.77	1.44		
S5/3	0.78	2.08	0.05	3.85	1.47	1.61	0.27
S6/1	0.54	1.43	0.05	2.64	1.01		
S6/2	0.71	1.90	0.05	3.51	1.34		
S6/3	0.54	1.45	0.05	2.68	1.02	1.13	0.19
S7/1	0.86	2.28	0.05	4.22	1.61		
S7/2	0.80	2.13	0.05	3.93	1.50		
S7/3	1.82	4.84	0.05	8.95	3.42	2.18	1.08
S8/1	1.26	3.37	0.05	6.23	2.38		
S8/2	0.52	1.38	0.05	2.56	0.98		
S8/3	0.59	1.58	0.05	2.92	1.11	1.49	0.77
S9/1	0.75	2.00	0.05	3.70	1.41		
S9/2	0.74	1.98	0.05	3.67	1.40		

ตาราง จ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1-11 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] ion chromatograph	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]		C (µg/m <sup>3</sup> )	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)		(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	SD
S9/3	0.65	1.73	0.05	3.21	1.23	1.35	0.11
S10/1	0.78	2.09	0.05	3.87	1.48		
S10/2	0.91	2.41	0.05	4.46	1.71		
S10/3	0.52	1.39	0.05	2.57	0.98	1.39	0.37
S11/1	0.42	1.11	0.05	2.06	0.79		
S11/2	0.91	2.42	0.05	4.48	1.71		
S11/3	0.81	2.17	0.05	4.01	1.53	1.34	0.49

ตาราง จ-4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 15-25 ตุลาคม 2559

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	0.40	1.06	0.05	1.95	0.75		
S1/2	0.53	1.41	0.05	2.60	1.00		
S1/3	0.30	0.80	0.05	1.48	0.56	0.77	0.22
S2/1	0.25	0.68	0.05	1.25	0.48		
S2/2	0.25	0.65	0.05	1.21	0.46		
S2/3	0.27	0.72	0.05	1.34	0.51	0.48	0.02
S3/1	0.62	1.64	0.05	3.04	1.16		
S3/2	0.54	1.43	0.05	2.64	1.01		
S3/3	0.53	1.42	0.05	2.63	1.00	1.06	0.09
S4/1	0.49	1.30	0.05	2.40	0.92		
S4/2	0.37	0.99	0.05	1.83	0.70		
S4/3	0.33	0.88	0.05	1.63	0.62	0.75	0.15
S5/1	0.54	1.44	0.05	2.66	1.02		

ตาราง จ-4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 15-25 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			Average (ppb <sub>v</sub> )	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )		
S5/2	1.85	4.92	0.05	9.11	3.48	
S5/3	2.50	6.67	0.05	12.34	4.72	1.88
S6/1	0.61	1.63	0.05	3.02	1.15	
S6/2	0.46	1.23	0.05	2.28	0.87	
S6/3	0.45	1.21	0.05	2.24	0.86	0.17
S7/1	0.39	1.04	0.05	1.92	0.74	
S7/2	0.38	1.02	0.05	1.88	0.72	
S7/3	0.34	0.92	0.05	1.70	0.65	0.05
S8/1	0.35	0.93	0.05	1.72	0.66	
S8/2	0.43	1.15	0.05	2.13	0.81	
S8/3	0.55	1.47	0.05	2.72	1.04	0.19
S9/1	0.47	1.25	0.05	2.32	0.89	
S9/2	0.46	1.23	0.05	2.27	0.87	

ตาราง จ-4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 15-25 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	0.61	1.63	0.05	3.01	1.15	0.97	0.16
S10/1	0.36	0.95	0.05	1.76	0.67		
S10/2	0.44	1.16	0.05	2.15	0.82		
S10/3	0.72	1.93	0.05	3.57	1.37	0.95	0.37
S11/1	0.29	0.77	0.05	1.43	0.55		
S11/2	0.30	0.79	0.05	1.46	0.56		
S11/3	0.33	0.87	0.05	1.60	0.61	0.57	0.04

ตาราง จ-5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1-11 พฤศจิกายน 2559

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>Ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	0.54	1.43	0.05	2.65	1.02		
S1/2	0.60	1.61	0.05	2.97	1.14		
S1/3	0.64	1.69	0.05	3.13	1.20	1.12	0.09
S2/1	0.30	0.81	0.05	1.50	0.57		
S2/2	0.25	0.67	0.05	1.25	0.48		
S2/3	0.30	0.80	0.05	1.48	0.57	0.54	0.05
S3/1	0.47	1.24	0.05	2.30	0.88		
S3/2	0.54	1.43	0.05	2.64	1.01		
S3/3	0.31	0.83	0.05	1.53	0.59	0.83	0.22
S4/1	0.73	1.95	0.05	3.61	1.38		
S4/2	0.50	1.33	0.05	2.45	0.94		
S4/3	0.60	1.61	0.05	2.97	1.14	1.15	0.22
S5/1	0.53	1.42	0.05	2.63	1.01		

ตาราง จ-5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1-11 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	1.21	3.21	0.05	5.94	2.28		
S5/3	0.99	2.63	0.05	4.86	1.86	1.72	0.65
S6/1	0.94	2.51	0.05	4.64	1.78		
S6/2	1.06	2.83	0.05	5.24	2.01		
S6/3	0.91	2.41	0.05	4.46	1.71	1.83	0.16
S7/1	0.26	0.69	0.05	1.28	0.49		
S7/2	0.28	0.75	0.05	1.39	0.53		
S7/3	0.54	1.45	0.05	2.68	1.03	0.68	0.30
S8/1	0.35	0.93	0.05	1.72	0.66		
S8/2	0.43	1.15	0.05	2.13	0.82		
S8/3	0.55	1.48	0.05	2.73	1.05	0.84	0.20
S9/1	0.63	1.68	0.05	3.11	1.19		
S9/2	0.46	1.23	0.05	2.28	0.87		

ตาราง จ-5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1-11 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>Ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	0.61	1.63	0.05	3.01	1.15	1.07	0.17
S10/1	0.43	1.15	0.05	2.14	0.82		
S10/2	0.44	1.16	0.05	2.15	0.82		
S10/3	0.66	1.76	0.05	3.26	1.25	0.96	0.25
S11/1	0.74	1.97	0.05	3.64	1.39		
S11/2	0.60	1.59	0.05	2.94	1.13		
S11/3	0.43	1.13	0.05	2.10	0.80	1.11	0.30

ตาราง จ-6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 11-21 พฤศจิกายน 2559

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>Ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]		[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	0.30	0.79	0.05	1.46	0.56	
S1/2	0.48	1.28	0.05	2.37	0.91	
S1/3	0.50	1.33	0.05	2.46	0.95	0.21
S2/1	0.10	0.28	0.05	0.51	0.20	
S2/2	0.23	0.61	0.05	1.13	0.43	
S2/3	0.17	0.46	0.05	0.84	0.32	0.12
S3/1	0.32	0.84	0.05	1.56	0.60	
S3/2	0.44	1.16	0.05	2.15	0.82	
S3/3	0.27	0.73	0.05	1.35	0.52	0.16
S4/1	0.59	1.57	0.05	2.90	1.11	
S4/2	0.41	1.10	0.05	2.03	0.78	
S4/3	0.67	1.79	0.05	3.31	1.27	0.25
S5/1	0.54	1.44	0.05	2.66	1.02	

ตาราง จ-6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 11-21 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]		[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	0.85	2.26	0.05	4.17	1.60	
S5/3	0.90	2.41	0.05	4.45	1.71	0.37
S6/1	1.01	2.70	0.05	4.99	1.92	
S6/2	0.86	2.30	0.05	4.25	1.64	
S6/3	0.95	2.54	0.05	4.71	1.81	0.14
S7/1	0.25	0.68	0.05	1.25	0.48	
S7/2	0.46	1.22	0.05	2.25	0.87	
S7/3	0.44	1.18	0.05	2.19	0.84	0.21
S8/1	0.65	1.73	0.05	3.20	1.23	
S8/2	0.33	0.89	0.05	1.64	0.63	
S8/3	0.55	1.47	0.05	2.72	1.04	0.31
S9/1	0.67	1.78	0.05	3.29	1.26	
S9/2	0.56	1.50	0.05	2.77	1.06	

ตาราง จ-6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 11-21 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] ion chromatograph	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	0.64	1.71	0.05	3.16	1.21	1.18	0.10
S10/1	0.32	0.84	0.05	1.56	0.60		
S10/2	0.44	1.16	0.05	2.15	0.82		
S10/3	0.52	1.40	0.05	2.59	0.99	0.80	0.20
S11/1	0.67	1.78	0.05	3.29	1.26		
S11/2	0.50	1.32	0.05	2.45	0.94		
S11/3	0.43	1.13	0.05	2.10	0.80	1.00	0.24

ภาคผนวก ฉ  
ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ย  
ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีพาสสีฟ

ตาราง ฉ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 2-12 กันยายน 2559

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]		[NO <sub>2</sub> ]	Average (ppb <sub>v</sub> )	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> ) (ppb <sub>v</sub> )		
S1/1	1.38	4.09	0.05	6.37	3.39	
S1/2	1.63	4.84	0.05	7.54	4.01	
S1/3	1.63	4.83	0.05	7.53	4.01	0.36
S2/1	0.76	2.25	0.05	3.51	1.86	
S2/2	0.24	0.70	0.05	1.09	0.58	
S2/3	0.71	2.09	0.05	3.26	1.73	0.71
S3/1	1.40	4.15	0.05	6.46	3.44	
S3/2	1.29	3.82	0.05	5.95	3.16	

ตาราง ฉ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 17-27 กันยายน 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S3/3	1.89	5.61	0.05	8.74	4.64	3.75	0.79
S4/1	1.08	3.19	0.05	4.98	2.65		
S4/2	0.99	2.95	0.05	4.60	2.44		
S4/3	1.42	4.20	0.05	6.54	3.48	2.86	0.55
S5/1	2.59	7.68	0.05	11.96	6.36		
S5/2	2.33	6.91	0.05	10.77	5.72		
S5/3	1.99	5.91	0.05	9.22	4.90	5.66	0.73
S6/1	1.61	4.77	0.05	7.43	3.95		
S6/2	1.27	3.77	0.05	5.87	3.12		
S6/3	2.06	6.12	0.05	9.54	5.07	4.05	0.98
S7/1	2.10	6.23	0.05	9.71	5.16		
S7/2	1.70	5.06	0.05	7.88	4.19		
S7/3	1.98	5.89	0.05	9.17	4.88	4.74	0.50

ตาราง ฉ-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 17-27 กันยายน 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] <sub>ion chromatograph</sub>	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S8/1	1.38	4.08	0.05	6.36	3.38		
S8/2	1.96	5.82	0.05	9.07	4.82		
S8/3	1.74	5.15	0.05	8.03	4.27	4.16	0.73
S9/1	1.38	4.08	0.05	6.36	3.38		
S9/2	1.64	4.86	0.05	7.57	4.03		
S9/3	1.69	5.01	0.05	7.81	4.15	3.85	0.41
S10/1	1.58	4.67	0.05	7.28	3.87		
S10/2	1.64	4.87	0.05	7.58	4.03		
S10/3	1.37	4.08	0.05	6.35	3.38	3.76	0.34
S11/1	1.27	3.78	0.05	5.89	3.13		
S11/2	0.92	2.72	0.05	4.24	2.25		
S11/3	1.13	3.34	0.05	5.20	2.77	2.72	0.44

ตาราง ฉ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 16-26 กันยายน 2559

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	0.85	2.51	0.05	3.91	2.08		
S1/2	0.77	2.29	0.05	3.57	1.90		
S1/3	0.62	1.83	0.05	2.86	1.52	1.83	0.29
S2/1	0.58	1.71	0.05	2.66	1.41		
S2/2	0.76	2.24	0.05	3.49	1.86		
S2/3	0.66	1.95	0.05	3.03	1.61	1.63	0.22
S3/1							
S3/2							
S3/3							
S4/1	1.90	5.65	0.05	8.80	4.68		
S4/2	1.58	4.70	0.05	7.32	3.89		
S4/3	1.15	3.42	0.05	5.33	2.83	3.80	0.93
S5/1	1.55	4.60	0.05	7.16	3.81		

ตาราง ฉ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 16-26 กันยายน 2559

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]		[NO <sub>2</sub> ]	Average		
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	SD
S5/2	1.97	5.83	0.05	9.09	4.83		
S5/3	1.81	5.36	0.05	8.35	4.44	4.36	0.52
S6/1	1.59	4.70	0.05	7.33	3.90		
S6/2	1.53	4.53	0.05	7.06	3.75		
S6/3	1.43	4.25	0.05	6.63	3.52	3.73	0.19
S7/1	1.68	4.97	0.05	7.75	4.12		
S7/2	1.71	5.07	0.05	7.89	4.20		
S7/3	1.67	4.95	0.05	7.71	4.10	4.14	0.05
S8/1	1.62	4.81	0.05	7.50	3.99		
S8/2	1.48	4.39	0.05	6.84	3.64		
S8/3	1.39	4.11	0.05	6.41	3.41	3.68	0.29
S9/1	1.54	4.58	0.05	7.14	3.79		
S9/2	1.45	4.30	0.05	6.70	3.56		

ตาราง ฉ-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 16-26 กันยายน 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	1.61	4.77	0.05	7.43	3.95	3.77	0.19
S10/1	1.21	3.58	0.05	5.58	2.97		
S10/2	1.41	4.17	0.05	6.50	3.45		
S10/3	1.47	4.36	0.05	6.79	3.61	3.34	0.34
S11/1	0.94	2.78	0.05	4.34	2.31		
S11/2	1.03	3.06	0.05	4.77	2.54		
S11/3	0.77	2.29	0.05	3.57	1.90	2.25	0.32

ตาราง ฉ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1-11 ตุลาคม 2559

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	1.19	3.52	0.05	5.48	2.92		
S1/2	1.72	5.09	0.05	7.93	4.22		
S1/3	1.58	4.69	0.05	7.31	3.89	3.67	0.68
S2/1	0.75	2.22	0.05	3.46	1.84		
S2/2	0.78	2.31	0.05	3.61	1.92		
S2/3	0.74	2.20	0.05	3.43	1.82	1.86	0.05
S3/1	1.29	3.82	0.05	5.95	3.16		
S3/2	1.29	3.82	0.05	5.95	3.16		
S3/3	1.25	3.71	0.05	5.78	3.08	3.13	0.05
S4/1	1.79	5.30	0.05	8.25	4.39		
S4/2	1.33	3.96	0.05	6.17	3.28		
S4/3	1.37	4.08	0.05	6.35	3.38	3.68	0.61
S5/1	2.87	8.52	0.05	13.28	7.06		

ตาราง ฉ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1-11 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	2.88	8.56	0.05	13.33	7.09		
S5/3	2.92	8.66	0.05	13.49	7.18	7.11	0.06
S6/1	1.91	5.67	0.05	8.83	4.70		
S6/2	1.93	5.72	0.05	8.91	4.74		
S6/3	1.93	5.73	0.05	8.93	4.75	4.73	0.03
S7/1	1.58	4.67	0.05	7.28	3.87		
S7/2	1.76	5.23	0.05	8.15	4.34		
S7/3	4.56	13.53	0.05	21.09	11.21	6.47	4.11
S8/1	2.50	7.43	0.05	11.57	6.15		
S8/2	1.62	4.80	0.05	7.48	3.98		
S8/3	1.67	4.95	0.05	7.72	4.10	4.74	1.22
S9/1	1.29	3.84	0.05	5.98	3.18		
S9/2	1.29	3.83	0.05	5.97	3.17		

ตาราง ฉ-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1-11 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	1.14	3.37	0.05	5.25	2.79	3.05	0.22
S10/1	1.65	4.89	0.05	7.62	4.05		
S10/2	1.58	4.69	0.05	7.31	3.89		
S10/3	1.57	4.66	0.05	7.26	3.86	3.93	0.10
S11/1	0.98	2.91	0.05	4.54	2.41		
S11/2	1.20	3.57	0.05	5.56	2.96		
S11/3	1.18	3.50	0.05	5.46	2.90	2.76	0.30

ตาราง ฉ-4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 15-25 ตุลาคม 2559

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	1.11	3.29	0.05	5.12	2.72		
S1/2	1.56	4.64	0.05	7.23	3.85		
S1/3	1.07	3.18	0.05	4.96	2.64	3.07	0.67
S2/1	1.27	3.78	0.05	5.89	3.13		
S2/2	1.12	3.31	0.05	5.16	2.74		
S2/3	1.08	3.19	0.05	4.98	2.65	2.84	0.26
S3/1	1.89	5.61	0.05	8.74	4.64		
S3/2	1.58	4.69	0.05	7.31	3.89		
S3/3	1.91	5.66	0.05	8.81	4.69	4.41	0.45
S4/1	1.37	4.05	0.05	6.31	3.36		
S4/2	1.26	3.74	0.05	5.83	3.10		
S4/3	0.98	2.89	0.05	4.51	2.40	2.95	0.50
S5/1	2.42	7.18	0.05	11.19	5.95		

ตาราง ฉ-4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 15-25 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]		[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	4.98	14.76	0.05	23.01	12.23	
S5/3	5.61	16.65	0.05	25.95	13.80	4.15
S6/1	2.68	7.96	0.05	12.40	6.59	
S6/2	2.90	8.59	0.05	13.39	7.12	
S6/3	2.56	7.59	0.05	11.83	6.29	0.42
S7/1	2.29	6.80	0.05	10.59	5.63	
S7/2	2.14	6.35	0.05	9.89	5.26	
S7/3	2.19	6.48	0.05	10.10	5.37	5.42
S8/1	1.69	5.01	0.05	7.81	4.15	
S8/2	2.40	7.13	0.05	11.10	5.90	
S8/3	2.03	6.01	0.05	9.36	4.98	0.88
S9/1	2.17	6.45	0.05	10.04	5.34	
S9/2	2.23	6.62	0.05	10.32	5.49	

ตาราง ฉ-4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 15-25 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	2.66	7.89	0.05	12.29	6.53	5.79	0.65
S10/1	1.81	5.36	0.05	8.35	4.44		
S10/2	1.63	4.83	0.05	7.52	4.00		
S10/3	1.54	4.56	0.05	7.11	3.78	4.07	0.33
S11/1	1.13	3.34	0.05	5.21	2.77		
S11/2	1.31	3.88	0.05	6.05	3.22		
S11/3	1.74	5.16	0.05	8.04	4.27	3.42	0.77

ตาราง ฉ-5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1-11 พฤศจิกายน 2559

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]		[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	1.04	3.07	0.05	4.79	2.56	
S1/2	1.34	3.98	0.05	6.21	3.31	
S1/3	1.43	4.24	0.05	6.61	3.53	0.51
S2/1	0.56	1.66	0.05	2.58	1.39	
S2/2	0.24	0.70	0.05	1.09	0.59	
S2/3	0.71	2.09	0.05	3.26	1.76	0.60
S3/1	1.40	4.15	0.05	6.46	3.45	
S3/2	1.29	3.82	0.05	5.95	3.17	
S3/3	1.39	4.12	0.05	6.42	3.42	0.15
S4/1	1.08	3.19	0.05	4.98	2.65	
S4/2	0.99	2.95	0.05	4.60	2.45	
S4/3	1.12	3.31	0.05	5.16	2.75	0.15
S5/1	1.09	3.23	0.05	5.03	2.68	

ตาราง ฉ-5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1-11 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	0.94	2.78	0.05	4.34	2.31		
S5/3	1.19	3.54	0.05	5.52	2.94	2.65	0.32
S6/1	1.91	5.66	0.05	8.82	4.70		
S6/2	1.97	5.84	0.05	9.11	4.85		
S6/3	2.06	6.12	0.05	9.54	5.08	4.87	0.19
S7/1	1.10	3.26	0.05	5.08	2.71		
S7/2	0.90	2.68	0.05	4.18	2.23		
S7/3	1.18	3.51	0.05	5.47	2.91	2.62	
S8/1	1.24	3.67	0.05	5.72	3.05		
S8/2	1.56	4.64	0.05	7.22	3.86		
S8/3	1.73	5.14	0.05	8.00	4.27	3.73	0.62
S9/1	1.38	4.08	0.05	6.36	3.39		
S9/2	0.64	1.89	0.05	2.95	1.57		

ตาราง ฉ-5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1-11 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S9/3	0.84	2.49	0.05	3.88	2.07	2.34	0.94
S10/1	0.68	2.00	0.05	3.12	1.67		
S10/2	0.64	1.90	0.05	2.96	1.58		
S10/3	0.87	2.59	0.05	4.04	2.16	1.80	0.31
S11/1	1.37	4.08	0.05	6.35	3.39		
S11/2	0.99	2.93	0.05	4.56	2.43		
S11/3	1.13	3.36	0.05	5.23	2.79	2.87	0.48

ตาราง ฉ-6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 11-21 พฤศจิกายน 2559

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S1/1	1.13	3.37	0.05	5.24	2.80		
S1/2	1.44	4.28	0.05	6.67	3.56		
S1/3	1.43	4.24	0.05	6.61	3.53	3.30	0.43
S2/1	0.46	1.36	0.05	2.12	1.13		
S2/2	0.63	1.88	0.05	2.92	1.56		
S2/3	0.61	1.80	0.05	2.80	1.49	1.39	0.23
S3/1	1.88	5.56	0.05	8.67	4.63		
S3/2	1.62	4.80	0.05	7.49	4.00		
S3/3	1.39	4.12	0.05	6.42	3.43	4.02	0.60
S4/1	1.08	3.19	0.05	4.98	2.66		
S4/2	1.79	5.32	0.05	8.30	4.43		
S4/3	1.12	3.31	0.05	5.16	2.75	3.28	1.00
S5/1	1.09	3.23	0.05	5.03	2.68		

ตาราง ฉ-6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 11-21 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> Ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	SD
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	
S5/2	0.94	2.78	0.05	4.34	2.32		
S5/3	1.09	3.24	0.05	5.05	2.70	2.57	0.22
S6/1	2.31	6.85	0.05	10.67	5.71		
S6/2	2.47	7.33	0.05	11.42	6.11		
S6/3	2.06	6.12	0.05	9.54	5.10	5.64	0.51
S7/1	1.10	3.26	0.05	5.08	2.71		
S7/2	0.90	2.68	0.05	4.18	2.23		
S7/3	1.00	2.98	0.05	4.64	2.48	2.48	
S8/1	1.54	4.58	0.05	7.14	3.81		
S8/2	1.66	4.93	0.05	7.69	4.10		
S8/3	1.73	5.14	0.05	8.00	4.28	4.06	0.23
S9/1	0.78	2.30	0.05	3.59	1.92		
S9/2	0.64	1.89	0.05	2.95	1.57		

ตาราง ฉ-6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 11-21 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

No.	[NO <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ion chromatograph	[NO <sub>2</sub> ]			[NO <sub>2</sub> ]	Average	
	X (ppm)	Q (µg)	L (m)	C (µg/m <sup>3</sup> )	(ppb <sub>v</sub> )	(ppb <sub>v</sub> )	SD
S9/3	0.84	2.49	0.05	3.88	2.07	1.85	0.25
S10/1	0.58	1.71	0.05	2.66	1.42		
S10/2	0.64	1.90	0.05	2.96	1.58		
S10/3	0.45	1.35	0.05	2.10	1.12	1.37	0.23
S11/1	1.37	4.08	0.05	6.35	3.39		
S11/2	1.39	4.11	0.05	6.41	3.42		
S11/3	1.13	3.36	0.05	5.23	2.79	3.20	0.35

## ภาคผนวก ข

### ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงค่าดังตาราง ข-1

ตารางที่ ข-1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.973	10	.397	4.014	.000
Within Groups	5.445	55	.099		
Total	9.418	65			

ในการวิเคราะห์นี้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ในการวิเคราะห์ผล ให้ดูที่ค่า Sig.

- ถ้า Sig < 0.05 แสดงว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลต่อการชีวิต หรือค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

- ถ้า Sig > 0.05 แสดงว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่มีผลต่อการชีวิต หรือค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่แตกต่างกัน

พบว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้ง 11 จุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig < 0.05)

จากตาราง ANOVA ทำให้เราทราบเพียงว่า มีข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยต่างกัน แต่ไม่ทราบว่า เป็นคู่ใดบ้าง ดังนั้นจึงต้องทดสอบต่อไปว่าคู่ใดหรือกลุ่มใดบ้างที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันโดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 11 จุด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงค่าดังตาราง ซ-3

ตารางที่ ซ-3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	40.400	10	4.040	4.613	.000
Within Groups	48.171	55	.876		
Total	88.571	65			

ในการวิเคราะห์นี้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ในการวิเคราะห์ผล ให้ดูที่ค่า Sig.

- ถ้า Sig < 0.05 แสดงว่า ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีผลต่อการชีวิต หรือค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

- ถ้า Sig > 0.05 แสดงว่า ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่มีผลต่อการชีวิต หรือค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกัน

พบว่า ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้ง 11 จุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig < 0.05)

จากตาราง ANOVA ทำให้เราทราบเพียงว่า มีข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยต่างกัน แต่ไม่ทราบว่าเป็นคู่ใดบ้าง ดังนั้นจึงต้องทดสอบต่อไปว่าคู่ใดหรือกลุ่มใดบ้างที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันโดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน

**ภาคผนวก ซ**  
**พารามิเตอร์ต่างๆของช่วงเวลาที่ทำการทดลอง**  
**และเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ**

ตาราง ซ-1 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 2 - 12 กันยายน 2559

จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความดันบรรยากาศเฉลี่ย (hPa)
S1	32.3	1008.0
S2	31.9	1009.5
S3	32.5	1008.3
S4	32.5	1008.2
S5	33.3	1008.3
S6	33.7	1009.4
S7	33.5	1008.6
S8	32.1	1008.8
S9	32.6	1009.0
S10	34.2	1009.6
S11	33.0	1007.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 2 - 12 กันยายน 2559 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ปริมาณฝน* (mm)	ความเร็วลม* (knot)
2 ก.ย. 59	68	5	7
3 ก.ย. 59	65	T	6
4 ก.ย. 59	65	0.2	7
5 ก.ย. 59	62	-	8
6 ก.ย. 59	65	T	5
7 ก.ย. 59	77	13	6
8 ก.ย. 59	72	0.2	7
9 ก.ย. 59	69	0.1	4
10 ก.ย. 59	63	-	6
11 ก.ย. 59	64	0.1	6
12 ก.ย. 59	77	5.8	4

หมายเหตุ \*ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินสุวรรณภูมิ, 2559

T คือปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร หรืออ่านค่าไม่ได้

ตาราง ข-2 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 16 - 26 กันยายน 2559

จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความดันบรรยากาศเฉลี่ย (hPa)
S1	34.0	1008.0
S2	33.3	1009.5
S3	-	-
S4	34.0	1009.5
S5	36.3	1009.5
S6	36.0	1010.0
S7	38.0	1010.8
S8	36.8	1010.5
S9	35.5	1008.3
S10	36.5	1008.5
S11	36.3	1009.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-2 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 16 - 26 กันยายน 2559 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ปริมาณฝน* (mm)	ความเร็วลม* (knot)
16 ก.ย. 59	65	-	5
17 ก.ย. 59	69	0.3	6
18 ก.ย. 59	74	1.8	5
19 ก.ย. 59	78	22.2	4
20 ก.ย. 59	83	7	1
21 ก.ย. 59	82	15.5	5
22 ก.ย. 59	76	10.3	5
23 ก.ย. 59	80	25.9	3
24 ก.ย. 59	78	1.3	4
25 ก.ย. 59	74	2.4	3
26 ก.ย. 59	76	14.4	3

หมายเหตุ \*ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินสุวรรณภูมิ, 2559

ตาราง ข-3 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 1 - 11 ตุลาคม 2559

จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความดันบรรยากาศเฉลี่ย (hPa)
S1	31.8	1009.3
S2	32.8	1010.5
S3	32.8	1009.5
S4	33.0	1010.5
S5	34.5	1010.0
S6	34.8	1011.0
S7	34.3	1011.0
S8	33.3	1010.5
S9	33.0	1010.0
S10	33.0	1009.8
S11	34.0	1009.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ซ-3 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 1 - 11 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ปริมาณฝน* (mm)	ความเร็วลม* (knot)
1 ต.ค. 59	67	0.3	4
2 ต.ค. 59	71	0.4	2
3 ต.ค. 59	79	38.5	4
4 ต.ค. 59	78	3.8	5
5 ต.ค. 59	78	7.1	3
6 ต.ค. 59	75	1.2	4
7 ต.ค. 59	69	-	6
8 ต.ค. 59	72	37.8	5
9 ต.ค. 59	76	5.2	4
10 ต.ค. 59	73	0.1	3
11 ต.ค. 59	68	-	4

หมายเหตุ \*ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินสุวรรณภูมิ, 2559

T คือปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร หรืออ่านค่าไม่ได้

ตาราง ซ-4 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 15 - 25 ตุลาคม 2559

จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความดันบรรยากาศเฉลี่ย (hPa)
S1	32.6	1013.0
S2	31.3	1014.0
S3	33.3	1014.0
S4	32.8	1012.5
S5	32.4	1013.5
S6	32.6	1014.5
S7	33.5	1012.8
S8	33.3	1013.3
S9	33.0	1012.8
S10	32.8	1013.0
S11	32.5	1012.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ซ-4 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 15 - 25 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ปริมาณฝน* (mm)	ความเร็วลม* (knot)
15 ต.ค. 59	67	-	2
16 ต.ค. 59	76	T	5
17 ต.ค. 59	73	12.2	5
18 ต.ค. 59	68	T	3
19 ต.ค. 59	71	-	4
20 ต.ค. 59	71	-	6
21 ต.ค. 59	68	-	5
22 ต.ค. 59	65	7.6	4
23 ต.ค. 59	64	-	4
24 ต.ค. 59	67	T	4
25 ต.ค. 59	75	1.6	2

หมายเหตุ \*ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินสุวรรณภูมิ, 2559

T คือปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร หรืออ่านค่าไม่ได้

ตาราง ซ-5 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 1 - 11 พฤศจิกายน 2559

จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความดันบรรยากาศเฉลี่ย (hPa)
S1	32.0	1008.5
S2	31.8	1010.5
S3	32.8	1010.5
S4	32.3	1010.5
S5	32.8	1010.0
S6	34.8	1011.5
S7	33.3	1011.0
S8	33.8	1009.0
S9	33.5	1010.0
S10	35.5	1009.5
S11	36.0	1010.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ซ-5 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 1 - 11 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ปริมาณฝน* (mm)	ความเร็วลม* (knot)
15 ต.ค. 59	73	0	4
16 ต.ค. 59	65	38	9
17 ต.ค. 59	67	1.2	4
18 ต.ค. 59	62	-	4
19 ต.ค. 59	66	-	2
20 ต.ค. 59	67	0	2
21 ต.ค. 59	70	-	3
22 ต.ค. 59	75	11.6	3
23 ต.ค. 59	78	T	5
24 ต.ค. 59	75	0.1	4
25 ต.ค. 59	68	-	5

หมายเหตุ \*ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินสุวรรณภูมิ, 2559

T คือปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร หรืออ่านค่าไม่ได้

ตาราง ซ-6 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 11 - 21 พฤศจิกายน 2559

จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความดันบรรยากาศเฉลี่ย (hPa)
S1	31.6	1008.5
S2	31.8	1010.0
S3	32.3	1008.4
S4	32.0	1008.6
S5	32.0	1008.5
S6	31.9	1006.9
S7	32.8	1008.4
S8	32.0	1008.5
S9	32.4	1008.3
S10	32.1	1008.6
S11	33.4	1009.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-6 พารามิเตอร์ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง 11 - 21 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ปริมาณฝน* (mm)	ความเร็วลม* (knot)
15 ต.ค. 59	68	-	5
16 ต.ค. 59	67	-	4
17 ต.ค. 59	68	-	6
18 ต.ค. 59	65	-	4
19 ต.ค. 59	66	0	5
20 ต.ค. 59	60	-	3
21 ต.ค. 59	62	-	5
22 ต.ค. 59	58	-	5
23 ต.ค. 59	66	27.1	5
24 ต.ค. 59	69	0	4
25 ต.ค. 59	66	0.2	3

หมายเหตุ \*ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินสุวรรณภูมิ, 2559

T คือปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร หรืออ่านค่าไม่ได้

ตาราง ข-7 ลักษณะเปลือกไม้ ค่าความเข้มแสง (Light intensity) พีเอชเปลือกไม้ (Bark pH) เส้นรอบวงต้นไม้ และความสูงของต้นไม้ (Tree Height)

จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะเปลือกไม้	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $10^{10}$ )(LUX.)	พีเอชเปลือกไม้	เส้นรอบวงต้นไม้ (cm)	ความสูงของต้นไม้ (m)
S1	ขรุขระ	1190.38	6.28	174.7	12.35
S2	เรียบ	832.63	6.34	46.5	9.66
S3	ขรุขระ	680.50	6.27	114	5.54
S4	ขรุขระ	627.38	6.27	210.1	10.72
S5	ขรุขระ	1443.88	6.27	54.3	2.49
S6	ขรุขระ	1266.25	6.24	60.8	4.04
S7	ขรุขระ	1215.75	6.27	63.2	3.06
S8	ขรุขระ	847.63	6.24	58.5	6.75
S9	ขรุขระ	1020.38	6.27	79.7	5.66
S10	เรียบ	1346.88	6.24	47.5	6.49
S11	ขรุขระ	1095.75	6.27	124.3	10.07