

ความหลากหลายของโลเคนและการติดตามตรวจสอบ
ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณ
รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ
จังหวัดลำปาง ปี พ.ศ.2552

ราทรน ณัฒม

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤศจิกายน 2552

RECEIVED	
BY <i>mm</i>	DATE 8/7/53

T352053

ความหลากหลายของไลเคนและการติดตามตรวจสอบปริมาณ
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ
อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปี พ.ศ. 2552

ร่ำพรวน กันเจิม

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤศจิกายน 2552

ความหลากหลายของไลเคนและการติดตามตรวจสอบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปี พ.ศ. 2551

ร่ำพรวน กันเจิม

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ธานี

ประธานกรรมการ

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนารักษ์ ไซพันธ์แก้ว

กรรมการ

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร จันทระ

กรรมการ

.....

อาจารย์ ดร. สุทธธรร ไชยเรืองศรี

กรรมการ

19 พฤศจิกายน 2552

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรารักษ์ ไซพันธ์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และการดูแลช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร จันทระ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐฉา ธานี และอาจารย์ ดร. สุทธาธร ไซยเรืองศรี ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ แก้ไขจนวิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบคุณ Professor Dr. Klaus Kalb และ Dr. Harrie Sipman ในการจัดจำแนกชนิดของไลเคนบางชนิด ฝ่ายสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจังหวัดลำปาง

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการไลเคนทุกคน รวมทั้งคุณชญนันท์ จิตมณี และคุณจิราภรณ์ แสนธิยะ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างไลเคนในภาคสนาม และสมาชิกห้องปฏิบัติการวิจัยเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ผลก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ขอกราบขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัวทุกคน ที่เป็นกำลังใจให้ตลอดการศึกษา

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT T 352053 บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และโครงการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ร่ำพรวน กันเจิม

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ความหลากหลายของไลเคนและการติดตามตรวจสอบปริมาณ
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ
อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปี พ.ศ. 2552

ผู้เขียน นางร่ำพรวน กันจิม

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรารักษ์ ไซพันธ์แก้ว ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร จันทระ กรรมการ

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากหลายของไลเคนและตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ในพื้นที่ศึกษาขนาด 1 x 1 ตารางกิโลเมตร จำนวน 10 พื้นที่รอบโรงไฟฟ้า ทำการสำรวจความหลากหลายของไลเคนบนต้นมะม่วง (*Mangifera indica* L.) จำนวน 10 ต้น ในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งหมด 100 ต้น โดยใช้กรอบสำรวจความถี่ขนาด 20 x 50 ตารางเซนติเมตร บันทึกชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคนแต่ละชนิด เก็บเปลือกไม้เพื่อวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง และบันทึกข้อมูลทางกายภาพอื่น ๆ ของต้นไม้ ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive sampling technique) ชนิดหลอดทำการตรวจวัดปริมาณโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี ผลการศึกษาพบไลเคน 13 วงศ์ 24 สกุล 43 ชนิด ประกอบด้วยไลเคนกลุ่มโพลิโอส จำนวน 5 สกุล 11 ชนิด และไลเคนกลุ่มครัสโตส จำนวน 19 สกุล 32 ชนิด โดยไลเคนส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในสกุล *Dirinaria*, *Pyxine*, *Chrysothrix*, *Cryptothecia*, *Arthonia*, *Lecanographa*, *Laurera* และ *Hyperphyscia* ส่วนน้อยที่พบเป็นไลเคนที่อยู่ในสกุล *Buellia*, *Ocellularia* และ *Chapsa* มีไลเคนที่ไม่สามารถจัดจำแนกสกุลได้ 1 ตัวอย่างไลเคนชนิด *Dirinaria picta* และ *Pyxine cocoes* พบในทุกพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าไลเคน

กลุ่มครัสโตสมีจำนวนชนิดมากกว่าไลเคนกลุ่มโพลิโอสในทุกพื้นที่ศึกษา บ้านกอรวพดชันี ความหลากหลายของไลเคนสูงสุดคือ 2.30 และมีจำนวนชนิดของไลเคนสูงสุดเท่ากับ 20 ชนิด ในขณะที่บ้านสบจางซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้ามีดัชนีความหลากหลายของไลเคนต่ำสุดคือ 1.67 และมีจำนวนชนิดของไลเคนต่ำสุดเท่ากับ 11 ชนิด สำหรับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ตรวจวัดในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 0.84 – 8.65 และ 0.51 – 1.72 ส่วนในพื้นดินส่วนโดยปริมาตร ตามลำดับ การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหลากหลายของไลเคนกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศในพื้นที่ศึกษา พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการศึกษาครั้งนี้ ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วงเวลาทำการตรวจวัดมีค่าต่ำ ไม่มีผลต่อความหลากหลายของไลเคนและความเป็นกรด - ด่างของเปลือกไม้ในพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าไลเคนส่วนใหญ่มีแนวโน้มเจริญอยู่บนลำต้นของต้นมะม่วงในทิศทางที่มักหลีกเลี่ยงจากทิศที่หันเข้าสู่โรงไฟฟ้า

Thesis Title Lichen Diversity and Monitoring of Sulphur Dioxide Around
Mae Moh Power Plant Area, Mae Moh District,
Lampang Province, in 2009

Author Mrs. Rumparuan Kanjoem

Degree Master of Science (Biology)

Thesis Advisory Committee

Assistant Professor Dr. Wanaruk Saipunkaew Chairperson

Assistant Professor Dr. Somporn Chantara Member

Abstract

Lichen diversity and sulphur dioxide concentration around Mae Moh power plant area, Mae Moh district, Lampang province was studied during February – July 2009. A plot size of 1x1 km² was selected in each ten study sites around Mae Moh power plant areas and lichen diversity and sulphur dioxide monitoring were investigated. A grid frame size of 20 x 50 cm² were used for registration of lichen species and their frequencies on 10 mango trees (*Mangifera indica* L.) in each plot. The total number of selected trees was 100. The tree barks were sampled for pH analysis and physical data of trees were recorded. Atmospheric sulphur dioxide was collected in each study site twice in dry and rainy seasons by using passive sampling technique. Its concentrations were determined by ion chromatography. The result shown that the total number of 13 lichens families, 24 genera, 43 species were found in all study sites. Five genera, 11 species were belonging to foliose group and 19 genera 32 species belonging to crustose group. Most lichen genera found in study sites were such as *Dirinaria*, *Pyxine*, *Chrysothrix*, *Cryptothecia*, *Arthonia*, *Lecanographa*, *Laurera* and *Hyperphyscia*, while few lichen genera found in study sites were such as *Buellia*, *Ocellularia* and *Chapsa*. The species of *Dirinaria picta*

and *Pyxine* cocoas were found in all study areas. Crustose lichens species was more abundant than foliose lichens species in every site study. The highest lichen diversity of 2.30 was found in Kor Ruak village where also had the highest species richness of 20. The lowest lichen diversity and species richness of 1.67 and 11 respectively was found in Sop Jang village which located in northeast direction of the power plant. The concentrations of sulphur dioxide, which were measured in dry and rainy seasons, were 0.84 – 8.65 ppbv and 0.51 – 1.72 ppbv, respectively. There was no significant correlation at 95 % confidence between lichen diversity and measured sulphur dioxide concentrations in the study areas. Sulphur dioxide concentrations measured during the study period shows no effect on lichen diversity and bark pH. Furthermore, lichens grow on the investigated trees were found mostly in the direction which avoid from the power plant.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉุ
อักษรย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	25
บทที่ 4 ผลการศึกษา	43
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา	61
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	69
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก แบบฟอร์มการสำรวจไถเคน	78
ภาคผนวก ข ไถเคนที่พบจากการศึกษา	80
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สถิติ	86
ภาคผนวก ง การคำนวณความเข้มข้นของ SO ₂	91
ภาคผนวก จ โครมาโตแกรม	93
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลความเข้มข้นของ SO ₂	94
ประวัติผู้เขียน	98

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 พื้นที่ศึกษาที่ทำการสำรวจไลเคนบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	30
3.2 สภาพที่เหมาะสมของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี สำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ	41
4.1 รายชื่อวงศ์ สกุลและชนิดของไลเคนที่พบจากการสำรวจในพื้นที่ศึกษา	44
4.2 ความถี่รวมของจำนวนไลเคนแต่ละชนิด ในพื้นที่ศึกษา	46
4.3 จำนวนชนิดของไลเคนกลุ่มครัสโตสและไลเคนกลุ่มโพลิโอสในแต่ละพื้นที่ศึกษา	48
4.4 ดัชนีความหลากหลาย (diversity index) ค่าความสม่ำเสมอ (evenness) และ ความหลากหลายชนิด (species richness) ของไลเคนในพื้นที่ศึกษา	51
4.5 pH โดยเฉลี่ยของเปลือกต้นมะม่วงในแต่ละพื้นที่ศึกษา	53
4.6 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ศึกษา	58
ค 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของค่า pH เปลือกไม้	86
ค 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของ SO ₂ ฤดูแล้ง	87
ค 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของ SO ₂ ฤดูฝน	88
ค 4 การทดสอบความแตกต่างของ SO ₂ ของฤดูแล้งกับฤดูฝน	89
ค 5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Correlations)	90
ง 1 การคำนวณความเข้มข้นของก๊าซ SO ₂	91
ฉ 1 ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซ SO ₂ ที่ตรวจวัดได้ในฤดูแล้ง ช่วงวันที่ 21 – 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552	94
ฉ 2 ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซ SO ₂ ที่ตรวจวัดได้ในฤดูฝน ช่วงวันที่ 5 – 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2552	96

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ไลเคนกลุ่มครัสโตส	5
2.2 ไลเคนกลุ่มโพลิโอส	5
2.3 ไลเคนกลุ่มฟรุติโคส	5
2.4 ภาพตัดขวางทลัสต์ไลเคน	6
2.5-ก โครงสร้างภายนอก isidia	8
2.5-ข โครงสร้างภายใน isidia	8
2.6-ก โครงสร้างภายนอก soredia	8
2.6-ข โครงสร้างภายใน soredia)	8
2.7-ก ผลแบบ lecanorine	8
2.7-ข ผลแบบ lecideine	8
2.7-ค โครงสร้างภายในของผลแบบ lecanorine และ lecideine	8
2.8 lirellate apothecia	9
2.9-ก perithecia	9
2.9-ข โครงสร้างภายในของผลแบบ perithecia	9
3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	29
3.2 อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือนของจังหวัดลำปาง ในช่วงเดือน มกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552	32
3.3 ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย ช่วงเดือนมกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552	33
3.4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงเดือนมกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552	33
3.5 ทิศทางลมที่พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง ช่วงมกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552	34
3.6 ทิศทางลมที่พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงกรกฎาคม 2552	35
3.7 การวางกรอบสำรวจ (grid frame) บนลำต้นของต้นมะม่วง	37
3.8 การวางหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.1 จำนวนชนิดของไลเคนกลุ่มครัสโตสและไลเคนกลุ่มโพลิโอส ในแต่ละพื้นที่ศึกษา	49
4.2 การจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษา (Cluster Analysis)	50
4.3 ชนิดไลเคนที่พบในกลุ่มพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)	50
4.4 ค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกต้นมะม่วงในแต่ละพื้นที่ศึกษา	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH เปลือกไม้กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษา	53
4.6 จำนวนทิศทางบนต้นมะม่วงที่พบไลเคนมากที่สุด	54
4.7 ทิศทางบนต้นมะม่วงที่พบไลเคนมากที่สุด ในแต่ละพื้นที่ศึกษา	55
4.8 กราฟมาตรฐานของซัลเฟตไอออน (SO_4)	56
4.9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน	57
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO_2 ฤดูแล้งกับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษา	59
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO_2 ฤดูฝนกับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษา	59
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO_2 ฤดูแล้งกับค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกไม้ในพื้นที่ศึกษา	60
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO_2 ฤดูฝนกับค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกไม้ในพื้นที่ศึกษา	60
ข 1 ไลเคนกลุ่มโพลิโอส	80
ข 2 ไลเคนกลุ่มครัสโตส	82
จ 1 โครมาโดแกรมของสารละลายซัลเฟตมาตรฐาน ความเข้มข้น 1.0 ppm	93
จ 2 โครมาโดแกรมของสารตัวอย่าง ที่ทำการตรวจวัดเป็นเวลา 7 วัน	93

อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
SO ₂	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
NO _x	ไนโตรเจนออกไซด์
NO ₂	ไนโตรเจนไดออกไซด์
CO ₂	คาร์บอนไดออกไซด์
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์
PM ₁₀	ฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่าน ศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร
K	เคลวิน
kPa	กิโลปาสกาล
TEA	ไตรเอทาโนลามีน
DI	น้ำปราศจากไอออน
N	ทิศเหนือ
NE	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
E	ทิศตะวันออก
SE	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
S	ทิศใต้
SW	ทิศตะวันตกเฉียงใต้
W	ทิศตะวันตก
NW	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
PE	โพลีเอทรีลีน
MPa	เมกะปาสกาล
SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
pH	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
sp.	species (มีหนึ่งชนิด)

spp.	species (มีหลายชนิด)
cf.	confer (คล้าย)
aff.	affinis (คล้าย)
<i>et al.</i>	et alii (และคณะ)
m	เมตร
m ²	ตารางเมตร
cm	เซนติเมตร
mm	มิลลิเมตร
s	วินาที
mol	โมล
μm	ไมโครเมตร
μl	ไมโครลิตร
μg	ไมโครกรัม
mM	มิลลิโมล
%	เปอร์เซ็นต์
°C	องศาเซลเซียส
mol / cm ² / s ¹	โมล/ตารางเซนติเมตร/วินาที
mol / cm ³	โมล/ลูกบาศก์เซนติเมตร
μg/m ³	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
m ² /s	ตารางเมตร/วินาที
ml/min	มิลลิลิตร/นาที
mg/l	มิลลิกรัม/ลิตร
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ppb	ส่วนในพันล้านส่วน
ppbv	ส่วนในพันล้านส่วน โดยปริมาตร

บทที่ 1

บทนำ

โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีกำลังผลิตปัจจุบันจำนวน 2,400 เมกะวัตต์ จ่ายไฟฟ้าสำหรับภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงปีละประมาณ 16 ล้านตัน (หน่วยงานสารสนเทศ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2552) ซึ่งถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลอย่างหนึ่ง ที่มีส่วนประกอบของสารประกอบคาร์บอน และสารประกอบอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำในการเผาไหม้ถ่านหินจะมีการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฝุ่นละออง และควัน (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2551) โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านหินนี้ เป็นมลพิษอากาศที่เป็นส่วนประกอบหลักของฝนกรด ซึ่งเป็นอันตรายที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ และเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ (Yang *et al.*, 1997) ในปีพ.ศ. 2535 เกิดภาวะมลพิษทางอากาศในระดับที่รุนแรง อันเนื่องมาจากการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ สาเหตุเนื่องจากเกิดความกดอากาศสูงจากประเทศจีนแผ่ปกคลุมประเทศไทยและสภาพอากาศปิด ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สะสมตัวอยู่ในระดับต่ำ และกระจายไปยังพื้นที่ชุมชนใกล้เคียงบริเวณหมู่บ้านสบป่าด บ้านสบเตี๊ญ และบ้านแม่จาง ทำให้ประชาชนเจ็บป่วย พืชและสัตว์เลี้ยงได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก และปี พ.ศ. 2541 ได้เกิดเหตุการณ์ซ้ำรอยขึ้นอีกครั้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จึงมีมาตรการในการดูแลและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยมีการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นที่โรงไฟฟ้าเพื่อกรองฝุ่นจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ ก่อนที่จะระบายอากาศทางปล่องควัน มีระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และติดตั้งจุดตรวจวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไว้ตามหมู่บ้านต่างๆ รวม 12 จุด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2551) แม้ว่าทางโรงไฟฟ้าจะมีการควบคุมด้านมลพิษทางอากาศอย่างเคร่งครัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ มีสถานีตรวจอากาศเพื่อตรวจวัดค่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เพื่อบันทึกข้อมูลคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ อ. แม่เมาะ เป็นประจำทุกเดือน (หน่วยงานสารสนเทศ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2552) เพื่อป้องกันผลกระทบจากมลพิษอากาศ

ที่มีต่อชุมชนโดยรอบ อย่างไรก็ตามวิธีการวัดระดับของสารมลพิษโดยใช้เครื่องมือตรวจสอบทำให้ทราบค่าปริมาณของสารมลพิษที่อยู่ในอากาศที่ชัดเจน แต่ไม่สามารถบ่งบอกถึงผลกระทบจากสารมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศได้ รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ส่วนใหญ่มีวิธีการที่ซับซ้อนและมีราคาแพง อาจไม่เหมาะสมกับชุมชนทั่วไปที่ต้องการทราบถึงคุณภาพอากาศในพื้นที่ของตน ในขณะที่การใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Bioindicator) ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศนั้น สามารถตรวจสอบผลกระทบจากมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศได้โดยตรง ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่ซับซ้อนและใช้งบประมาณน้อยกว่า (ปาลี, 2545)

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ (กันตริย์ และกวินาถ, 2550) มีความไวต่อมลพิษทางอากาศ เช่น ออกไซด์ของซัลเฟอร์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ฟลูออไรด์ โลหะหนัก เป็นต้น อีกทั้งไม่ทนทานต่อมลพิษทางอากาศ จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศอย่างแพร่หลาย (Pomphueak, 2005) รวมทั้งการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในพื้นที่เขตร้อนเช่นภาคเหนือของประเทศไทย (Saipunkaew *et al.*, 2007) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ราคาไม่แพง และสามารถทำนายผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ ไลเคนมีอัตราการเติบโตที่ช้า มีชีวิตยาวนานจึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ของมลพิษทางอากาศ หรือสามารถใช้บ่งบอกถึงสถานะของสิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งยังมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อระดับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศด้วย (Loppi *et al.*, 2004) โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินหรือการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น เป็นมลพิษหลักที่มีผลกระทบต่อไลเคน (ปาลี, 2545) และส่งผลกระทบต่อกระจายตัวของไลเคนในพื้นที่เมืองและอุตสาหกรรม (Hawksworth and Rose, 1976)

สำหรับการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมนั้น ควรมีการตรวจสอบทั้งทางเคมีกายภาพและทางชีวภาพควบคู่กันไป เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ จะทำให้ได้ผลจากการติดตามตรวจสอบที่สมบูรณ์ มีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น (วนารักษ์, 2551) การตรวจสอบมลพิษทางอากาศของพื้นที่นั้น ไม่สามารถใช้ความหลากหลายของไลเคนเพียงอย่างเดียวได้ ต้องอาศัยของมูลการตรวจสอบมลพิษทางอากาศในพื้นที่ร่วมด้วย (Saipunkaew *et al.*, 2005) ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีการตรวจสอบทางด้านชีวภาพโดยการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ และมีการตรวจสอบทางด้านเคมีกายภาพโดยการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เพื่อบ่งบอกข้อมูลในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณควบคู่กันไป อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจนถึงชนิดและจำนวนของไลเคนและความสัมพันธ์กับปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่บริเวณโรงไฟฟ้าแม่เมาะ รวมทั้งชนิดของไลเคนที่ทนทานและไม่ทนทานต่อมลพิษทางอากาศในบริเวณดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษา

โลเคนในภาคเหนือของประเทศไทยต่อไป อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษอากาศ และสามารถใช้โลเคนเป็นสัญญาณเตือนล่วงหน้าก่อนที่มลพิษอากาศจะมีผลกระทบต่อประชาชนในชุมชน

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อสำรวจความหลากหลายของโลเคนบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของโลเคนกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และผลกระทบของมลพิษจากโรงไฟฟ้าที่มีต่อความหลากหลายของโลเคนในบริเวณดังกล่าว

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

1. นิเวศวิทยาของไลเคน

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัย (Mutualism) ระหว่างรา (mycobiont) และสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิด (Photosynthetic symbiont or photobiont) ในโครงสร้างเฉพาะที่เรียกว่า ทัลลัส (thallus) โดยราทำหน้าที่ช่วยปกป้องสาหร่ายจากความแห้งแล้ง ส่วนสาหร่ายทำหน้าที่สังเคราะห์แสงสร้างอาหาร ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงอาจจะเป็นสาหร่ายสีเขียวหรือไซยาโนแบคทีเรีย โดยในไลเคนส่วนใหญ่จะพบสาหร่ายสีเขียว มีไลเคนส่วนน้อยที่พบไซยาโนแบคทีเรีย (วนารักษ์ และคณะ, 2550; Gilbert, 2000; Nash III, 1996)

ไลเคนเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะกับการเติบโตของราและสาหร่าย ทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งสองต้องมาสัมพันธ์กันเพื่อความอยู่รอด ราในไลเคนไม่สามารถอยู่ได้อย่างอิสระในธรรมชาติ โดยจะอยู่ร่วมกับสาหร่ายในไลเคนเท่านั้น แต่สาหร่ายส่วนมากอยู่ได้อย่างอิสระ ยกเว้นสาหร่ายสกุล *Trebouxia* ที่พบเฉพาะในไลเคนเท่านั้น ราที่เป็นองค์ประกอบของไลเคน จัดอยู่ในกลุ่ม Ascomycetes ประมาณ 98 % และอยู่ในกลุ่ม Basidiomycetes และ Deuteromycotina เพียงเล็กน้อย (กัมหารีย์ และกวินนาถ, 2550) ซึ่งสามารถทำการเพาะเลี้ยงราในไลเคนในห้องปฏิบัติการได้ แต่มีอัตราการเติบโตที่ช้า มีการสร้างโครงสร้างเพียงเล็กน้อย และไม่สร้าง fruiting body หรือไม่สร้างเป็นไลเคนขึ้นมา (Gilbert, 2000)

ส่วน Photosynthetic symbiont ที่เป็นองค์ประกอบของไลเคนนั้น ส่วนมากจะเป็นสาหร่ายสีเขียว ได้แก่ สกุล *Coccomyxa*, *Pseudotreboxia*, *Stichococcus*, *Trebouxia* และ *Trentepohlia* แต่ก็มีไลเคนในบางสกุลที่พบไซยาโนแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไซยาโนแบคทีเรียในสกุล *Calothrix*, *Gloeocapsa*, *Nostoc* และ *Scytonema* (Gilbert, 2000) มีไลเคนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ประกอบด้วยทั้งสาหร่ายสีเขียวและไซยาโนแบคทีเรีย เรียกโครงสร้างที่มีไซยาโนแบคทีเรียว่า เซฟาโลเดีย (cephalodia) (Hawkworth and Rose, 1976)

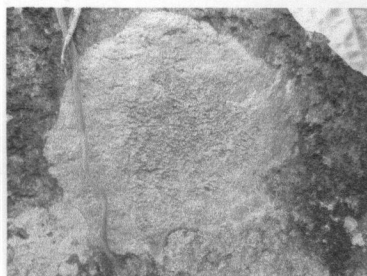
ไลเคนเป็นส่วนหนึ่งของผู้ผลิตในโลก มีสีสรรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสีส้ม เหลือง แดง เขียว เทา และดำ มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 มิลลิเมตร จนถึงยาวมากกว่า 2 เมตร ไลเคนมีการกระจายตัวกว้างจะพบได้ในระบบนิเวศทุก โดยปกคลุมพื้นผิวของโลกประมาณ 8 % (Purvis et al., 2007) ตั้งแต่

เขตร้อนถึงเขตขั้วโลก โดยเกาะอาศัยบนต้นไม้หรือพืชอื่น เจริญได้บนดินและก้อนหิน ไลเคนบางชนิดในเขตร้อนและเขตกึ่งเขตร้อนสามารถเติบโตอย่างรวดเร็วบนผิวของใบไม้ ไลเคนส่วนมากจะเกิดขึ้นบนบก มีเพียงเล็กน้อยที่เกิดบริเวณแหล่งน้ำจืดและเกิดในบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลงตามชายฝั่งทะเล (Nash III, 1996) ไลเคนในโลกนี้มีประมาณ 25,000 ชนิด ประเทศไทยมีรายงานการพบแล้ว 1,100 ชนิด ซึ่งความหลากหลายของไลเคนเกิดจากราเป็นสำคัญ (กัณธรีย์ และกวินนาถ, 2550)

1.1 รูปแบบการเติบโตของไลเคน (growth form)

ไลเคนสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ (วนารักษ์, 2551; Gilbert, 2000; Budel and Scheidegger, 1996)

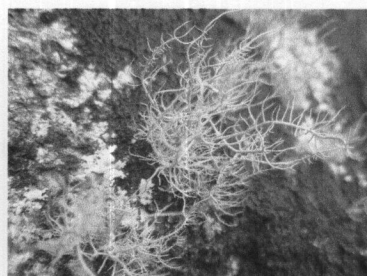
1. ไลเคนพวกผื่นผงหรือครัสโตส (crustose) มีลักษณะเป็นแผ่นแนบติดเป็นเนื้อเดียวกับวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ ไม่สามารถแกะออกจากวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ได้ (ภาพ 2.1)
2. ไลเคนพวกแผ่นใบหรือโฟลิโอส (foliose) มีลักษณะคล้ายใบไม้ สามารถแกะไลเคนออกจากวัตถุที่เกาะอยู่ได้ บางชนิดมีโครงสร้างที่เรียกว่าไรซีน (rhizine) ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัตถุต่างๆ (ภาพ 2.2)
3. ไลเคนพวกเส้นสายหรือฟรุติโคส (fruticose) มีลักษณะคล้ายหนวดเครา หรือเป็นพุ่มเล็กๆ ห้อยลงมาจากวัตถุที่ยึดเกาะ มักพบในบริเวณที่มีความชื้นสูง (ภาพ 2.3)



ภาพ 2.1 ไลเคนกลุ่มครัสโตส



ภาพ 2.2 ไลเคนกลุ่มโฟลิโอส



ภาพ 2.3 ไลเคนกลุ่มฟรุติโคส

1.2 โครงสร้างภายในทลัสของไลเคน

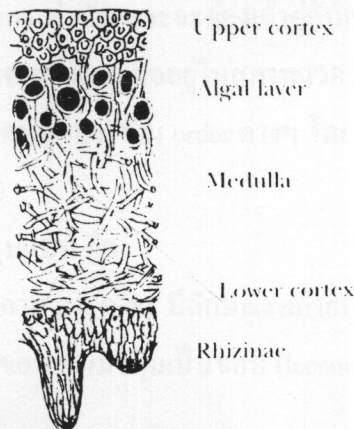
ทลัสไลเคนแบ่งเป็นชั้นชัดเจนเมื่อตัดตามขวาง สามารถแบ่งลำดับชั้นจากบนไปล่างดังนี้ (กัณธรีย์ และกวินนาถ, 2550; วนารักษ์, 2551; Gilbert, 2000) (ภาพ 2.4)

1. upper cortex เป็นชั้นที่มีเส้นใยสาขากันอยู่หนาแน่น ทำหน้าที่ป้องกันไลเคน บางครั้งอาจมีรูเพื่อใช้แลกเปลี่ยนก๊าซได้ง่ายขึ้น
2. algal layer ชั้นนี้มีเซลล์ของสาหร่ายอยู่ปะปนกับเส้นใยของราซึ่งพันกันอยู่ โดยตั้งอยู่

ในบริเวณที่สามารถรับแสงได้เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์แสง ชั้นนี้มีปริมาณน้อยกว่า 10 % ของทลลัส

3. medulla เป็นชั้นที่เส้นใยสาขากันอยู่อย่างหลวมๆ เป็นแหล่งสำหรับเก็บสะสมน้ำและคาร์โบไฮเดรตที่สร้างจาก photobionts โดยไซยาโนแบคทีเรียจะสร้าง soluble glucose และสาหร่ายสีเขียวจะสร้าง polyols และเก็บ sugar alcohols ซึ่งช่วยป้องกันไลเคนไม่ให้เป็นน้ำแข็ง (antifreeze) ในสภาพอากาศหนาวเย็น และมีการสะสมสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) ของไลเคน ทำให้มีสีต่างๆ แต่ส่วนมากพบสีขาว สีเหลือง หรือสีส้ม สำหรับไลเคนกลุ่มครัสโตสชั้นนี้จะแนบติดกับพื้นผิวที่ยึดเกาะ

4. lower cortex เป็นชั้นที่มีเส้นใยสาขากันอยู่อย่างหนาแน่น ในไลเคนบางชนิดชั้นนี้เป็นชั้นที่เกิดโครงสร้างคล้ายรากที่เรียกว่า ไรซีน (rhizine) เพื่อยึดเกาะกับวัตถุ



ภาพ 2.4 ภาพตัดขวางทลลัสไลเคน (Gilbert, 2000)

1.3 การสืบพันธุ์ของไลเคน

ไลเคนสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่อาศัยเพศ และแบบอาศัยเพศ ดังนี้

1.3.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction)

ไลเคนจะสร้างโครงสร้างที่มีทั้งราและสาหร่ายอยู่ด้วยกัน เมื่อโครงสร้างนี้หลุดออกจากไลเคนต้นแม่ และตกลงบนบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญ ก็จะงอกเป็นทลลัสใหม่ต่อไป โครงสร้างในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ มี 2 ลักษณะ (วนารักษ์, 2551; Gilbert, 2000; Purvis, 2000) ได้แก่

1. isidia เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแท่งเล็กๆ คล้ายนิ้วมืออยู่บนพื้นผิวทลลัส ไอซิดียอาจมีรูปร่างหลายแบบ เช่น แบบแท่ง ไม้กระบอง ชีการ์ บางชนิดแตกกิ่งก้านคล้ายปะการัง

เป็นสะเก็ดหรือเป็นก้อนเล็กๆ ซึ่งสามารถหักได้ง่ายเมื่อมีลมแรง น้ำฝน หรือมีแมลงมาสัมผัส (ภาพ 2.5 ก-ข)

2. *soredia* เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเม็ดผงคล้ายผงแป้งอยู่บนผิวหรือขอบของทัลลัส ซึ่งจะมีความทนทาน ชอริเดียเกิดจากชั้นสาหร่ายของทัลลัสซึ่งเปิดออกโดยการแตกหรือฉีกขาดของชั้น upper cortex ส่วนใหญ่โครงสร้างนี้จะกระจายไปโดยหยดน้ำฝนหรือโดยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง หรือโดยลม (ภาพ 2.6 ก-ข)

1.3.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction)

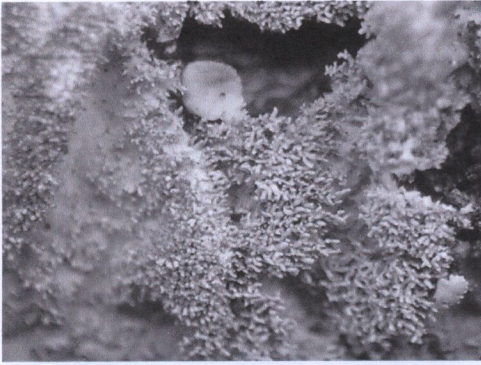
เป็นการสืบพันธุ์ในส่วนของราที่อยู่ในไลเคน ราจะสร้างสปอร์ขึ้นมาซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกันไป สปอร์จะอยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่า “ผล” (fruiting body / *ascomata*) ซึ่งจะมีรูปร่างและสีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของไลเคน เมื่อสปอร์ที่อยู่ในผลแก่จัดจะติดตัวออกจากไลเคนต้นแม่ ผลจะปล่อยสปอร์ออกมาได้ทุกเวลา โดยปล่อยคิที่สุกในฤดูหนาว ฤดูฝนและฤดูแล้ง ตามลำดับ แต่ระยะทางไปได้เพียงไม่กี่มิลลิเมตรเท่านั้น และจะต้องเข้ากับสาหร่ายที่เหมาะสมเพื่อเจริญเป็นไลเคนทัลลัสใหม่ ไลเคนส่วนใหญ่จะสร้างผลเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและมีมลภาวะต่ำ โครงสร้างของผลจะขึ้นอยู่กับหมวดหมู่ของราใน order ต่างๆ โดยทั่วไป มี 2 รูปแบบ คือ (กัมพริย์ และกวินนาถ, 2550; Gilbert, 2000)

1.3.2.1 *apothecia* มี 2 รูปแบบ คือ

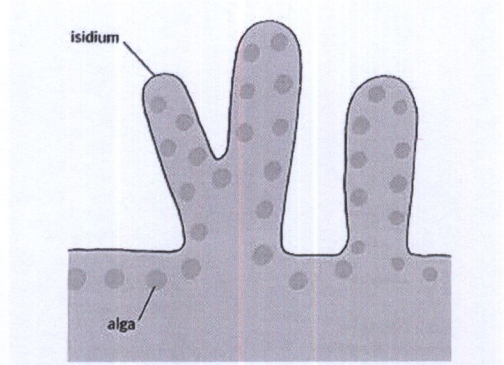
1.1 *disc-like apothecia* (ภาพ 2.7 ก-ค) มีลักษณะคล้ายจานหรือถ้วย แยกออกได้ 2 แบบ คือ คล้ายจานมีขอบ โดยมีสาหร่ายขยายขึ้นมาหุ้มเป็นขอบ (*lecanorine*) และคล้ายจานไม่มีขอบซึ่งไม่มีสาหร่ายที่ขอบจาน (*lecidine*)

1.2 *lirellate apothecia* (ภาพ 2.8) มีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนานประกบกัน คล้ายริมฝีปากมีการเรียงตัวกันหลายแบบ เช่น คล้ายอักษรจีนโบราณ คล้ายรูปดาว

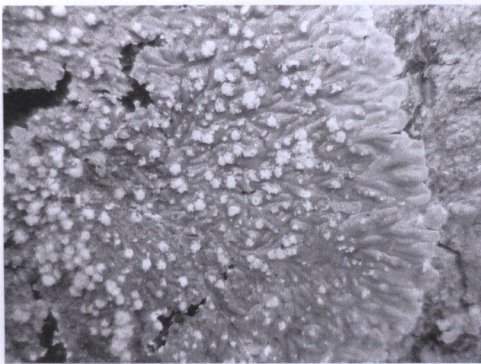
1.3.2.2 *perithecia* (ภาพ 2.9 ก-ข) ลักษณะภายนอกคล้ายเม็ดดุ่มขนาดเล็ก มีหลายสี ฝักตัวหรือโผล่เหนือทัลลัส โดยอยู่แบบเดี่ยวหรือแบบกลุ่ม ลักษณะภายในคล้ายรูปคนโท มีช่องเปิดที่ส่วนปลาย (*ostiole*) สำหรับปล่อยสปอร์ ไลเคนพวกนี้เรียกว่า *pyrenocarps*



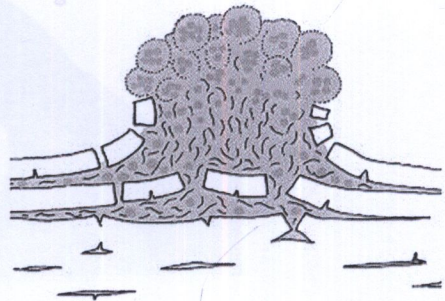
ภาพ 2.5-ก โครงสร้างภายนอก isidia



ภาพ 2.5-ข โครงสร้างภายใน isidia (Purvis, 2000)



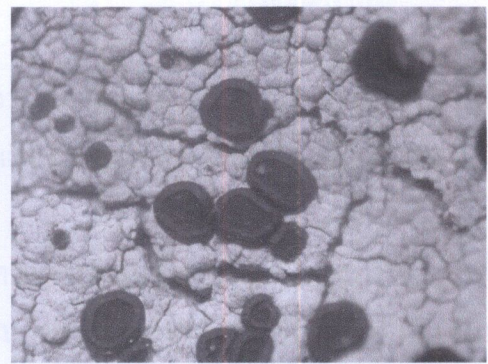
ภาพ 2.6-ก โครงสร้างภายนอก soredia



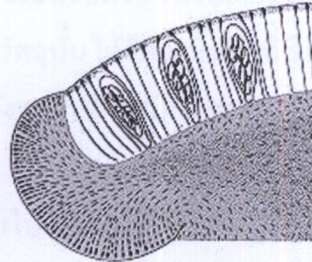
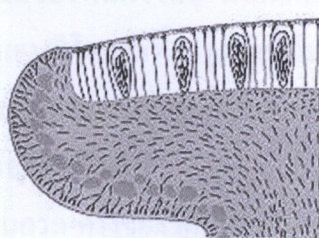
ภาพ 2.6-ข โครงสร้างภายใน soredia (Purvis, 2000)



ภาพ 2.7-ก ผลแบบ lecanorine



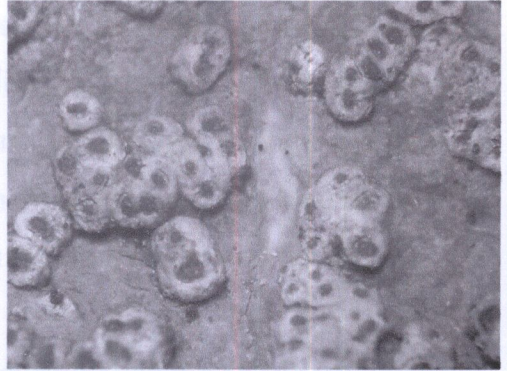
ภาพ 2.7-ข ผลแบบ lecideine



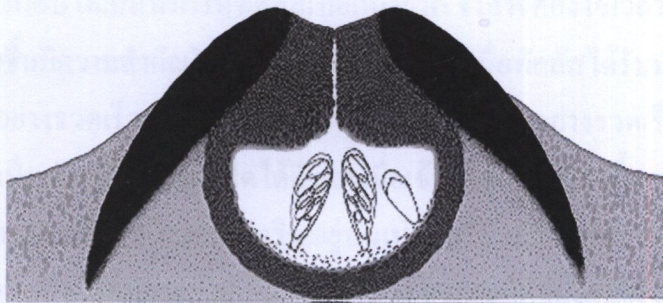
ภาพ 2.7-ค โครงสร้างภายในของผลแบบ lecanorine และ lecideine (Purvis, 2000)



ภาพ 2.8 lirellate apothecia



ภาพ 2.9-ก perithecia



ภาพ 2.9-ข โครงสร้างภายในของผลแบบ perithecia (Purvis, 2000)

1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการเติบโตช้า มีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 0.2 – 20 มิลลิเมตร/ปี (กัณทริย์ และกวินนาถ, 2550) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไลเคนได้แก่ (วนารักษ์, 2551)

1.4.1 วัสดุที่ไลเคนยึดเกาะ ได้แก่

1. ความทนทานของวัสดุ พื้นผิวของวัสดุที่มีความทนทานจะพบไลเคนมากกว่าพื้นผิวที่หลุดลอกง่ายหรือมีอายุสั้น เนื่องจากไลเคนมีโอกาสดิบโตบนวัสดุที่ทนทานได้นานกว่า เช่น พบไลเคนบนบริเวณกิ่งไม้มากกว่าบนใบไม้ในป่าไม่ผลัดใบ

2. ลักษณะของพื้นผิววัสดุ พื้นผิวที่ขรุขระหรือมีร่อง มีรอยแตกจะทำให้โครงสร้างในการสืบพันธุ์ของไลเคนมีโอกาที่จะถูกกักไว้บนวัสดุนั้นได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ เช่น ตามรอยแตกของเปลือกไม้จะพบไลเคนเจริญอยู่ ซึ่งรอยแตกดังกล่าวมักจะมีความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่น ทำให้เหมาะสมกับการเจริญของไลเคน

3. ความเป็นกรด-ด่างของวัสดุ ไลเคนส่วนใหญ่เจริญได้ดีบนวัสดุที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป อย่างไรก็ตามไลเคนบางชนิดสามารถเจริญบนวัสดุที่มีคุณสมบัติความเป็น

กรคออ่อนๆ เช่น บนเปลือกต้นสน ในขณะที่บางชนิดจะเจริญบนวัตถุที่มีคุณสมบัติเป็นค้าง เช่น ตามกำแพงคอนกรีต ต้นไม้ที่มีความเป็นกรด-ด่างของเปลือกต่างกันอาจพบไลเคนต่างชนิดเจริญอยู่

4. ปริมาณของสารอาหารในวัตถุ บนลำต้นของต้นไม้ที่มีน้ำจากเรือนยอด กิ่ง ใบ ไหลผ่าน (stem flow) เปลือกไม้บริเวณนี้จะมีสารอาหารสูงเหมาะกับการเจริญของไลเคน จากการศึกษาในต่างประเทศพบว่าต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ใกล้ถนนจะมีการสะสมสารอาหารจากฝุ่นบนเปลือกไม้สูง

1.4.2 ปริมาณน้ำหรือความชื้น

ไลเคนไม่มีโครงสร้างที่ใช้ในการดูดน้ำ หรือกักเก็บน้ำ น้ำจะแพร่เข้าสู่ทลัสอย่างรวดเร็วจนทลัสที่แห้งอาจอมน้ำได้เพียง 1-2 นาที และส่วนมากจะไม่เกิน 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง ครัสโตสบางชนิดมีสารประกอบไลเคนที่ทำให้ทลัสเปื่อยน้ำยาก จึงอาจต้องใช้เวลามากมายชั่วโมงที่ทำให้ทลัสอมน้ำ ความชื้นมีความสำคัญในการเติบโตของไลเคน เมื่อทลัสได้รับน้ำ เมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ไลเคนเติบโต และสิ้นสุดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันเมื่อน้ำหมด ดังนั้นในฤดูฝนจะเป็นช่วงที่ไลเคนเติบโตได้ดี และเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งความชื้นลดลง อัตราการเติบโตของไลเคนจะลดลงและพักตัว ไลเคนที่เจริญอยู่บนเปลือกไม้จะได้รับความชื้นจากภายในต้นไม้ และความชื้นที่มาจากปัจจัยภายนอก เช่น น้ำฝน น้ำค้าง คุณสมบัติของเปลือกไม้ที่แตกต่างกัน เช่น ความหนาแน่น ความพรุน ลักษณะผิวของเปลือกไม้ ทำให้เปลือกไม้มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำต่างกัน

1.4.3 แสง

เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในไลเคน จากการศึกษาของหน่วยวิจัยไลเคนของมหาวิทยาลัยรามคำแหง พบว่าแสงในช่วงเช้ามีความสำคัญต่อการเติบโตของไลเคน เนื่องจากทลัสได้ดูดซับน้ำจากบรรยากาศสะสมไว้ตลอดคืน ทำให้มีวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้าไลเคนได้รับแสงที่เหมาะสม จึงทำการสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งจะสิ้นสุดลงเมื่อน้ำหมดไปจากทลัส หลังจากนั้นไลเคนจะเข้าสู่การพักตัว และจากการศึกษาบริเวณภาคเหนือตอนบนพบว่า จะพบไลเคนมากบนลำต้นไม้ทางทิศตะวันออก ทิศเหนือ แต่พบน้อยในทิศตะวันตกและทิศใต้ซึ่งคาดว่า ในทิศตะวันตก ทิศใต้ ได้รับแสงในปริมาณมากในช่วงบ่าย ทำให้ความชื้นบนวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ต่ำ อย่างไรก็ตามต้องสังเกตสภาพทั่วไปด้วย ตามป่าโปร่งจะพบไลเคนเจริญอยู่บนลำต้นของต้นไม้ ในขณะที่ป่าทึบที่มีแสงสว่างส่องลงมาเพียงเล็กน้อย อาจมีเพียงไลเคนกลุ่มที่ชอบที่ร่มเจริญอยู่บนลำต้นด้านล่าง ส่วนด้านบนที่มีแสงเพียงพอก็จะพบไลเคนหลากหลายชนิดมากกว่า ในป่าทึบทิศทางของแสงที่ผ่านเข้ามาที่ลำต้นจะไม่สม่ำเสมอ โดยปกติมักจะพบไลเคนในด้านที่มีแสง

1.4.4 อุณหภูมิ

ในห้องปฏิบัติการไลเคนที่เปียกน้ำสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 35 – 46 องศาเซลเซียส บางชนิดทนทานได้มากกว่า 70 องศาเซลเซียสเมื่อทาลัสแท่ง อุณหภูมิที่สูงมากเกินไปมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในไลเคน เช่น ลดอัตราการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีผลเพิ่มการสูญเสียน้ำและเพิ่มการหายใจของไลเคน ส่งผลต่อการเติบโต

1.5 ประโยชน์ของไลเคน

มีการใช้ประโยชน์ไลเคนในด้านต่างๆ มาตั้งแต่ยุคโบราณ ซึ่งจำแนกได้ดังนี้ (กัมทรีย์ และกวินนาถ, 2550)

1. ด้านอาหาร ไลเคนไม่มีแป้งและเซลลูโลสที่แท้จริง แต่มีสารพวกไลเคนิน (lichenin) ที่ผนังเซลล์ของราซึ่งนำมาใช้เป็นอาหารได้ ในยุโรปใช้ไลเคนป่นเป็นผงผสมแป้งทำขนมปังกรอบสำหรับนักเดินเรือ เรียกว่า “sea biscuit” ทำให้ขนมปังกรอบอยู่ทนทานไม่ถูกแมลงรบกวน ส่วนในฟินแลนด์นำไลเคน *Cladonia* sp. หรือ Reindeer moss ผสมกับแป้งไรน์ (Rye) ใช้ในการทำขนมปัง ชาวอิสราเอลใช้ *Lecanora esculenta* ประกอบอาหารตามหลักศาสนา และเรียกว่าเป็นขนมปังจากสวรรค์ เป็นต้น

2. สรรพคุณในด้านสมุนไพรและยา ชาวอียิปต์โบราณใช้ไลเคนเป็นส่วนประกอบของยา และสมุนไพร มีการค้นพบโลที่บรรจุเมล็ดและส่วนของพืชต่างๆ รวมทั้งไลเคน *Evernia furfuracea* ที่มีอายุประมาณ 1,700 – 1,800 ปีก่อนคริสตกาล ในคริสตวรรษที่ 15 ยุโรปนำไลเคนหลายชนิดที่ใช้รักษาโรค ไลเคนที่มีรสขม เช่น *Pertusaria amara* ถูกใช้แทนควินิน ไลเคนชนิดนี้เคยพบที่อุทยานแห่งชาติจุนตาล จังหวัดลำปาง ในประเทศไทยมีการใช้ไลเคน “ฟอยลม” (*Usnea* spp.) เป็นยาสมุนไพรโบราณเช่นกัน

3. การหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ มีการนำไลเคน *Lobaria pulmonaria* ที่เติบโตบนต้นสน มาหมักทำเบียร์แทนใบฮอปในไซบีเรีย ในคริสตวรรษที่ 19 มีการใช้ไลเคนในการทำเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ในสวีเดน ใช้ไลเคนหลายชนิด ได้แก่ *Cladonia rangiferina*, *Cetraria islandica*, *Alectoria jubata*, *Physia ciliaris*, *Ramalina fraxinea* และ *Usnea florida* เป็นต้น มาผ่านกรรมวิธีต่างๆ เพื่อให้ไลเคนินเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสแล้วจึงหมักให้เป็นแอลกอฮอล์

4. ไลเคนเป็นสีย้อม ไลเคนให้สีต่างๆ จึงถูกใช้เป็นสีย้อมมานานตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณ ไลเคนประมาณ 20 ชนิด ให้สีที่เรียกว่า “ออซิลล์” (orchil) เป็นโทนสีม่วง โดยประเทศฝรั่งเศสและสเปนแลนด์เป็นประเทศที่เคยผลิตสีเหล่านี้จากไลเคนในเชิงอุตสาหกรรม สีจากไลเคนใช้ย้อมเส้นใยจากสัตว์ เช่น ขนสัตว์และไหมได้ดี แต่ย้อมเส้นใยจากพืช เช่น ฝ้ายไม่ได้ นอกจากนี้ยังมีไลเคนอีก

หลายชนิดที่ให้อาศัยอยู่ต่าง ๆ เช่น สีแดง สีนํ้าตาลแดง สีเหลืองนํ้าตาล สีนํ้าตาล สีเหลือง

5. ไลเคนในนํ้าหอม ในฝรั่งเศสใช้ไลเคน *Evernia prunastri* ซึ่งเรียกว่า oak moss ผสมในนํ้าหอม ให้กลิ่นชื่นใจและติดทนนาน

6. ไลเคนทำความสะอาดผืน ในศตวรรษที่ 17 มีการใช้ผงจากไลเคน *Ramalina calciaris* ในการทำให้ผืนสะอาดปราศจากรังแค

7. การฟอกย้อม คุณสมบัติในการเป็นแอสตรินเจนของ *Cetraria islandica* และ *Lobaria pulmonaria* ทำให้ถูกนำมาใช้ในการฟอกหนัง

8. พืชของไลเคน ไลเคนผลิตกรดอินทรีย์หลายชนิดซึ่งอาจมีรสเผ็ดแต่ไลเคนที่มีพืชมีเพียง 2 ชนิด คือ *Letharia vulpina* และ *Cetraria pinastrii* ซึ่งชาวยุโรปเหนือใช้เพื่อสุนัขจิ้งจอก

9. การใช้ไลเคนบอกอายุหิน และโบราณวัตถุ เมื่อผิวหน้าวัตถุเริ่มเปิดหรือสัมผัสอากาศ ไลเคนจะเข้ามาเกาะอาศัยและเติบโต มีขนาดเพิ่มขึ้นตามอายุ การติดตามตรวจวัดอัตราการเติบโต ทำให้สามารถประเมินอายุของวัตถุนั้นได้ วิธีนี้เรียกว่า “ไลเคนโนเมตรี”(Lichenometry) ใช้ประเมินอายุหินและโบราณสถาน ในกรณีของทับหลังนารายณ์บรรทมสินธุ์ที่ปราสาทหินพนมรุ้ง ก็ได้ใช้ไลเคนเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลประกอบในการทดสอบ

10. การใช้ไลเคนเป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศ ไลเคนอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ จึงถูกใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศอย่างแพร่หลาย

1.6 ผลกระทบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อไลเคน

ในทศวรรษที่ผ่านมาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นมลพิษหลักที่เป็นอันตรายและมีผลต่อการกระจายตัวของไลเคนในพื้นที่เมืองและอุตสาหกรรม (Hawksworth and Rose, 1976) โดยมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะการเผาไหม้จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมลพิษนี้จะเคลื่อนที่ไปได้เป็นระยะทางที่ไกล ตามรูปแบบของลม

SO_2 เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ง่าย โดยสามารถรวมตัวกับน้ำฝนในบรรยากาศ หรือความชื้นภายในผนังเซลล์ของทลัสต์ไลเคนที่เปียก ผนังเซลล์ของไลเคนมีลักษณะบางจึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการแพร่ของก๊าซ SO_2 ที่จะผ่านเข้าสู่ทลัสต์ได้อย่างรวดเร็ว ทั้งในสถานะก๊าซได้แก่ SO_2 และ SO_3 และสถานะสารละลาย ได้แก่ sulphate (SO_4^{2-}), sulphite (SO_3^-) และ bisulphate ion (HSO_4^-) หรือ sulphurous acid (H_2SO_3) ซึ่งจะเป็นสารชนิดใดขึ้นอยู่กับ pH ของเซลล์ไลเคน โดย SO_2 จะเข้าไปรบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ในไลเคน ได้แก่ photosynthesis, respiration (Hawksworth and Rose, 1976) และ nitrogen fixation ก๊าซ SO_2 จะมีผลต่อเซลล์ของสาหร่าย โดยเข้าไปทำลายคลอโรฟิลล์เอ แล้วเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟตินเอ เนื่องจากสูญเสียธาตุแมกนีเซียม (Mg) หรือไปทำลาย

เชื้อหุ้มเซลล์ของคลอโรพลาสต์ ทำให้การสร้าง ATP ลดลง และไปยับยั้งเอนไซม์ carboxylase อีกทั้งยังทำให้คลอโรพลาสต์มีรูปร่างผิดปกติ ส่วนการหายใจส่งผลให้อัตราการหายใจลดลง เนื่องจากเกิดการบวมของไมโทคอนเดรีย (Hawksworth and Rose, 1976; Richardson, 1992) นอกจากนี้ความเป็นกรดของก๊าซ SO_2 อาจจะมีผลยับยั้งกระบวนการ nitrogen fixation ในไลเคน เนื่องจากกระบวนการดังกล่าว มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH โดยค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ pH = 5 (Gries, 1996) สำหรับในสภาพแวดล้อมของเขตร้อน SO_2 จะเปลี่ยนเป็น SO_4^{2-} อย่างรวดเร็ว และ SO_4^{2-} นี้จะสะสมเป็น particulate matter ในทลัสของไลเคน (Hien *et al.*, 2004 อ้างโดย Saipunkaew *et al.*, 2007) นอกจากนี้ SO_2 ทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกการไหลของพลังงาน และสารตั้งต้นระหว่างสาหร่ายกับรา เช่น เมตาบอไลซึมของ mannitol, trehalose และ glucose ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สาหร่ายสร้างแล้วจะส่งต่อไปกับรา (Kong *et al.*, 1999) เนื่องจากไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนคลอโรพิลล์ต่ำกว่าพืชชนิดอื่น ดังนั้นก๊าซ SO_2 จำนวนเพียงเล็กน้อยสามารถสร้างความเสียหายที่ร้ายแรงแก่ไลเคน โดยทำให้เสียความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายและราที่อยู่ในไลเคน จนทำให้ไลเคนตายได้ (Richardson, 1992)

1.7 การใช้ไลเคนในการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ จึงถูกใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอากาศอย่างแพร่หลาย เนื่องจากไลเคนได้รับน้ำและแร่ธาตุในการเติบโตจากอากาศในสภาพของฝน หมอก น้ำค้าง เมื่ออากาศมีมลพิษและละลายอยู่ในน้ำ จึงเป็นอันตรายต่อไลเคนโดยตรง ประกอบกับไลเคนไม่มีไข (wax) และผิวเคลือบคิวติเคิล (cuticle) ช่วยปกป้องโครงสร้างภายในเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง มลพิษจากอากาศจึงเข้าไปทำอันตรายต่อเซลล์ของราและสาหร่ายภายในทลัสได้ง่าย ทำอันตรายต่อกระบวนการดำรงชีวิต และทำให้ไลเคนตายหรือมีการเติบโตผิดปกติ (กัมทริย์ และกวินนาถ, 2550) ในสภาพที่มีความชื้น ไลเคนมีอัตราเมตาบอไลซึมและกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ไลเคนสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ จึงถูกรบกวนได้โดยมลพิษแม้ในช่วงฤดูหนาว นอกจากนี้ไลเคนมีการเจริญเติบโตช้า ไม่มีการผลัดใบ และมีชีวิตยืนยาวสามารถสะสมสารพิษไว้ในทลัส ซึ่งไม่สามารถขับออกได้ จึงสามารถบอกปริมาณสารพิษที่สะสมได้ (VDI, 1995) การตอบสนองของไลเคนต่อมลพิษอากาศจะเกิดขึ้นตั้งแต่ระดับเซลล์ (cellular) ระดับตัวตน (individual) ประชากร (population) และกลุ่มสิ่งมีชีวิต (community) การไม่มีคิวติเคิลคอยปกป้องและไม่มีราก ไลเคนจึงดูดซับสารจากอากาศทั้งการตกสะสมแบบแห้งและการตกสะสมแบบเปียก (Purvis *et al.*, 2007) ไลเคนแต่ละชนิดมีความทนต่อมลภาวะทางอากาศได้แตกต่างกัน ไลเคนกลุ่มฟรุติโกส ทนต่อมลภาวะทางอากาศได้น้อยที่สุด รองลงมาคือกลุ่มโฟลิโอส ส่วนไลเคน

กลุ่มครัสโตสทนต่อมลภาวะทางอากาศได้ดีกว่าไลเคนในรูปแบบอื่นๆ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะโครงสร้างของไลเคนของไลเคนกลุ่มฟรุติโคสมิมีส่วนที่รับอากาศได้ในทุกทิศทาง ในขณะที่โครงสร้างแบบโพลิโอสและครัสโตสมิมีส่วนที่สัมผัสอากาศได้น้อยกว่า (หน่วยวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2552)

การใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพต่อมลพิษทางอากาศ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การประเมินการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหรือทางชีวเคมีในไลเคน การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไลเคน (morphological changes) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มไลเคน (community) หรือการแทนที่ของสปีชีส์ เป็นต้น (Purvis, 2000)

ในปี ค.ศ. 1866 Nylander นักไลเคนวิทยาได้สังเกตว่าไลเคนได้หายไปจากเมืองใหญ่ ที่มีมลพิษทางอากาศสูง ต่อมาพบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการเผาไหม้ของถ่านหินในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุที่ทำให้ไลเคนตาย และมีการศึกษาไลเคนและมลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในเขตอบอุ่น แต่ยังมีการศึกษาอยู่น้อยในเขตร้อน ซึ่งมีลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศที่แตกต่างจากเขตอบอุ่น (วนารักษ์, 2551)

Riga-Karandios and Karandios (1998) ทำการประเมินมลพิษทางอากาศจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยเก็บตัวอย่างไลเคน 3 ชนิด จากพื้นที่เมือง Megalopolis ที่ตั้งอยู่ทางใต้ของ Greece ที่ระยะห่างจากโรงไฟฟ้า 0.5 - 11.5 กิโลเมตร ตามระดับความสูงและทิศทางจากโรงไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์และความเข้มข้นของโลหะหนักในไลเคนมีความสัมพันธ์ทางลบกับระยะห่างจากโรงไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของมลพิษจะลดลงเมื่อระยะห่างจากโรงไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น พบความเข้มข้นของซัลเฟอร์และความเข้มข้นของโลหะหนักในไลเคนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับระดับความสูงของพื้นที่ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ทางลบระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ในทลัสกับค่า pH ของไลเคนทั้ง 3 ชนิด

Hohl *et al.* (2001) ทำการศึกษากการกระจายตัวของ Tardigrades ที่อยู่บนไลเคนบนต้นโอ๊กในพื้นที่เหนือลมและใต้ลมของบริเวณรอบโรงไฟฟ้าถ่านหิน Missouri ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมซึ่งประกอบด้วยมลพิษทางอากาศ เช่น SO_2 อาจจะมีผลกระทบต่อความหนาแน่น และความหลากหลายของ Tardigrades นอกจากนี้ยังศึกษาไลเคนถึงระดับสกุล พบว่าไลเคนในพื้นที่เหนือลมและใต้ลมมีความแตกต่างกัน โดยพบไลเคนทั้งหมด 5 สกุล คือ *Physcia*, *Xanthoria*, *Candelaria*, *Parmelia* และ *Pertusaria* ซึ่งไลเคนสกุล *Pertusaria* และ *Physcia* เป็นไลเคนที่พบทั่วไปในพื้นที่ มีไลเคนเพียง 3 สกุล คือ *Physcia*, *Xanthoria* และ *Parmelia* ที่พบทั้งพื้นที่เหนือลมและพื้นที่ใต้ลม ในขณะที่ *Candelaria* และ *Pertusaria* พบในพื้นที่เหนือลมเท่านั้น

van Dobben *et al.* (2001) หาความสัมพันธ์ระหว่างความอุดมสมบูรณ์ของไลเคนกับความเข้มข้นของมลพิษอากาศในเนเธอร์แลนด์ พบว่า ก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหลากหลายของไลเคน สปีชีส์ของไลเคนเกือบทั้งหมดลดลงเมื่อความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 และ NO_2 เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่สะสมมลพิษไว้ในทลัสต์โดยสะท้อนให้เห็นถึงความเข้มข้นของมลพิษในอากาศ

Giordani *et al.* (2002) จัดทำแผนที่ความหลากหลายของไลเคน เพื่อประเมินผลกระทบของมลพิษอากาศต่อความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่เมดิเตอร์เรเนียน พบความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของไลเคนกับความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 และ NO_x ซึ่งแสดงให้เห็นว่า SO_2 และ NO_x เป็นมลพิษที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของไลเคน

Loppi *et al.* (2002) จัดทำแผนที่ความหลากหลายของไลเคน เพื่อใช้บ่งชี้คุณภาพอากาศในเมือง Siena ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของประเทศอิตาลี พบว่าคุณภาพอากาศดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการสำรวจเมื่อปี ค.ศ. 1995 เนื่องจากพบความหลากหลายของไลเคนมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ SO_2 ในพื้นที่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 – 1999 มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน และพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างชนิดของไลเคนกับปริมาณของ SO_2 อย่างไรก็ตามการประเมินความหลากหลายของไลเคนใช้ได้กับการติดตามตรวจสอบก๊าซ SO_2 และสามารถใช้คาดการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ โดยค่าความหลากหลายสูงสุดสอดคล้องกับคุณภาพสิ่งแวดล้อมดี ในขณะที่ค่าความหลากหลายต่ำ ชี้ออกคุณภาพสิ่งแวดล้อมไม่ดี โดยกลุ่มของไลเคนขึ้นอยู่กับมลพิษในอากาศ โดยเฉพาะ SO_2 และ NO_x

Garty *et al.* (2003) ทำการย้ายปลูกไลเคนชนิด *Ramalina lacera* (With.) ไปไว้บริเวณรอบโรงไฟฟ้าถ่านหิน Orot Rabin ประเทศอิสราเอล เป็นเวลา 7 เดือน แล้วตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของไลเคน พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งแสดงถึงปริมาณการรั่วของ K^+ ภายในเซลล์ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณของ B, Fe, Mg, Mn, Na, Pb, S, Sn และ Ti ความเข้มข้นของก๊าซเอธิลีนซึ่งถูกสร้างขึ้นในไลเคนภายใต้สภาวะกดดันมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณของ Al, Ba, Pb, S และ V และสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณของ Cu และ Sn อัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (F_v/F_m) ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการผลิตของกระบวนการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณ S ซึ่งผลการตรวจวัดที่ได้ เป็นผลมาจากทิศทางลมที่พัดมลพิษไปสู่พื้นที่ศึกษาบริเวณรอบโรงไฟฟ้า

Loppi *et al.* (2004) ทำการศึกษาคุณภาพอากาศเมือง Montecatini Terme ประเทศอิตาลี ในช่วงปี ค.ศ. 1993-2000 โดยใช้ความหลากหลายทางชีวภาพของไลเคน และการสะสมโลหะหนักในไลเคนชนิด *Flavoparmelia caperata* เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพอากาศ พบว่าคุณภาพอากาศของเมือง

ดีขึ้น โดยค่าดัชนีความหลากหลายเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สะสมในไลเคนลดลง แหล่งหลักที่ปล่อยมลพิษคือ ยานพาหนะจากการจราจร ซึ่งภายหลังได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการเผาไหม้ของมีเทน ทำให้ปริมาณของ SO_2 ลดลง และมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่มีสารตะกั่ว ทำให้สารตะกั่วลดลง การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ไลเคนจะมีอัตราการเติบโตช้า แต่ก็มี การตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการลดลงของความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ

Giordani (2007) ทำการศึกษาความหลากหลายของไลเคนในการติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศในพื้นที่ป่า พื้นที่ตัวเมืองและรอบเมือง โดยใช้ตัวแปร 12 ตัว ในการทำนายมลพิษทางอากาศในเมือง Genova ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอิตาลี พบว่าความหลากหลายของไลเคนมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปี ส่วน SO_2 เป็นก๊าซหลักที่มีอิทธิพลต่อความหลากหลายของไลเคนในเขตตัวเมือง โดยพบว่าความหลากหลายของไลเคนจะเริ่มลดลงเมื่อปริมาณก๊าซ SO_2 มากกว่า 8 ดัน/ปี และความหลากหลายลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์เมื่อปริมาณก๊าซ SO_2 มากกว่า 15 ดัน/ปี สำหรับพื้นที่ป่า การเก็บเกี่ยวของป่า (harvesting) และไฟป่ามีผลต่อความหลากหลายของไลเคน ซึ่งจากกรณีศึกษานี้ ยืนยันได้ว่า ความหลากหลายของไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ที่เชื่อถือได้ในการติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศ

Jeran *et al.* (2007) ใช้ไลเคนเป็นตัวชี้วัดมลพิษอากาศของป่า Slovenian ในปี ค.ศ. 2000 - 2001 เพื่อเปรียบเทียบกับผลการสำรวจเมื่อปี ค.ศ. 1991 และ 1992 ซึ่งในการสำรวจครั้งแรกทำการสำรวจการปกคลุมของไลเคน ส่วนการสำรวจครั้งหลัง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของ S, N, As, Br, Ce, Cd, Cr, K, La, Mo, Rb, Sb, Th, U และ Zn ที่สะสมอยู่ในไลเคนชนิด *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. พบว่าการปกคลุมของไลเคนมีน้อยมาก ในจุดเก็บตัวอย่างประมาณ 70 % พบการปกคลุมของโพลีโอสไลเคนมีน้อยกว่า 10 % และไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ N, S และธาตุพื้นฐานที่สะสมในไลเคน *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. กับการปกคลุมของโพลีโอสไลเคน

Munzi *et al.* (2007) ใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อความหลากหลายของไลเคนของกรุงโรม ในช่วงปี ค.ศ. 1982 - 2003 ซึ่งในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ไลเคนที่พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจุบันสำรวจพบไลเคน 102 ชนิด ซึ่งเป็นกลุ่มที่ชอบเปลือกไม้ที่เป็นกรด ชอบแสงมาก มีลมและใกล้ทะเล โดยพบไลเคนความหลากหลายสูงในเขตนอกเมืองและทางด้านทิศเหนือของเมือง ไลเคนมีความหลากหลายน้อยที่สุดในบริเวณกลางเมืองและในด้านตะวันออกและตะวันตกของเมือง ในขณะที่พื้นที่ที่ไลเคนสูญหาย (lichen desert) ก็มีปริมาณลดลงควบคู่กับการลดลงของก๊าซ CO , NO_x และ SO_2

1.8 การศึกษาการใช้ไลเคนบ่งบอกคุณภาพอากาศในประเทศไทย

Saipunkaew (1994) ใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการตรวจสอบมลภาวะอากาศในเมืองเชียงใหม่ โดยคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศและสร้างแผนที่คุณภาพอากาศ แผนที่บ่งชี้การกระจายตัวของไลเคนแตกต่างกัน บริเวณที่มีความถี่ของไลเคนสูงบ่งชี้คุณภาพอากาศดีกว่า บริเวณที่มีความถี่ของไลเคนต่ำบ่งชี้คุณภาพอากาศต่ำ ระดับคุณภาพอากาศแบ่งได้เป็น 4 ระดับ บ่งชี้บริเวณที่มีมลภาวะสูงมากจนถึงมลภาวะปานกลาง ไม่มีบริเวณใดในพื้นที่ตรวจสอบที่มีมลภาวะรุนแรงหรือมีมลภาวะต่ำหรือมีมลภาวะต่ำมาก

ปาตี (2545) ใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเพื่อติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศในเขตเมืองและนอกเมืองจังหวัดเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2544 โดยคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศและสร้างแผนที่คุณภาพอากาศเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2536 พบว่าปี พ.ศ. 2544 ขอบเขตของมลพิษทางอากาศสูงได้ขยายขอบเขตออกไปในบริเวณรอบนอกเมืองมากกว่าปี พ.ศ. 2536 เป็นการชี้ให้เห็นว่ามลพิษทางอากาศได้เพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีต และจากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณไฟโตทินในไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* (Nyl.) Hale ที่ย้ายมาไว้ในบริเวณตัวเมืองและรอบนอกเมือง พบว่าไลเคนที่ย้ายมาไว้ในบริเวณตัวเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่น มีกิจกรรมของมนุษย์มาก มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่าไลเคนในบริเวณรอบนอกเมืองซึ่งมีการจราจรที่เบาบางกว่า และยังพบว่าไลเคนที่อยู่บริเวณที่กลางแจ้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ สูงกว่าไลเคนที่อยู่ในบริเวณที่ร่ม ในขณะที่ปริมาณไฟโตทินของไลเคนในที่ร่มสูงกว่าไลเคนในที่กลางแจ้ง

Pompheueak (2005) ใช้ไลเคนประเมินคุณภาพอากาศในเขตตัวเมืองและรอบเมืองลำปาง โดยวิธีการระบุค่าความหลากหลายของไลเคน (lichen diversity values; LDVs) แล้วนำค่าที่ได้ไปจัดกลุ่มลำดับชั้นคุณภาพอากาศ และทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแพสซีฟ เพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละหน่วยเก็บตัวอย่าง ผลการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 21 ชนิด ซึ่งเป็น crustose 15 ชนิด และเป็น foliose 6 ชนิด สามารถแบ่งลำดับชั้นคุณภาพอากาศได้ทั้งหมด 8 ชั้น วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่า LDVs และความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า LDVs และความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จึงเป็นก๊าซที่มีผลต่อค่าความหลากหลายของไลเคนมากกว่าในพื้นที่ทำการศึกษา

Saipunkaew et al. (2005) ทำการสำรวจไลเคน 19 พื้นที่ ในจังหวัดเชียงใหม่และพื้นที่รอบเมืองเชียงใหม่ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ในเมือง อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และพื้นที่ป่า ในระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 260 – 1,450 เมตร พบว่า ความหลากหลายของไลเคนสูงสุดในพื้นที่ป่าที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 600 เมตร และความหลากหลายของไลเคนต่ำสุดในพื้นที่เมือง

และเกษตรกรรม ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลน้อยกว่า 400 เมตร ความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อการปกคลุมของโพลีโอสไลเคนและครัสโตสไลเคน โดยพบว่าพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 600 เมตร พบโพลีโอสไลเคนเด่นกว่าครัสโตส ส่วนพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 250 - 400 เมตร พบครัสโตสไลเคนเป็นกลุ่มเด่น การตรวจสอบทางชีวภาพของมลพิษอากาศของพื้นที่ ไม่สามารถใช้ความหลากหลายของไลเคนเพียงอย่างเดียวได้ ต้องอาศัยข้อมูลการตรวจสอบมลพิษอากาศในพื้นที่ร่วมด้วย

Saipunkaew *et al.* (2007) ทำการสำรวจไลเคนบนดินมะม่วงในเขตตัวเมืองและเขตชนบทบริเวณใกล้เคียง ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบว่าความหลากหลายของไลเคนจะต่ำสุดในตัวเมือง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีประชากรมากที่สุด นอกจากนี้ความหลากหลายของไลเคนยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝน สังกมไลเคนได้รับอิทธิพลจาก PM_{10} มากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ที่มาจากการกระทำของมนุษย์

แสงรวี (2551) ทำการศึกษาความหลากหลายของไลเคนและใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ. ลำปาง ผลการศึกษาพบไลเคน 25 ชนิด ดัชนีความหลากหลายของไลเคนมีค่าต่ำสุดในพื้นที่หมู่บ้านสบเมาะซึ่งตั้งอยู่ใกล้โรงไฟฟ้ามากที่สุด และดัชนีความหลากหลายของไลเคนมีค่าสูงสุดในพื้นที่หมู่บ้านดง ซึ่งตั้งอยู่ทางเหนือและมีระยะห่างจากโรงไฟฟ้าออกไป ไลเคนชนิด *Dirinaria picta*, *Chrysothrix xanthina*, ไลเคนในวงศ์ Graphidaceae และไลเคนกลุ่มครัสโตสที่ไม่สร้าง fruiting body เป็นไลเคนที่พบทั่วไปในทุกบริเวณพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่ศึกษาทุกพื้นที่พบไลเคนในกลุ่มครัสโตสมากกว่าไลเคนกลุ่มโพลีโอส และพบการฟอกขาวของทัลลัสไลเคนในกลุ่มโพลีโอสบางชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าไลเคนส่วนใหญ่ที่เจริญอยู่บนดินมะม่วงที่ทำการศึกษามักอยู่ในทิศทางที่หลบเลี่ยงจากด้านที่หันเข้าหาโรงไฟฟ้า

2. passive sampling technique

การเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ อาศัยหลักการไหลอย่างอิสระของโมเลกุลที่ต้องการวิเคราะห์ จากตัวกลางของตัวอย่างไปยังตัวกลางดูดซับ โดยอาศัยผลของความแตกต่างของความต่างศักย์ทางเคมีของสารที่ต้องการวิเคราะห์ระหว่างสองตัวกลาง วิธีนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการตรวจสอบสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ทั้งในอากาศ น้ำ และดิน (Gorecki and Namiesnik, 2002) จากสารมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ จะผ่านเข้าสู่กระดวยกรองที่ซึบสารละลายที่เป็นตัวดักจับที่เหมาะสม ซึ่งอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างนี้เรียกว่า passive samplers หรือ diffusive samplers (Santis *et al.*, 1997)

การเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ มีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพสูง มีราคาถูก ขั้นตอนหรือเทคนิคในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สารเคมีที่ใช้หาได้ง่ายและมีราคาถูก อุปกรณ์สามารถขนย้ายได้สะดวก เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เจียบไม่มีเสียงรบกวน ไม่เด่นสะดุดตา ดูแลรักษาง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมทั้งไม่ใช้ไฟฟ้าในการเก็บตัวอย่าง จึงสามารถนำไปใช้ได้แม้แต่ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ (Cruz *et al.*, 2004; Fern and Svanberg, 1998; Krochmal and Kalina, 1997a; Santis *et al.*, 1997) อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างสามารถจัดเก็บไว้ทั้งก่อนและหลังจากการเก็บตัวอย่างได้นานมากกว่า 10 อาทิตย์ และสามารถส่งไป-กลับ ถึงห้องปฏิบัติการกลางทางไปรษณีย์ได้ จึงทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น จึงเหมาะสำหรับการติดตามตรวจสอบมลพิษอากาศในหลายพื้นที่พร้อมกัน หรือพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ (Krochmal and Kalina, 1997b)

หลักการแพร่ของก๊าซในเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ สามารถอธิบายได้จาก Flick's First Law (Gair *et al.*, 1991) ดังนี้

$$F_1 = -D_{1,2}dc_1/dz \quad (2.1)$$

เมื่อ F_1 = อัตราการไหลของก๊าซ (the flux of gas) ($\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 $D_{1,2}$ = สัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซชนิด 1 และ 2 ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
 c_1 = ความเข้มข้นของก๊าซชนิด 1 และ 2 (mol cm^{-3})
 z = ระยะทางที่เกิดการแพร่ (cm)

ปริมาณก๊าซที่เคลื่อนที่ (Q_1 mol) ในเวลา t วินาที ผ่านกระบอกที่มีรัศมี r สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$Q_1 = F_1 (\pi r^2) t \text{ mol} \quad (2.2)$$

เพราะฉะนั้น

$$Q_1 = -D_{1,2} (c_1 - c_0) (\pi r^2) t / z \text{ mol} \quad (2.3)$$

เมื่อ c_0 คือ ปริมาณของก๊าซที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับได้ เพราะฉะนั้น $(c_1 - c_0)/z$ มีค่าเท่ากับ ปริมาณของก๊าซที่ดูดซับได้ต่อความยาวของหลอด (z) ถ้าก๊าซชนิดที่ 1 ถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มี ประสิทธิภาพ ดังนั้น c_0 จะมีค่าเท่ากับศูนย์

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 ในบรรยากาศ ในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ได้จากสมการ (Plaisance *et al.*, 2002)

$$C (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{[Q \times z]}{[(\pi r^2) \times t \times D]} \quad (2.4)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของก๊าซ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q = ปริมาณของก๊าซที่เคลื่อนที่ในหลอดเก็บ (μg)

z = ความยาวของหลอดเก็บตัวอย่าง (m)

πr^2 = พื้นที่หน้าตัดของหลอดเก็บตัวอย่าง (m^2)

t = ระยะเวลาในการตรวจวัด (s)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่าน (m^2/s)

(สัมประสิทธิ์การแพร่ของ SO_2 คือ $1.27 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

การคำนวณหาปริมาณของก๊าซในหลอดเก็บตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับผลผลิตสุดท้ายหลังจาก ทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับ ซึ่งค่า Q ของก๊าซ SO_2 สามารถคำนวณได้จาก สมการ 2.5 ซึ่งได้จากการ วิเคราะห์หาความเข้มข้นของ SO_4^{2-} (ppm) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ จากสารสกัดปริมาตร 4 มิลลิลิตร

$$Q (\mu\text{g}) = \text{ความเข้มข้นของ } \text{SO}_4^{2-} (\text{ppm}) \times 4 \text{ ml} \times 64/96 \quad (2.5)$$

การแปลงหน่วยของก๊าซ SO_2 จาก $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็นหน่วย ppb หรือ ppbv ได้จากสมการ

$$\text{ppb} = \frac{\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{molecular volume (litres)}}{\text{molecular weight}} \quad (2.6)$$

$$\text{เมื่อ } \text{molecular volume} = 22.41 \times \frac{T}{273} \times \frac{101.3}{P}$$

T = อุณหภูมิ (K)

P = ความดันบรรยากาศ (kPa)

หลอดเก็บตัวอย่าง (diffusion sampler) แบบแพสซีฟ ถูกนำมาใช้ครั้งแรกโดย Palmes *et al.* ในปี 1976 เพื่อตรวจวัดปริมาณ NO_2 ในอากาศภายในอาคาร โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่มีกระดาษกรองที่ชุบด้วยสารดูดซับอยู่ภายใน ซึ่งพบว่าจำนวนของสารดูดซับต้องได้สัดส่วนกับความเข้มข้นของก๊าซ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่ไปสู่ตัวดูดซับและอัตราการแพร่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Palmes *et al.*, 1976 อ้างโดย Perkauskas and Mikeliniski, 1998) หลังจากนั้นก็มีผู้สนใจนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น การตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสไดออกไซด์ เป็นต้น เริ่มแรกเทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้ ให้สามารถตรวจวัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนทั้งในน้ำและในดินได้ด้วย (คิวพรและปาริชาติ, 2547)

Krochmal and Kalina (1997a) ใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซ NO_2 และ SO_2 ในพื้นที่เมืองและชนบทของประเทศโปแลนด์ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman 1 Chr ที่ชุบด้วย TEA เป็นตัวดูดซับ ใช้เวลาตรวจสอบหนึ่งเดือน แล้ววิเคราะห์ NO_2 ในรูปไนเตรตด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และ SO_2 ในรูปซัลเฟตด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี สามารถตรวจวัดระดับของมลพิษได้แตกต่างกันตามพื้นที่เมืองและชนบท อีกทั้งสามารถสร้างแผนที่การกระจายตัวของก๊าซ NO_2 และ SO_2 ในเขตชนบทของโปแลนด์ได้และยังพบว่าในฤดูหนาวมี SO_2 สูงกว่าฤดูร้อนเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในครัวเรือนเพิ่มขึ้น

Krochmal and Kalina (1997b) ได้พัฒนาช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เป็น 24 ชั่วโมง และ 1 เดือน พบว่าการใช้ suppressed และ nonsuppressed IC จะให้ detection limit ที่ต่ำ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง 1 เดือนจะให้ detection limit ที่ต่ำกว่า (lower determination limit) ของทั้ง NO_2 และ SO_2 คือ 0.5 และ 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ส่วนช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมงได้ detection limit ที่สูงกว่า มีการลดผลกระทบของลม ผ่น และแสงด้วยการใส่ samplers ในที่กำบังลมก่อนนำไปแขวน ซึ่งเทคนิคนี้มีความแม่นยำและ detection limit ที่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับการตรวจวัดทั้งเขตเมืองและเขตชนบท

Santis *et al.* (1997) ได้พัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ badge-type samplers ที่มีความยาวแตกต่างกันสองชนิด ในการตรวจวัดก๊าซ NO_2 และ SO_2 ในอากาศ ซึ่งใช้กระดาษกรอง Whatman GF/A ที่ชุบด้วย TEA และกลีเซอรินเป็นสารดูดซับ พบว่าวิธีดังกล่าวให้ detection limit ที่ต่ำทั้ง NO_2 และ SO_2 คือ 5 ppb และ 10 ppb ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำวิธีนี้ไปใช้ได้ในพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท

Yang *et al.* (1997) พัฒนาวิธีการ FIA method โดยการนำ barium-dimethylsulfoazo-III complex มาใช้เป็น reagent และใช้ BaSO_4 - immobilized in - line reaction column เพื่อเพิ่มความไวในการตรวจวัด SO_2 ในอากาศด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ซึ่งใช้กระดาษกรองที่ชุบด้วย TEA แล้วสกัดซัลเฟตไอออน ด้วย H_2O_2 วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถวัดซัลเฟตไอออน ได้ในช่วง 0.08 – 10.00 mg/l ได้ค่า RSD น้อยกว่า 1.6 % ซึ่งวิธีที่พัฒนานี้สามารถให้ผลดีเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ ในการตรวจวัด SO_2 ในอากาศ

Ferm and Svanberg (1998) ใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในพื้นที่เมืองของประเทศสวีเดน ซึ่งในการตรวจวัดภายนอกอาคารมีผลกระทบจากลม ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจึงใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่ยาวขึ้น ต่อมาพัฒนาให้หลอดสั้นลงและกว้างขึ้น ซึ่งสามารถวัด SO_2 และ NO_2 ได้ 0.1 - 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 0.1 - 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ ให้ผลที่สอดคล้องกันสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดได้ทั้งพื้นที่เมืองและพื้นที่ควบคุม

Perkauskas and Mikeliniskiė (1998) ทำการประเมินระดับความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในเมือง Vilnius โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟชนิดโพลิเอทิลีน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ยาว 70 mm ใช้กระดาษกรอง Whatman 40 และใช้ NaHCO_3 เป็นสารดูดซับ ช่วงเวลาว่างหลอด 1 เดือน พบว่าระดับความเข้มข้นของ SO_2 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก โดยมีค่าเฉลี่ยของฤดูที่มีอากาศอบอุ่น (warm) และฤดูที่มีอากาศหนาว (cold) คือ 7 – 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 17 – 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ NO_2 ขึ้นอยู่กับการจราจร โดยพบว่ามีค่าสูงสุดบริเวณทางแยก และค่าต่ำสุดบริเวณพื้นที่รอบเมืองออกมา

Kasper-Giebl and Puxbaum (1999) ใช้หลอดเก็บตัวอย่างชนิดโพลิเอทิลีน และใช้ TEA เป็นสารดูดซับ พบว่ามีการสะสมของอนุภาคฝุ่นที่ผนังของหลอด ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อปริมาณ NO_2 แต่มีผลกระทบต่อปริมาณ SO_2 โดยละอองซัลเฟตเข้าทางปากหลอด และสะสมในรูปของฝุ่นที่ผนังของหลอด ส่งผลให้ได้ค่าความเข้มข้นของ SO_2 สูงขึ้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้ windshield หรือใช้ badge samplers

Cruz *et al.* (2004) ใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซ SO_2 และ NO_2 ในพื้นที่อุตสาหกรรมและพื้นที่เมืองของประเทศบราซิล โดยใช้กระดาษกรองที่ชุบด้วย Na_2CO_3 เป็นสารดูดซับ แล้วสกัดด้วย H_2O_2 วัดด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ ช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 1 – 4 สัปดาห์ พบว่าช่วงเวลาว่างหลอดเก็บตัวอย่าง 1 เดือน และ 1 สัปดาห์ สามารถวัดปริมาณ SO_2 ได้ถึง $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $421 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ วิธีนี้มีความถูกต้องและความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ สามารถใช้ได้ในพื้นที่จริงทั้งในเขตอุตสาหกรรมและเขตเมือง

Shakya (2004) ใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เพื่อวัดความเข้มข้นของ NO_2 และ SO_2 จากอากาศในเมืองเชียงใหม่ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman 40 ชุบด้วยไตรเอทาโนลามีน บรรจุในหลอดพอลิสไตรีนและหลอดพอลิเอทิลีน เพื่อดักจับก๊าซทั้งสองชนิด โดยบรรจุหลอดเก็บตัวอย่างดังกล่าวในกล่องพอลิเอทิลีน เพื่อป้องกันการรบกวนจากปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ ทำการหาปริมาณ SO_2 โดยวิธีไอออนโครมาโตกราฟี ในรูปของซัลเฟตไอออน ผลที่ได้จากวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟแสดงว่า การใช้หลอดเก็บตัวอย่างดังกล่าวให้ผลการตรวจวัดที่ดีทั้งสำหรับ NO_2 และ SO_2 ความแม่นยำสำหรับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟมีค่าประมาณร้อยละ 18 และร้อยละ 16 สำหรับ NO_2 และ SO_2 ตามลำดับ

Khaodee (2006) นำเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณของก๊าซในโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโอโซนในอากาศ ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟชนิดหลอด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณก๊าซซึ่งเป็นสารมลพิษ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่พัฒนาแล้วประกอบด้วยหลอดโพลีเอทิลีน ซึ่งมีตัวดูดซับเป็นกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman (GF/A) และทำการติดตั้งอุปกรณ์ในขวดสุญญากาศเพื่อลดผลกระทบจากสภาพอากาศ สารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับในโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี คือ ไตรเอทาโนลามีนที่มีส่วนผสมกลีเซอรอล ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 3 วัน ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟแล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี มีค่าสูงกว่าค่าจากเครื่องตรวจวัดแบบแอคทีฟ (ค่าความแตกต่างมากกว่าร้อยละ 79.8)

มีการนำเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ มาใช้ในการตรวจวัดระดับมลพิษในอากาศ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษในอากาศกับไลเคน โดย สุทธิวรรณ (2549) ทำการศึกษาอัตราการเติบโตของไลเคนชนิด *Pyxine coccinea* Swartz. ในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และเขตตัวเมืองเชียงใหม่ และตรวจวัดปริมาณก๊าซในโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซทั้งสอง ด้วยเครื่องสเปก-

โทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าอัตราการเติบโตของไลเคนชนิดนี้ ในเขตตัวเมืองช้ากว่าในเขตมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ โดยในเขตตัวเมืองมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงกว่า เขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และในปี ค.ศ. 2005 Pomphueak ได้นำเทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศ แบบแพสซีฟมาใช้ เพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษา ประกอบกับการใช้ไลเคนประเมินคุณภาพอากาศในเขตตัวเมืองและรอบเมืองลำปาง โดยใช้หลอดโพลิเอทิลีนในการดักจับก๊าซทั้งสองชนิด นำมาวิเคราะห์ในรูปของไนไตรท์ (NO_2^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) โดยใช้เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ผลการศึกษาพบว่าความหลากหลายของไลเคนไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการศึกษาไลเคน

3.1.1.1 เครื่องมือ

1. กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ (compound microscope)
ยี่ห้อ Olympus CH-2, Japan
2. กล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ (stereo microscope) ยี่ห้อ Olympus SZ-ST, Japan
3. เครื่องชั่งอย่างละเอียด ยี่ห้อ ADAM รุ่น AFP-2100L
4. ตู้อบ ยี่ห้อ Scientific รุ่น model 900, USA
5. เครื่องวัด pH (Electrochemical analyser) ยี่ห้อ Consort รุ่น C933
6. เครื่องวัดพิกัดและตำแหน่ง (Global Positioning System; GPS)
ยี่ห้อ eTrex, Garmin, Taiwan

3.1.1.2 อุปกรณ์

1. กรอบสำรวจความถี่ (grid frame) ขนาด 20 x 50 ตารางเซนติเมตร
2. แว่นขยาย (hand lens) กำลังขยาย 20x
3. สายวัด ความยาว 100 เซนติเมตร
4. เข็มทิศ
5. มีดเก็บตัวอย่าง
6. ของเก็บตัวอย่างและเปลือกไม้
7. แบบฟอร์มการสำรวจไลเคน
8. แผ่นกระดาษรองเขียน
9. สมุดบันทึก ปากกา ดินสอ
10. ตะกร้าใส่อุปกรณ์
11. บีกเกอร์ ยี่ห้อ Scott Duran, Germany ขนาด 50 มิลลิลิตร
12. กระบอกตวงยี่ห้อ Scott Duran, Germany ขนาด 10 มิลลิลิตร
13. หลอดทดลอง ยี่ห้อ Pyrex, USA ขนาด 30 มิลลิลิตร

14. แผ่นสไลด์ และแผ่นปิดสไลด์
15. หลอดหยด (dropper)
16. ขวดแก้วขนาดเล็ก
17. ที่วางหลอดทดลอง
18. แผนที่หมู่บ้านในอำเภอแม่เมาะและอำเภอแม่ทะ
19. กล้องถ่ายรูปดิจิทัล ยี่ห้อ Olympus รุ่น 32

3.1.1.3 สารเคมี

1. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water ; DI)
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide ; K) 10%
3. สารละลายลูกกลไอโอดีน (Lugol's iodine)
4. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite ; C)

3.1.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ

(passive sampling)

3.1.2.1 เครื่องมือ

1. เครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (Ion Chromatograph) รุ่น Model 2.733.0020, Metrohm, Switzerland
2. เครื่องอัลตราโซนิกเอเตอร์ (Ultrasonicator) ยี่ห้อ Transonic Digital S, Elma, Germany
3. ตู้อบ (Oven) Model 100-800, Memmert, Germany
4. เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo, Switzerland รุ่น AB304-S,
5. อุปกรณ์ควบคุมความชื้น (Desiccators)

3.1.2.2 อุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ยี่ห้อ Duran, Germany ขนาด 1000 และ 100 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร (PP volumetric flask) ยี่ห้อ Vit Lab, Germany ขนาด 25 มิลลิลิตร
3. บีกเกอร์ (beaker) ยี่ห้อ Scott Duran, Germany ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
4. ไมโครปิเปต (Micropipettes) ขนาด 10 – 100, 100 – 1000 ไมโครลิตร และ 1 - 10 มิลลิลิตร

5. กระบอกฉีดยา (Syring) ขนาด 3 มิลลิลิตร
6. ไซริงค์ฟิลเตอร์ (Glass syringe filter), 0.45 μm cellulose acetate, Chrom Tech, U.S.A
7. กรวยกรอง eluent (funnel) ยี่ห้อ Alltech, Blegium ขนาด 1000 มิลลิลิตร
8. แหวนกรอง (Stainless steel mesh filter support ring) ยี่ห้อ Alltech, Blegium
9. ขวดใส่กรด (GL-45 safety-coated glass bottle) ยี่ห้อ Alltech, Blegium ขนาด 1000 มิลลิลิตร
10. หลอดโพลีเอทิลีน (Polyethylene tubes ; PE)
11. กระดาษกรอง Whatman (GF/A) ยี่ห้อ Whatman international Ltd., England
12. ไวออ (vial)
13. กล่องป้องกัน (Protective shelter)
14. พาราฟิล์ม (Parafilm)
15. ถุงซิปป (zip lock bag)
16. กล่องโฟม
17. กระดาษกรอง mobile phase

3.1.2.2 สารเคมี

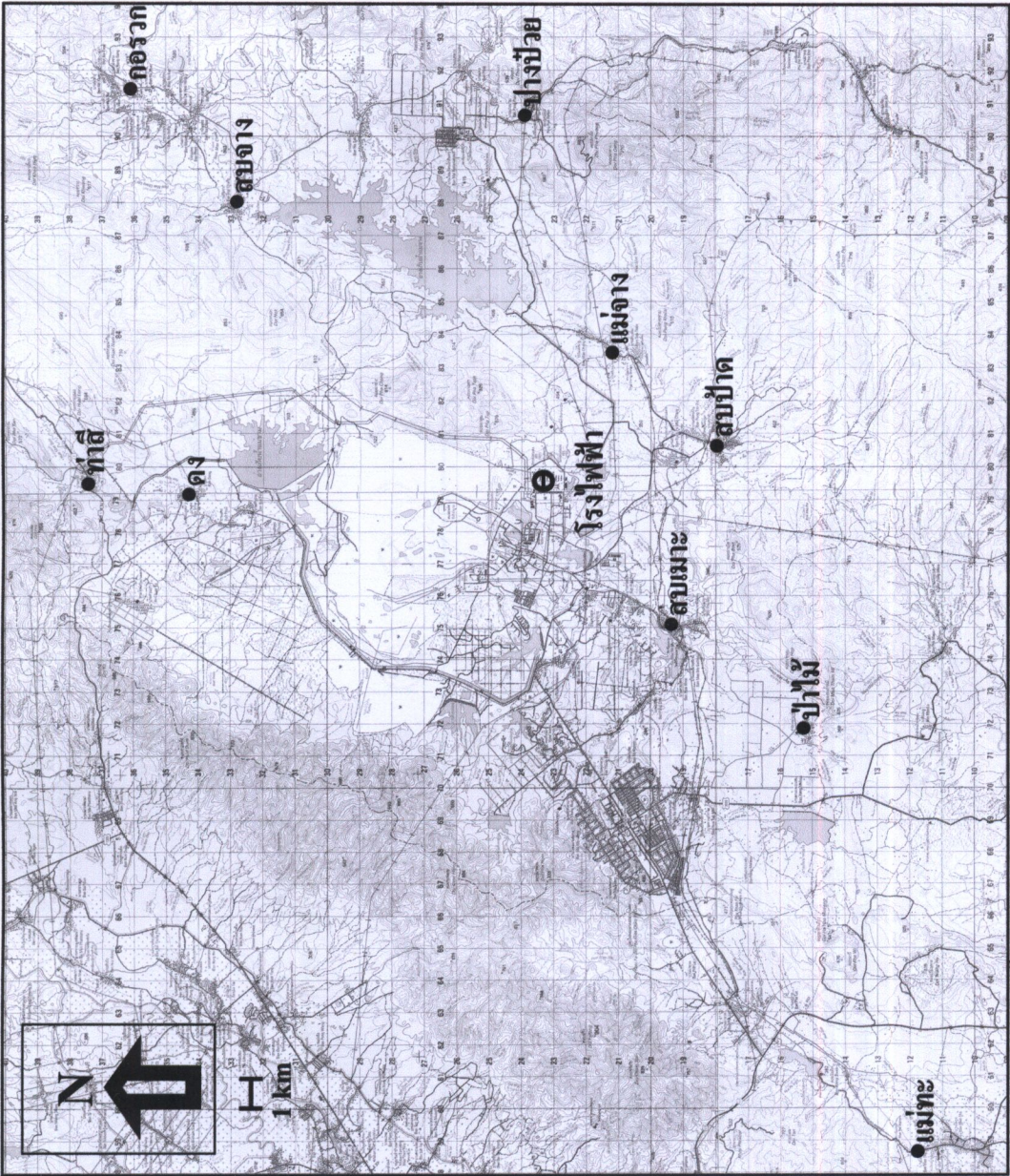
1. สารละลายซัลเฟตมาตรฐาน (Sulfate standard solution ; SO_4^{2-}) 1000 ppm, Merck, Germany
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate ; Na_2CO_3) , 99.9% Scharlau, Spain
3. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate ; NaHCO_3), 99.7% Scharlau, Spain
4. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid ; H_2SO_4), 95-97% Merck, Germany
5. ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine ; TEA) ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$, 149.19), 99%, BDH Chemicals Ltd., England
6. กลีเซอริน (Glycerin) ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$, 92.09), 99.5 %, Carlo Erba, Italy
7. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water ; DI)

3.2 วิธีการศึกษา

3.2.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

อำเภอแม่เมาะตั้งอยู่ที่ละติจูด $18^{\circ}16'30''$ เหนือ ลองจิจูด $99^{\circ}39'0''$ ตะวันออก ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงของจังหวัดลำปาง ห่างจากตัวเมืองลำปางประมาณ 20 กิโลเมตร มีพื้นที่ 860.44 ตารางกิโลเมตร มีประชากร 38,760 คน (ปี พ.ศ. 2551) (ศูนย์สารสนเทศเพื่อการบริหารและพัฒนางานปกครอง, 2552) สภาพพื้นที่เป็นแอ่งกระทะ ทางตอนเหนือของอำเภอเป็นภูเขาและป่าไม้ครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่อำเภอ มีพื้นที่ราบลุ่มที่ใช้เพาะปลูกได้ประมาณ 4,000 ไร่ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบระหว่างหุบเขา สภาพดินทั่วไปเป็นดินปนทราย อากาศค่อนข้างอบอ้าวและหนาวจัดในฤดูหนาว มีโอกาสฝนตกน้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในเงาฝน ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบมรสุม มี 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว (กองทุนพัฒนาชุมชนในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าจังหวัดลำปาง, 2552)

เนื่องจากต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของไลเคนกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง จึงทำการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่อยู่บริเวณรอบโรงไฟฟ้า ได้แก่ หมู่บ้านที่อยู่รอบโรงไฟฟ้า โดยวางแนวเส้นเก็บตัวอย่าง (transect) ห้าแนวจากโรงไฟฟ้า ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยปรับให้เหมาะสมตามลักษณะภูมิประเทศ ให้มีระยะห่างที่แตกต่างกันจากโรงไฟฟ้า โดยวัดระยะจากแผนที่ เลือกหมู่บ้านที่เป็นชุมชนขนาดเล็กถึงปานกลาง เนื่องจากหมู่บ้านขนาดใหญ่อาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลรบกวนไลเคนและปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่จะศึกษา เช่น ควันเสียจากการจราจร การเผาขยะและเชื้อเพลิงต่าง ๆ เป็นต้น คัดเลือกพื้นที่ศึกษาได้ 10 พื้นที่ ได้แก่ บ้านแม่ทะ บ้านป่าไม้ (เวียงสวรรค์) บ้านสบเมาะ บ้านสบป่าด บ้านแม่จาง บ้านปางป๋วย บ้านสบจาง บ้านกอรวก บ้านดง และบ้านท่าสี่ กำหนดพื้นที่ศึกษาขนาด 1×1 ตารางกิโลเมตร ดังภาพ 3.1 และตาราง 3.1



ภาพ 3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด, 2542)

ตาราง 3.1 พื้นที่ศึกษาทำการสำรวจไลเคนบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่มาะ

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ตำแหน่งที่ตั้ง	ความสูงจากระดับน้ำทะเล (ม.)	ทิศทางจากโรงไฟฟ้า	ระยะห่างจากโรงไฟฟ้า (กม.)	ลักษณะของหมู่บ้าน
1	บ้านแม่ทะ	18° 11' 15" N, 99° 33' 46" E	320	SW	25	หมู่บ้านขนาดกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน มีพื้นที่เกษตรรอบหมู่บ้าน
2	บ้านป่าไม้ (เวียงสุวรรณค)	18° 13' 33" N, 99° 40' 34" E	330	SW	11	หมู่บ้านขนาดเล็ก พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน พื้นที่รอบหมู่บ้านทำการเกษตร
3	บ้านสบมาะ	18° 15' 41" N, 99° 42' 38" E	310	SW	5	หมู่บ้านขนาดกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน
4	บ้านสบป่าด	18° 15' 3" N, 99° 45' 50" E	320	S	5	หมู่บ้านขนาดกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน
5	บ้านแม่จาง	18° 16' 44" N, 99° 47' 16" E	330	SE	4	หมู่บ้านขนาดเล็ก พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน
	ด. นาสัก					

ตาราง 3.1 (ต่อ) พื้นที่ศึกษาที่ทำการสำรวจไลเคนบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่มาะ

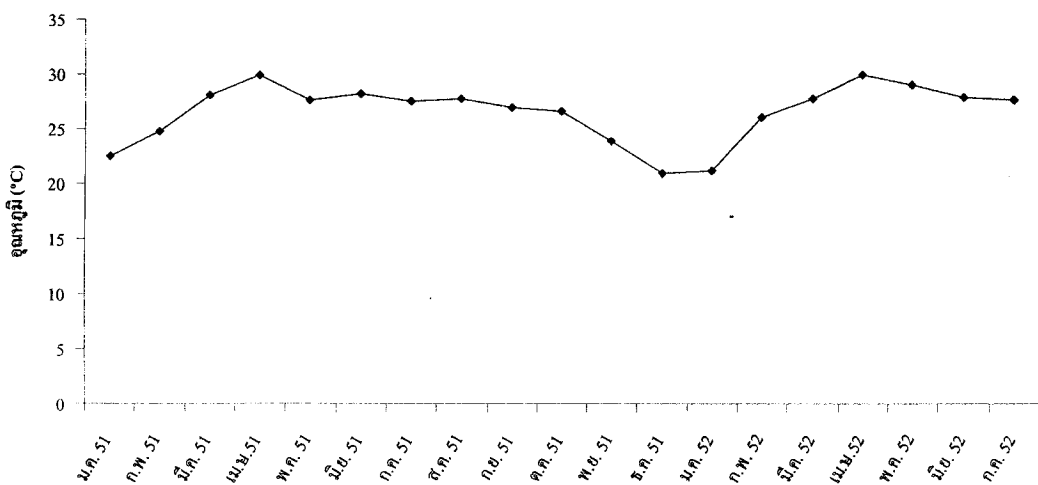
ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ตำแหน่งที่ตั้ง	ความสูง		ทิศทาง	ระยะห่าง	
			จากระดับน้ำทะเล (ม.)			จากโรงไฟฟ้า	ลักษณะของหมู่บ้าน
6	บ้านปางป๋วย ต. นาสัก	18° 13' 9" N, 99° 51' 20" E	380	E		จากโรงไฟฟ้า (กม.)	หมู่บ้านขนาดเล็กพื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน มีพื้นที่เกษตรรอบหมู่บ้าน
7	บ้านสบจาง ต. นาสัก	18° 22' 56" N, 99° 50' 14" E	360	NE			หมู่บ้านขนาดกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน มีพื้นที่เกษตรรอบหมู่บ้าน
8	บ้านกรวาก ต. จางเหนือ	18° 24' 30" N, 99° 51' 58" E	390	NE			หมู่บ้านขนาดเล็ก พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน
9	บ้านดง ต.บ้านดง	18° 23' 53" N, 99° 45' 0" E	340	N			หมู่บ้านขนาดกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน มีพื้นที่เกษตรรอบหมู่บ้าน
10	บ้านท่าลี ต.บ้านดง	18° 25' 37" N, 99° 45' 29" E	370	N			หมู่บ้านขนาดกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัย มีการปลูกผลไม้ในบริเวณบ้าน มีถนนสายลำปาง-งาว ตัดผ่านหมู่บ้าน

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดลำปางตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมสองชนิด คือลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้ บริเวณมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งพัดออกจากศูนย์กลางเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ และเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์สูตร ลมมรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดีย ทำให้มีเมฆมากและฝนตกชุกทั่วไป (ฤดูฝน) ส่วนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดปกคลุมระหว่างกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือแถบประเทศมองโกเลียและจีนจึงพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมทำให้ท้องฟ้าโปร่งอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป (ฤดูหนาว) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552) จากอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองชนิด ส่งผลให้สภาพภูมิอากาศทั่วไปของจังหวัดลำปาง ในช่วงปี พ.ศ. 2534 – 2550 ที่ผ่านมามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 25.8 – 27.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดปี 33.2 – 35.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดปี 20.0 – 21.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 70 – 75 % และมีปริมาณน้ำฝน 712.3 – 1,537.8 มิลลิเมตร (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552)

ทำการเก็บตัวอย่างไคลเคนและอากาศในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าว มีสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ปริมาณน้ำฝน และทิศทางลม ที่ทำการตรวจวัด ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง ดังนี้

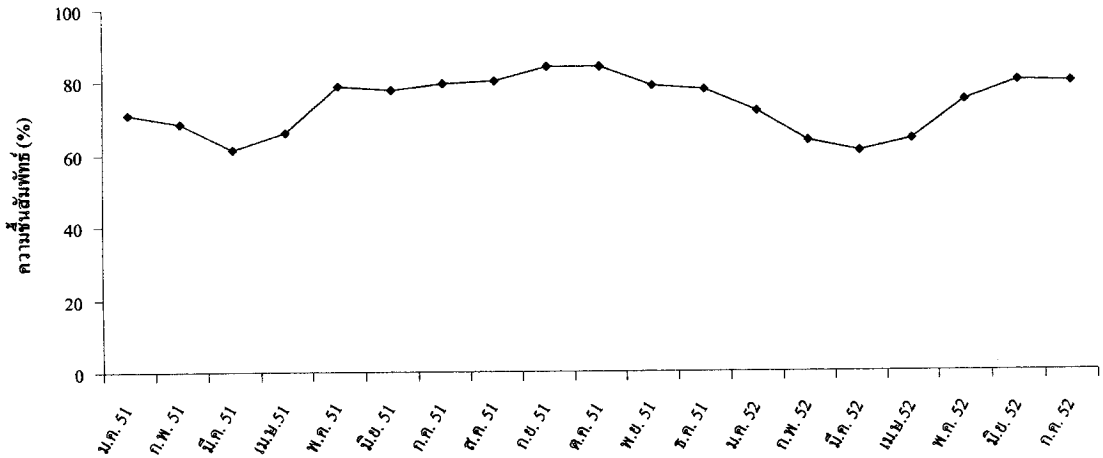
อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2551 ถึง เดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2552 มีค่าเท่ากับ 20.9 – 29.9 องศาเซลเซียส ดังภาพ 3.2



ภาพ 3.2 อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือนของจังหวัดลำปาง

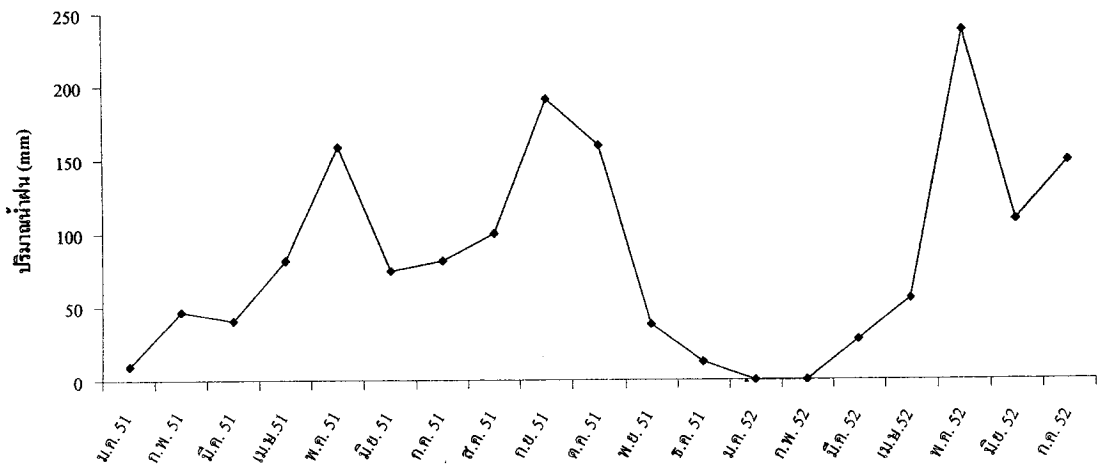
ในช่วงเดือนมกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552 (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552)

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยรายเดือน ช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2551 ถึง เดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2552 มีค่าเท่ากับ 60.7 – 84.2 % ดังภาพ 3.3



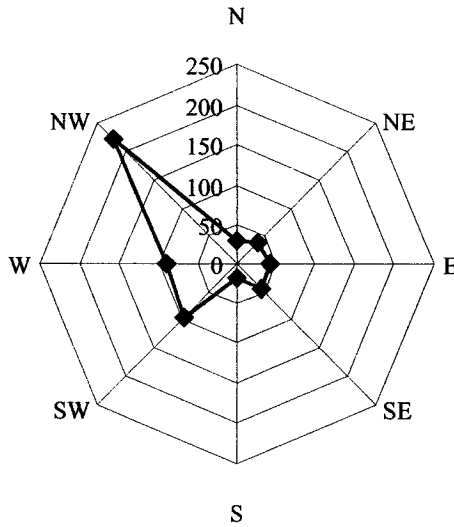
ภาพ 3.3 ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย ช่วงเดือนมกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552
(ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552)

ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2551 ถึง เดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2552 มีค่าเท่ากับ 0.0 – 237.7 มิลลิเมตร ดังภาพ 3.4

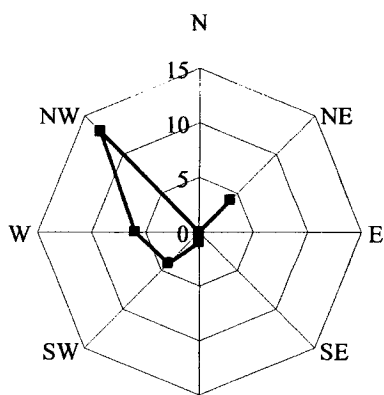


ภาพ 3.4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงเดือนมกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552
(ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552)

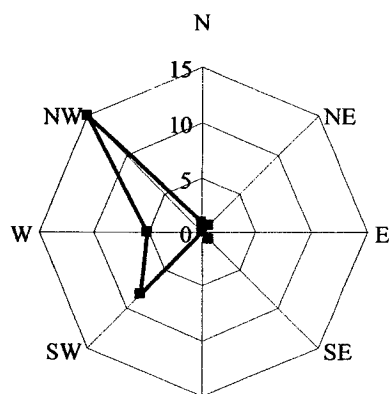
ทิศทางลมที่พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง ช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2551 ถึง เดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2552 ส่วนมากจะเป็นลมที่พัดมาทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ รองลงมาเป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศเหนือ และทิศใต้ ตามลำดับ ดังภาพ 3.5 เมื่อแยกข้อมูลทิศทางลมที่พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง ในเดือนกุมภาพันธ์ถึง เดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2552 แสดงดังภาพ 3.6



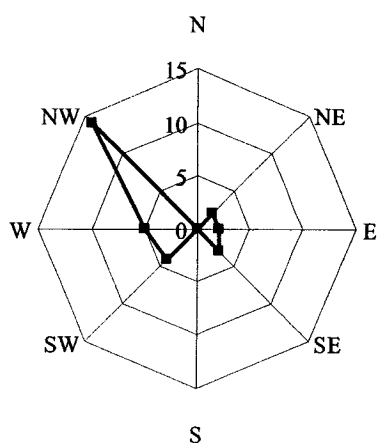
ภาพ 3.5 ทิศทางลมที่พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง ช่วงมกราคม 2551 – กรกฎาคม 2552
(ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552)



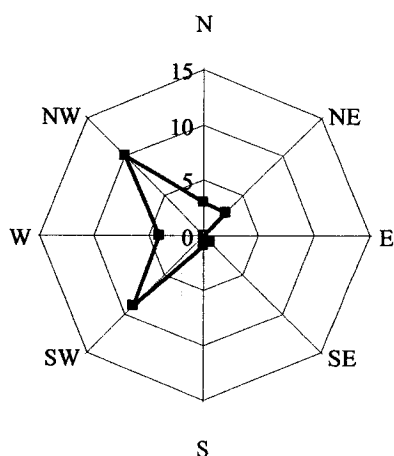
ภาพ 3.6 – ก เดือนกุมภาพันธ์



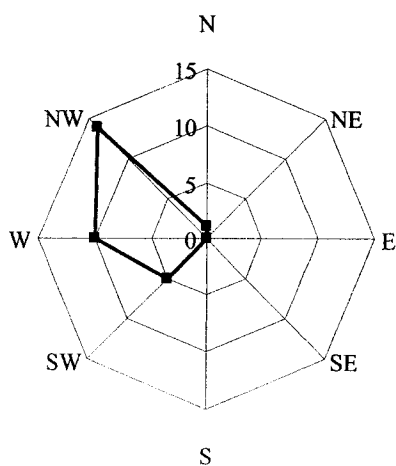
ภาพ 3.6 – ข เดือนมีนาคม



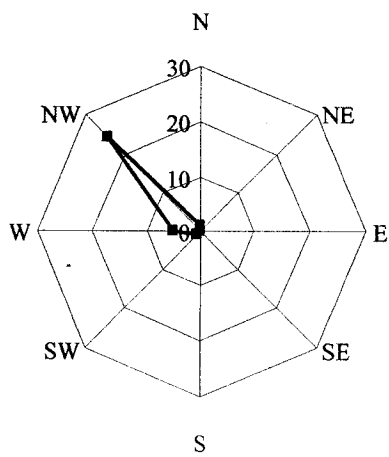
ภาพ 3.6 – ค เดือนเมษายน



ภาพ 3.6 – ง เดือนพฤษภาคม



ภาพ 3.6 – จ เดือนมิถุนายน



ภาพ 3.6 – ฉ เดือนกรกฎาคม

ภาพ 3.6 ก- ฉ ทิศทางลมที่พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงกรกฎาคม 2552
(ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552)

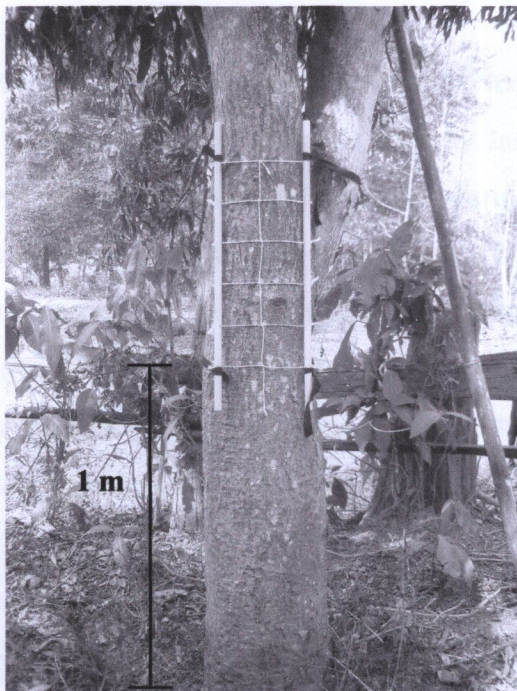
3.2.2 การศึกษาความหลากหลายของไลเคน

3.2.2.1 การคัดเลือกต้นไม้

ทำการศึกษาไลเคนบนต้นมะม่วง (*Mangifera indica* L.) เนื่องจาก ต้นมะม่วงเป็นพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ศึกษา เปลือกของต้นมะม่วงมีค่าความเป็นกรด – ค่าง ที่ไม่ต่ำหรือสูงเกินไป เหมาะสมต่อศึกษาเติบโตมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่พบได้ทั่วไปอื่น ๆ เช่น ลำไย (*Dimocarpus longan* Lour.) ลิ้นจี่ (*Litchi chinesis* Sonn.) และ ทุกวาง (*Terminalia catappa* L.) (Saipunkaew, 1994) ควรเลือกต้นมะม่วงที่มีเส้นรอบวงประมาณ 60 - 280 เซนติเมตร มีลำต้นตรง หากเอียงไม่ควรเกิน 5 องศา ไม่ถูกปกคลุมด้วยพืชชนิดอื่น อยู่ในที่โล่งไม่มีสิ่งก่อสร้างบดบังแสง ซึ่งอาจมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไลเคนในพื้นที่ทำการศึกษา (ปาลี, 2545) และเลือกต้นมะม่วงที่ไม่ถูกรบกวนจากมนุษย์ หรือถูกทำลายจากสัตว์กินหญ้า (VDI, 1995) สุ่มเลือกต้นมะม่วงเพื่อทำการสำรวจไลเคนในพื้นที่ละ 10 ต้น รวมทั้งหมด 100 ต้น

3.2.2.2 การสำรวจชนิดและความถี่ของไลเคน

ทำการสำรวจชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคนบนลำต้นของต้นมะม่วง โดยวิธีที่ประยุกต์จากวิธีการของ VDI (1995) ซึ่งปรับใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาในประเทศไทย โดยใช้กรอบสำรวจ (grid frame) ขนาด 20 x 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งแบ่งเป็น 10 ตารางย่อย ขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร วางทาบบนลำต้นมะม่วง โดยให้ขอบล่างของกรอบสำรวจสูงจากพื้นดิน 100 เซนติเมตร (ภาพ 3.7) เลือกวางกรอบสำรวจบนต้นมะม่วงด้านที่พบไลเคนมากหรือหลากหลายที่สุด ควรหลีกเลี่ยงลำต้นด้านที่ไม่เหมาะสม เช่น มีรอยบาดแผล ปุ่ม บวม ตะปุ่ม เป็นคัน บันทึกลักษณะและนับความถี่ของจำนวนไลเคนแต่ละชนิดที่พบในกรอบสำรวจ ในการนับความถี่หากพบไลเคนชนิดเดียวกันอยู่ในตารางย่อยเดียวกันมากกว่า 1 ทัลลัส นับความถี่เท่ากับ 1 และถ้าไลเคนทัลลัสเดียวกันอยู่คาบเกี่ยวมากกว่า 1 ตารางย่อย จะนับความถี่ตามจำนวนตารางย่อยที่คาบเกี่ยว ทำการเก็บตัวอย่างไลเคนที่ไม่สามารถจัดจำแนกชนิดในภาคสนามได้ในซองเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาตรวจสอบในห้องปฏิบัติการภายหลัง พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างเปลือกไม้เพื่อนำมาวัดค่า pH เปลือกไม้ บันทึกลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ที่สำรวจไลเคน เช่น เส้นรอบวงลำต้น ลักษณะของเปลือกไม้ ทิศการวางกรอบสำรวจ ลงในแบบฟอร์มการสำรวจไลเคน (ภาคผนวก ก)



ภาพ 3.7 การวางกรอบสำรวจ (grid frame) บนลำต้นของต้นมะม่วง

จำแนกชนิดไลเคนที่เก็บตัวอย่างมา โดยใช้โครงสร้างภายนอก เช่น ประเภททัลลัส สีทัลลัส ไรซีน ซิเลีย โครงสร้างการสืบพันธุ์ เป็นต้น และโครงสร้างภายใน เช่น สปอร์ ถุงหุ้มสปอร์ ลักษณะ paraphyses เป็นต้น รวมทั้งการใช้สารเคมีในการหยดทดสอบ เช่น สาร K สาร C สาร Lugol's iodine เป็นต้น เพื่อจัดจำแนกชนิดของไลเคน โดยใช้คู่มือการจำแนกชนิดของไลเคน เช่น Key to the lichen genera of Bogor, Cibodas and Singapore (Sipman, 2003), Lichen of tropical forest in Thailand: A field key to characteristic epiphytic species in northern Thailand (Wolseley and Acquirre-Hudson, 1997) และ A Key to Microlichens of India, Nepal and Sri Lanka (Awasthi, 1991) เป็นต้น บางตัวอย่างได้จัดส่งให้แก่ผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบชนิดต่อไป

3.2.2.3 การวิเคราะห์ pH เปลือกไม้

เก็บตัวอย่างเปลือกไม้จากลำต้นของต้นมะม่วงที่ทำการสำรวจ เก็บรอบลำต้น ที่ระดับความสูง 1 – 1.5 เมตร โดยหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีไลเคนขึ้นคลุม เก็บเปลือกไม้หนา 2 - 3 มิลลิเมตร เก็บไว้ในซองเก็บเปลือกไม้และนำไปไว้ในตู้เย็นจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ จากนั้นนำเปลือกไม้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักให้ได้ 2 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาวัด pH ด้วยเครื่องวัด pH (Staxäng, 1969)

3.2.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลจำนวนชนิดและความถี่ของไลเคนในแต่ละพื้นที่ศึกษา ไปคำนวณหาดัชนีความหลากหลายของแชนนอนวีเนอร์ (Shannon – Wiener’s Diversity Index: H') ค่าความสม่ำเสมอ (Evenness: E) และค่าความหลากหลายชนิด (species richness) และจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษา ด้วยโปรแกรม MVSP version 3.1 ทำการเปรียบเทียบความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษาทุกพื้นที่ รวมทั้งวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหลากหลายของไลเคนกับระยะห่างจากโรงไฟฟ้าและค่า pH เปลือกไม้ ในแต่ละพื้นที่ศึกษา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation coefficient / Pearson Correlation: r) ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for social Science) for window Version 14.0

3.2.3 Passive sampling technique

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศในแต่ละพื้นที่ศึกษา โดยเก็บตัวอย่างอากาศในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในฤดูแล้งทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ในช่วงวันที่ 21- 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ส่วนฤดูฝนทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เช่นกัน ในช่วงวันที่ 5 - 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2552

3.2.3.1 การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีในการเก็บตัวอย่างอากาศ

1. หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ

ใช้หลอดเก็บตัวอย่างอากาศชนิดโพลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ที่มีความยาว 5.4 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร โดยล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) ด้วยเครื่อง ultrasonicator เป็นเวลา 30 นาที 2 - 3 ครั้ง นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน (Khaoodee, 2006)

2. กระดาษกรอง

ใช้กระดาษกรอง Whatman (GF/A) โดยตัดกระดาษกรองให้มีขนาดพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหลอดเก็บตัวอย่าง นำกระดาษกรองที่ตัดแล้ว นำไปทำความสะอาดด้วยน้ำ DI โดยแช่ด้วยเครื่อง ultrasonicator เป็นเวลา 15 นาที แล้วล้างด้วยน้ำ DI อีก 2 - 3 ครั้ง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 คืน เก็บกระดาษกรองที่เตรียมแล้วในอุปกรณ์ควบคุมความชื้น (desiccators) จนกว่าจะนำไปใช้ ใส่กระดาษกรองลงในหลอดเก็บตัวอย่าง โดยให้กระดาษกรองอยู่ล่างสุดของหลอดเก็บตัวอย่าง (Khaoodee, 2006)

3. สารดูดซับ

สารดูดซับที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามวิธีของ Khaodee (2006) คือไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine ; TEA) 12 % ที่มีส่วนผสมกลีเซอริน (Glycerin) 4 % ซึ่งเตรียมได้จาก ปิเปตสาร TEA มาปริมาตร 12 มิลลิลิตร และกลีเซอริน 4 มิลลิลิตร เติมลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบ 100 มิลลิลิตร

3.2.3.2 การวางหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ

ในการวางเก็บตัวอย่างอากาศของแต่ละพื้นที่ศึกษา จะใช้หลอดเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 8 หลอดต่อพื้นที่ศึกษา สำหรับเป็นหลอดเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 5 หลอด และเป็น blank จำนวน 3 หลอด ซึ่งหลอดเก็บตัวอย่างอากาศเตรียมได้จาก นำสารดูดซับ (12 % TEA + 4 % Glycerin) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ฉีดลงในกระดวยกรอง Whatman (GF/A) ที่บรรจุอยู่ในหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ ปิดฝาหลอดและพันด้วยพาราฟิล์ม แล้วนำหลอดเก็บตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ว บรรจุลงในกล่องป้องกัน (shelter) เพื่อช่วยป้องกันหรือลดผลกระทบจากสภาพสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น แสง ลม ฝน และฝุ่นละอองต่างๆ ไม่ให้เข้าไปรบกวนภายในหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ นำกล่องป้องกันไปแขวนที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ที่ระดับความสูงเหนือพื้นดิน 1.5 – 2 เมตร โดยผูกติดกับสิ่งยึดเกาะให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้กล่องป้องกันเคลื่อนที่ได้ (ภาพ 3.8) เปิดฝาหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ ส่วนหลอดเก็บตัวอย่างที่เป็น blank จะปิดฝาหลอดไว้ บันทึกเวลาที่เริ่มแขวนทดสอบ ทั้งไว้เป็นเวลา 7 วัน (168 ชั่วโมง) เมื่อครบกำหนดเวลา บันทึกเวลาเก็บหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ และเก็บหลอดเก็บตัวอย่างอากาศโดยปิดฝาหลอดให้สนิทและพันด้วยพาราฟิล์ม เก็บไว้ในถุงซิปล็อกในกล่องโฟมที่รักษาอุณหภูมิต่ำ เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ เก็บหลอดเก็บตัวอย่างอากาศไว้ในตู้เย็นจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ (Khaodee, 2006)



ภาพ 3.8 การวางหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ

3.2.3.3 การสกัดตัวอย่าง

ก่อนสกัดตัวอย่าง ควรล้างด้านนอกของหลอดเก็บตัวอย่างอากาศด้วยน้ำให้สะอาด ทำการสกัดตัวอย่างด้วยการเติมน้ำ DI ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ ปิดฝานำไปเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonicator เป็นเวลา 15 นาที เพื่อสกัดสารละลายซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) คูดสารละลายที่ได้ด้วยกระบอกฉีดยา (syringe) ขนาด 3 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วย glass syringe filter (cellulose acetate ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร) จะได้สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ไอออนโครมาโตกราฟีต่อไป (Khaodee, 2006)

3.2.3.4 การวิเคราะห์ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ

1. การเตรียม eluent หรือ mobile phase

สาร eluent $3.2 \text{ mM Na}_2\text{CO}_3 / 1.0 \text{ mM NaHCO}_3$ เตรียมได้จาก ชั่งสาร Na_2CO_3 3.4046 กรัม และ NaHCO_3 0.8426 กรัม ละลายด้วยน้ำ DI ในบีกเกอร์ เทสารละลายทั้งสองลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายที่เตรียมได้ มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบ 1,000 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 2 ครั้ง จะได้สาร eluent 2 ลิตร นำสาร

eluent ที่ได้กรองด้วยกรวยกรองและ cellulose acetate membrane ขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วทำการ degassed ด้วยเครื่อง ultrasonicator เป็นเวลา 30 นาที (Khaodee, 2006)

2. การเตรียม suppresser (100 mM H₂SO₄)

suppresser (100 mM H₂SO₄) เตรียมได้จาก ปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H₂SO₄) มาปริมาตร 5.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบ 1,000 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้กรองด้วย 0.45 µm cellulose acetate membrane (Khaodee, 2006)

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน (standards solution)

สารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของซัลเฟตไอออน (SO₄²⁻) ใช้ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm โดยเตรียมได้จาก ปิเปตสารละลายซัลเฟตมาตรฐาน ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จะได้สารละลายซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 10 ppm จากนั้นปิเปตสารละลายซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 10 ppm มาปริมาตร 250, 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 ไมโครลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบ จะได้สารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm ตามลำดับ (Khaodee, 2006)

4. การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออน (SO₄²⁻)

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ หาได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออน (SO₄²⁻) ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง ดังตาราง 3.2 (Wiriya, 2008)

ตาราง 3.2 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ สำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ

Analysis item	Anion
Eluent	3.2 mM Na ₂ CO ₃ /1.0 mM NaHCO ₃
Flow late	0.70 ml/min
Volume	20 µl
Analysis column	Metrosep A supp 5 – 250 (4.0 x 250 mm)
Particle size	5.0 µm
Suppressor	Anion self-generating suppressor with DI water / 100 mM H ₂ SO ₄
Temperature	20.0 °C
Pressure	12.0 MPa

เริ่มด้วยการจัดสถานะที่เหมาะสมให้กับเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ ตามด้วยการ run base line จนนิ่ง (ประมาณ 1 ชั่วโมง) ตามด้วยการฉีดสารละลายมาตรฐานทั้ง 6 ความเข้มข้น เพื่อใช้ทำกราฟมาตรฐาน แล้วจึงตามด้วยการฉีดสารตัวอย่าง ซึ่งจะได้ความเข้มข้นของซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ในหน่วย ppm หลังจากนั้นทำการคำนวณโดยใช้สูตร 2.4, 2.5 และ 2.6 (หน้า 20) ได้ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วย ppbv

3.2.4 การหาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความหลากหลายของไลเคน

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในแต่ละพื้นที่ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation coefficient / Pearson Correlation: r) ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for social Science) for window Version 14.0

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการศึกษาความหลากหลายของไลเคน และการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในพื้นที่หมู่บ้านบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ทั้งหมด 10 พื้นที่ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ - กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 การศึกษาความหลากหลายของไลเคน

4.1.1 การศึกษาชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคน

จากการสำรวจชนิดของไลเคนในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 10 พื้นที่ ของหมู่บ้านในบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2552 ซึ่งได้สำรวจจากต้นมะม่วงจำนวน 100 ต้น พบไลเคนทั้งหมด 13 วงศ์ (family) 24 สกุล (genus) 43 ชนิด (species) ประกอบด้วยไลเคนกลุ่มโพลิโอสจำนวน 5 สกุล 11 ชนิด และเป็นไลเคนกลุ่มครัสโตสจำนวน 19 สกุล 32 ชนิด โดยไลเคนส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในสกุล *Dirinaria*, *Pyxine*, *Chrysothrix*, *Cryptothecia*, *Arthonia*, *Lecanographa*, *Laurera* และ *Hyperphyscia* ส่วนน้อยที่พบเป็นไลเคนที่อยู่ในสกุล *Buellia*, *Ocellularia* และ *Chapsa* มีไลเคนที่ไม่สามารถจัดจำแนกสกุลได้ 1 ตัวอย่าง ดังตาราง 4.1 นอกจากนี้ไลเคน *Dirinaria picta* และ *Pyxine cocoes* เป็นไลเคนที่พบในความถี่สูงและพบในทุกพื้นที่ศึกษา ไลเคนที่พบบ่อยและมีความถี่สูงได้แก่ ไลเคนชนิด *Chrysothrix xanthina*, *Arthonia tumidula*, และ *Laurera subbenguensis* ซึ่งพบได้ในพื้นที่ศึกษา 9 แห่ง จากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 10 แห่ง (ตาราง 4.2) ไลเคนที่พบน้อยที่สุด ซึ่งพบในพื้นที่ศึกษาเพียงแห่งเดียวและมีความถี่ต่ำ ได้แก่ ไลเคนชนิด *Arthonia* sp.2 พบที่บ้านแม่ทะ *Chapsa* sp. พบที่บ้านสบป่าด *Rinodina* sp.2 พบที่บ้านแม่จาง *Physcia* cf. *erumpens* และ *Ocellularia* sp. พบที่บ้านปางป๋วย *Arthonia* sp.3, *Lecanora* sp.4 และ *Porina* sp.2 พบที่บ้านกอรอก และ cf. *Anisomeridium* sp.2 พบที่บ้านท่าสี่

ตาราง 4.1 รายชื่อวงศ์ สกุลและชนิดของไลเคนที่พบจากการสำรวจในพื้นที่ศึกษา
(จัดจำแนกตาม Purvis *et al.*, 1992)

Thallus Type	Family	Genus	Species
Foliose	Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i>	<i>P. praesorediosum</i>
			<i>P. tinctorum</i>
	Physciaceae	<i>Dirinaria</i>	<i>D. picta</i>
	Physciaceae	<i>Hyperphyscia</i>	<i>H. adglutinata</i>
			<i>H. pandani</i>
			<i>H. cf. tuckermanii</i>
	Physciaceae	<i>Physcia</i>	<i>P. cf. dilatata</i>
			<i>P. cf. erumpens</i>
			<i>P. poncinsii</i>
			<i>P. undulata</i>
	Physciaceae	<i>Pyxine</i>	<i>P. cocoes</i>
Crustose	Arthoniaceae	<i>Arthonia</i>	<i>A. tumidula</i>
			<i>Arthonia</i> sp.2
			<i>Arthonia</i> sp.3
	Arthoniaceae	<i>Arthothelium</i>	<i>Arthothelium</i> sp.1
			<i>Arthothelium</i> sp.2
	Arthoniaceae	<i>Cryptothecia</i>	<i>Cryptothecia</i> sp.
	Chrysothricaceae	<i>Chrysothrix</i>	<i>C. xanthina</i>
	Gyalectaceae	<i>Dimerella</i>	<i>Dimerella</i> sp.
	Lecanoraceae	<i>Lecanora</i>	<i>L. ecoronata</i>
			<i>L. leprosa</i>
			<i>Lecanora</i> sp.3
			<i>Lecanora</i> sp.4
	Monoblastiaceae	cf. <i>Anisomeridium</i>	cf. <i>Anisomeridium</i> sp.1
			cf. <i>Anisomeridium</i> sp.2
	Physciaceae	<i>Buellia</i>	<i>Buellia</i> sp.

ตาราง 4.1 (ต่อ) รายชื่อวงศ์ สกุลและชนิดของไลเคนที่พบจากการสำรวจในพื้นที่ศึกษา
(จัดจำแนกตาม Purvis *et al.*, 1992)

Thallus Type	Family	Genus	Species
Crustose	Physciaceae	<i>Rinodina</i>	<i>Rinodina</i> sp.1
			<i>Rinodina</i> sp.2
	Pyrenulaceae	<i>Pyrenula</i>	<i>Pyrenula</i> sp.
	Bacidiaceae	<i>Bacidia</i>	<i>Bacidia</i> sp.1
			<i>Bacidia</i> sp.2
			<i>Bacidia</i> sp.3
	Roccellaceae	<i>Lecanographa</i>	<i>Lecanographa</i> sp.
	Thelotremataceae	<i>Chapsa</i>	<i>Chapsa</i> sp.
	Thelotremataceae	<i>Ocellularia</i>	<i>Ocellularia</i> sp.
	Thelotremataceae	<i>Leucodecton</i>	<i>L. occultum</i>
	Trichotheliaceae	<i>Porina</i>	<i>P. aciculosa</i>
			<i>Porina</i> sp.2
	Trypetheliaceae	<i>Laurera</i>	<i>L. subbenguelensis</i>
			<i>Laurera</i> sp.2
	Trypetheliaceae	<i>Trypethelium</i>	<i>T. aff. tropicum</i>
			<i>T. eluteriae</i>
	ไม่ทราบ	ไม่ทราบ	Unknown1

ตาราง 4.2 ความถี่รวมของจำนวนไลเคนแต่ละชนิด ในพื้นที่ศึกษา

ไลเคน	ความถี่ไลเคนในพื้นที่ศึกษา										ความถี่รวม
	แม่ทะ	ป่าไม้	สบนามะ	สบน้ำ	แม่จาง	ปางปวย	สบนาง	กอรวก	ท่าสี	ดง	
<i>Dirinaria picta</i>	45	43	27	18	47	82	77	66	26	58	489
<i>Pyxine cocoes</i>	35	19	12	24	4	1	47	4	55	2	203
<i>Crysothrix xanthina</i>	8	46	25	18		10	21	20	41	10	199
<i>Cryptothecia</i> sp.	63			20	6		7	27	16		139
<i>Arthonia tumidula</i>	12	20	9	26	12	3		9	2	11	104
<i>Lecanographa</i> sp.	12						24	7	16	16	75
<i>Laurera subbenguelensis</i>	6	3	3		6	4	1	22	1	1	47
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	19	6	1	12	1				5		44
<i>Leconora ecoranata</i>	5	16		1		16				1	39
<i>Trypethelium</i> aff. <i>tropicum</i>	2	7	3		3	7	2	6		9	39
<i>Lecanora leprosa</i>	6	6	1	3	1	17		3			37
<i>Parmotrema praesorediosum</i>		3	1			3		2	2	11	22
<i>Trypethelium eluteriae</i>			1		1	4	5	6	1	3	21
<i>Parmotrema tinctorum</i>			3	1	1	4	1	4	1	4	19
<i>Bacidia</i> sp.1	5			11	1				2		19
<i>Physcia poncinsii</i>	6	2		3	5	1				1	18
<i>Bacidia</i> sp.2									15		15
<i>Laurera</i> sp.2		2			2	1		9		1	15
<i>Arthothelium</i> sp.2								4		10	14
<i>Physcia undulata</i>			1						9		10
Unknown					7			3			10
<i>Rinodina</i> sp.1			5		1				3		9
<i>Porina aciculosa</i>							6	3			9
cf. <i>Anisomeridium</i> sp.1					1		1			4	6
<i>Arthothelium</i> sp.1				4	2						6

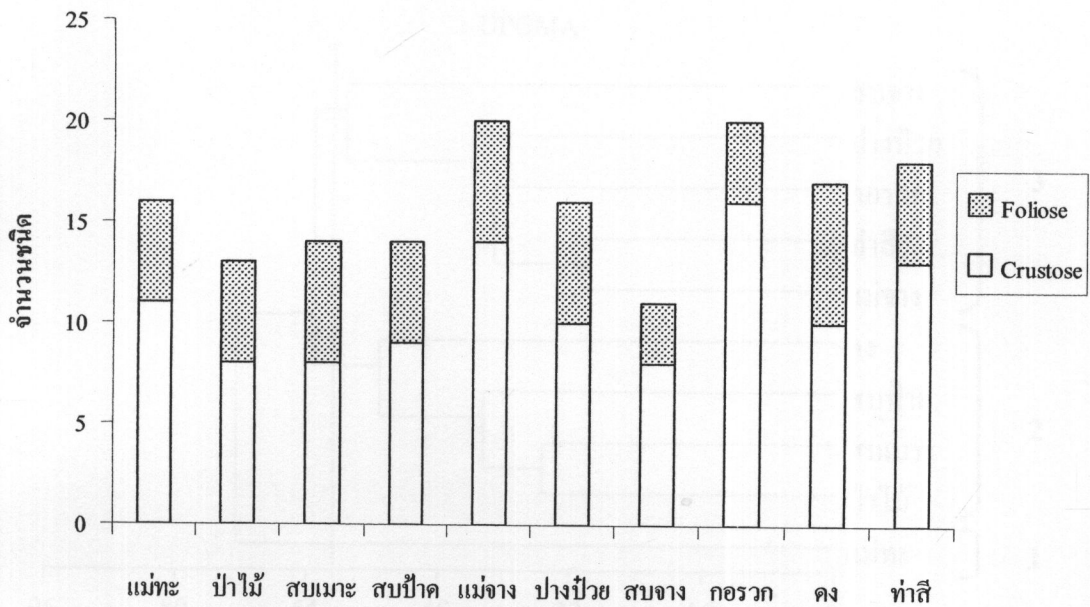
ตาราง 4.2 (ต่อ) ความถี่รวมของจำนวนไลเคนแต่ละชนิด ในพื้นที่ศึกษา

ไลเคน	ความถี่ไลเคนในพื้นที่ศึกษา										ความถี่รวม
	แม่ทะ	ป่าไผ่	สบเมะ	สบป่าด	แม่จาง	ปางป๋วย	สบจาง	กอรวก	ท่าสี่	ดง	
<i>Lecodecton occultum</i>						3				3	6
<i>Physcia</i> cf. <i>dilatata</i>									5		5
<i>Dimerella</i> sp.				5							5
<i>Lecanora</i> sp.3	5										5
<i>Hyperphyscia pandani</i>					4						4
<i>Hyperphyscia</i> cf. <i>tuckermanii</i>	4										4
<i>Bacidia</i> sp.3			4								4
<i>Pyrenula</i> sp.					1				1	2	4
<i>Buellia</i> sp.		1						1			2
<i>Ocellularia</i> sp.						2					2
<i>Physcia</i> cf. <i>erumpens</i>						1					1
cf. <i>Anisomeridium</i> sp.2										1	1
<i>Arthonia</i> sp.2	1										1
<i>Arthonia</i> sp.3								1			1
<i>Lecanora</i> sp.4								1			1
<i>Rinodina</i> sp.2					1						1
<i>Chapsa</i> sp.				1							1
<i>Porina</i> sp.2								1			1

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนชนิดของไลเคนกลุ่มครัสโตส กับจำนวนชนิดของไลเคนกลุ่มโฟลิโอส ที่พบในแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าทุกพื้นที่ศึกษามีจำนวนชนิดของครัสโตสมากกว่าจำนวนชนิดของโฟลิโอส ซึ่งในพื้นที่ศึกษาที่ 5 และ 8 คือบ้านแม่จางและบ้านกอรวพบจำนวนชนิดของไลเคนมากที่สุดคือ 20 ชนิด รองลงมาคือพื้นที่ศึกษาที่ 10 บ้านท่าสี่ พบไลเคนจำนวน 18 ชนิด ในขณะที่พื้นที่ศึกษาที่ 7 บ้านสบจางพบจำนวนชนิดของไลเคนน้อยที่สุดเพียง 11 ชนิด ดังตาราง 4.3 และภาพ 4.1

ตาราง 4.3 จำนวนชนิดของไลเคนกลุ่มครัสโตสและไลเคนกลุ่มโฟลิโอสในแต่ละพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	จำนวนชนิดของไลเคน		
		Crustose	Foliose	รวม
1	บ้านแม่ทะ	11	5	16
2	บ้านป่าไม้	8	5	13
3	บ้านสบเมะ	8	6	14
4	บ้านสบป่าด	9	5	14
5	บ้านแม่จาง	14	6	20
6	บ้านปางป๋วย	10	6	16
7	บ้านสบจาง	8	3	11
8	บ้านกอรวก	16	4	20
9	บ้านดง	10	7	17
10	บ้านท่าสี่	13	5	18
รวม		32	11	43



ภาพ 4.1 จำนวนชนิดของไลเคนกลุ่มครัสโตสและไลเคนกลุ่มโฟลิโอส ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

จากการจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษา (Cluster Analysis) โดยใช้ข้อมูลชนิดและความถี่ของไลเคนในแต่ละพื้นที่ ด้วยวิธี UPGMA Euclidean ด้วยโปรแกรม MVSP version 3.1 พบว่า สามารถจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษาได้เป็น 3 กลุ่ม ดังภาพ 4.2 และ ภาพ 4.3 ได้แก่ กลุ่ม 1 ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษาที่ 1 บ้านแม่ทะ พบไลเคนชนิด *Cryptothecia* sp., *Dirinaria picta* และ *Pyxine cocoas* มีความถี่สูงสุด นอกจากนี้ยังพบ *Hyperphyscia adglutinata*, *Lecanographa* sp. และ *Physcia poncinsii* และเป็นพื้นที่เดียวที่พบ *Hyperphyscia* cf. *tuckermanii*, *Arthonia* sp.2 และ *Lecanora* sp.3

กลุ่ม 2 ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษาที่ 2, 3, 4 และ 9 ได้แก่ หมู่บ้านป่าไม้ บ้านสบเมะ บ้านสบป่าด และบ้านดง พบไลเคนชนิด *Chrysothrix xanthina*, *Dirinaria picta*, *Pyxine cocoas* และ *Arthonia tumidula* มีความถี่สูงสุด ในกลุ่ม 2 พบไลเคน 6 ชนิด ที่ไม่พบในกลุ่ม 1 และ 3 ได้แก่ *Physcia* cf. *dilatata*, *Physcia undulata*, *Bacidia* sp.2, *Bacidia* sp.3, *Dimerella* sp. และ *Chapsa* sp.

กลุ่ม 3 ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษา 5, 6, 7, 8 และ 10 ได้แก่ หมู่บ้านแม่จาง บ้านปางปัว บ้านสบจาง บ้านกอรวก และบ้านท่าสี พบไลเคนชนิด *Dirinaria picta* มีความถี่สูงกว่ากลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 อย่างชัดเจน และพบไลเคน *Parmotrema praesorediosum*, *Parmotrema tinctorum*, *Laurera subbenguelensis*, *Laurera* sp.2, *Lecanographa* sp., *Lecanora leprosa* และ *Trypethelium eluteriae* มีความถี่สูงกว่ากลุ่ม 2 นอกจากนี้ยังพบไลเคน 13 ชนิด ที่พบเพียงในกลุ่ม 3 เช่น cf. *Anisomeridium* sp.1, cf. *Anisomeridium* sp.2, *Arthothelium* sp.2, *Porina aciculosa*, *Leucodecton occultum*, *Ocellularia* sp. และ Unknown เป็นต้น (ตาราง 4.2)

4.1.2 การศึกษาความหลากหลายของไลเคน

จากข้อมูลชนิดและความถี่ของไลเคนที่พบในแต่ละพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 10 พื้นที่ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าดัชนีความหลากหลายของแซนนอนวีเนอร์ (Shannon – Wiener’s Diversity Index: H') ค่าความสม่ำเสมอ (Evenness: E) และค่าความหลากหลายชนิด (species richness) พบว่าพื้นที่ศึกษาที่ 8 บ้านกอรวกมีค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนสูงที่สุด คือ 2.30 และมีความหลากหลายชนิดของไลเคน (species richness) สูงสุด คือ 20 ชนิด รองลงมาคือ บ้านสบป่าด บ้านแม่ทะ บ้านดง บ้านท่าลี บ้านแม่จาง บ้านป่าไม้ บ้านสบเมะ และบ้านปางป๋วย ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ศึกษาที่ 7 บ้านสบจางมีค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนต่ำที่สุด คือ 1.67 และมีความหลากหลายชนิดของไลเคนน้อยที่สุดเพียง 11 ชนิด สำหรับค่าความสม่ำเสมอของไลเคนในแต่ละพื้นที่ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.65 – 0.86 โดยพื้นที่ศึกษาที่ 4 บ้านสบป่าด มีค่าความสม่ำเสมอของไลเคนสูงที่สุด (ตาราง 4.4)

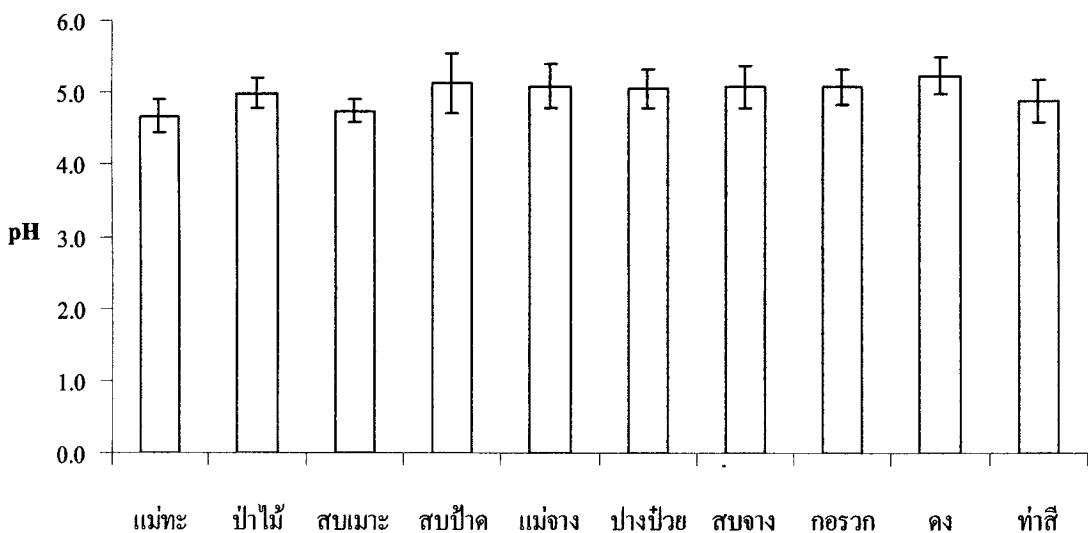
ตาราง 4.4 ดัชนีความหลากหลาย (diversity index) ค่าความสม่ำเสมอ (evenness) และความหลากหลายชนิด (species richness) ของไลเคนในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	Diversity Index	Evenness	Species richness
บ้านแม่ทะ	2.24	0.81	16
บ้านป่าไม้	2.04	0.80	13
บ้านสบเมะ	2.04	0.77	14
บ้านสบป่าด	2.26	0.86	14
บ้านแม่จาง	2.14	0.71	20
บ้านปางป๋วย	1.81	0.65	16
บ้านสบจาง	1.67	0.70	11
บ้านกอรวก	2.30	0.77	20
บ้านดง	2.17	0.77	17
บ้านท่าลี	2.17	0.75	18

4.2 การศึกษา pH เปลือกไม้ของต้นมะม่วงในพื้นที่ศึกษา

จากการวัดค่า pH เปลือกไม้ของต้นมะม่วงที่ทำการศึกษาทั้งหมดจำนวน 100 ต้น ใน 10 พื้นที่ศึกษา พบว่าค่า pH เปลือกไม้ของต้นมะม่วงมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.67 – 5.23 ซึ่งค่า pH เปลือกไม้ของทุกพื้นที่ศึกษามีค่าค่อนข้างเป็นกรด โดยพื้นที่ศึกษาที่เปลือกไม้มีค่า pH เฉลี่ยน้อยที่สุดคือพื้นที่ศึกษาที่ 1 บ้านแม่ทะ (4.67) ส่วนพื้นที่ศึกษาที่เปลือกไม้มีค่า pH เฉลี่ยมากที่สุดคือพื้นที่ศึกษาที่ 9 บ้านคง (5.23) ดังตาราง 4.5 จากการนำข้อมูลค่า pH เปลือกไม้ของแต่ละพื้นที่ศึกษา มาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกไม้ในแต่ละพื้นที่ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) พบว่าค่า pH เปลือกไม้ของแต่ละพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($F^* = 4.079, p < 0.05$) ดังภาพ 4.4 และตาราง 4.5

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH เปลือกไม้ของแต่ละพื้นที่ศึกษากับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในแต่ละพื้นที่ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าค่า pH เปลือกไม้ไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในแต่ละพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($r = -0.096, p < 0.05$) (ภาคผนวก ค) (ภาพ 4.5)

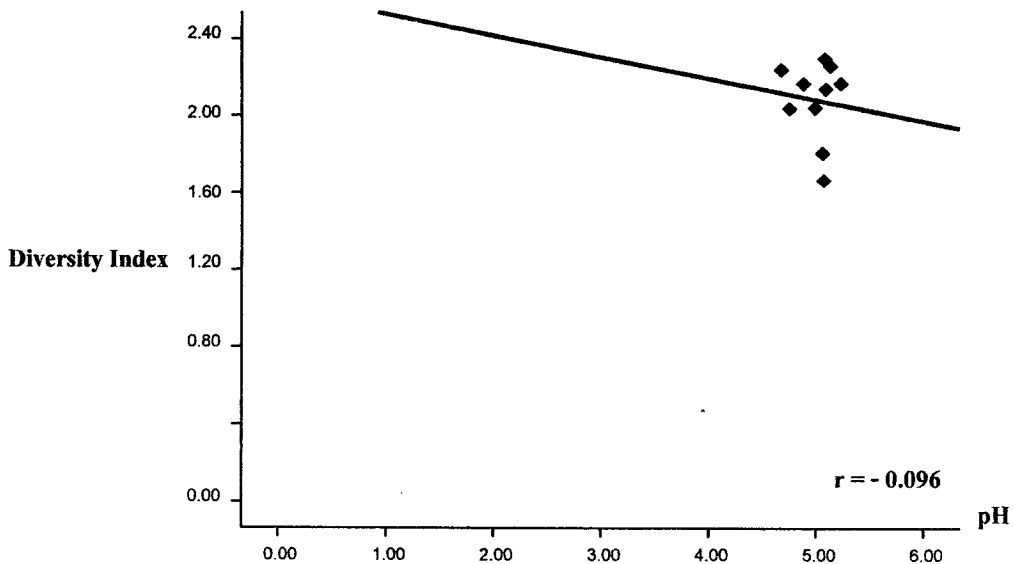


ภาพ 4.4 ค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกต้นมะม่วงในแต่ละพื้นที่ศึกษา

ตาราง 4.5 pH โดยเฉลี่ยของเปลือกดินมะม่วงในแต่ละพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	pH เปลือกไม้ $\pm$ SD	ดัชนีความหลากหลายของโลเคน
แม่ทะ	4.67 $\pm$ 0.23 ^a	2.24
ป่าไม้	4.99 $\pm$ 0.20 ^{abc}	2.04
สบเมะ	4.75 $\pm$ 0.16 ^{ab}	2.04
สบป่าด	5.13 $\pm$ 0.41 ^{bc}	2.26
แม่จาง	5.09 $\pm$ 0.30 ^{bc}	2.14
ปางป๋วย	5.06 $\pm$ 0.26 ^{abc}	1.81
สบจาง	5.07 $\pm$ 0.30 ^{bc}	1.67
กอรวก	5.08 $\pm$ 0.24 ^{bc}	2.30
ดง	5.23 $\pm$ 0.25 ^c	2.17
ท่าสี่	4.88 $\pm$ 0.30 ^{abc}	2.17

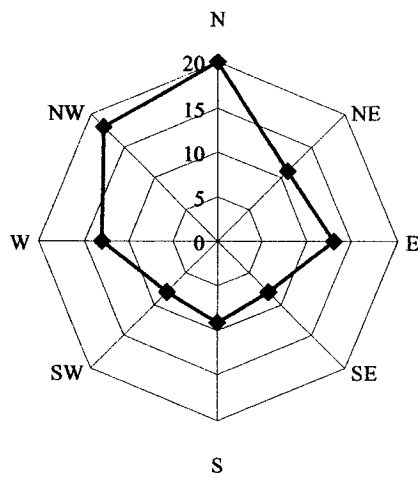
หมายเหตุ a, b, c แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกไม้ โดยข้อมูลชุดที่มีตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (one-way ANOVA, $p < 0.05$)



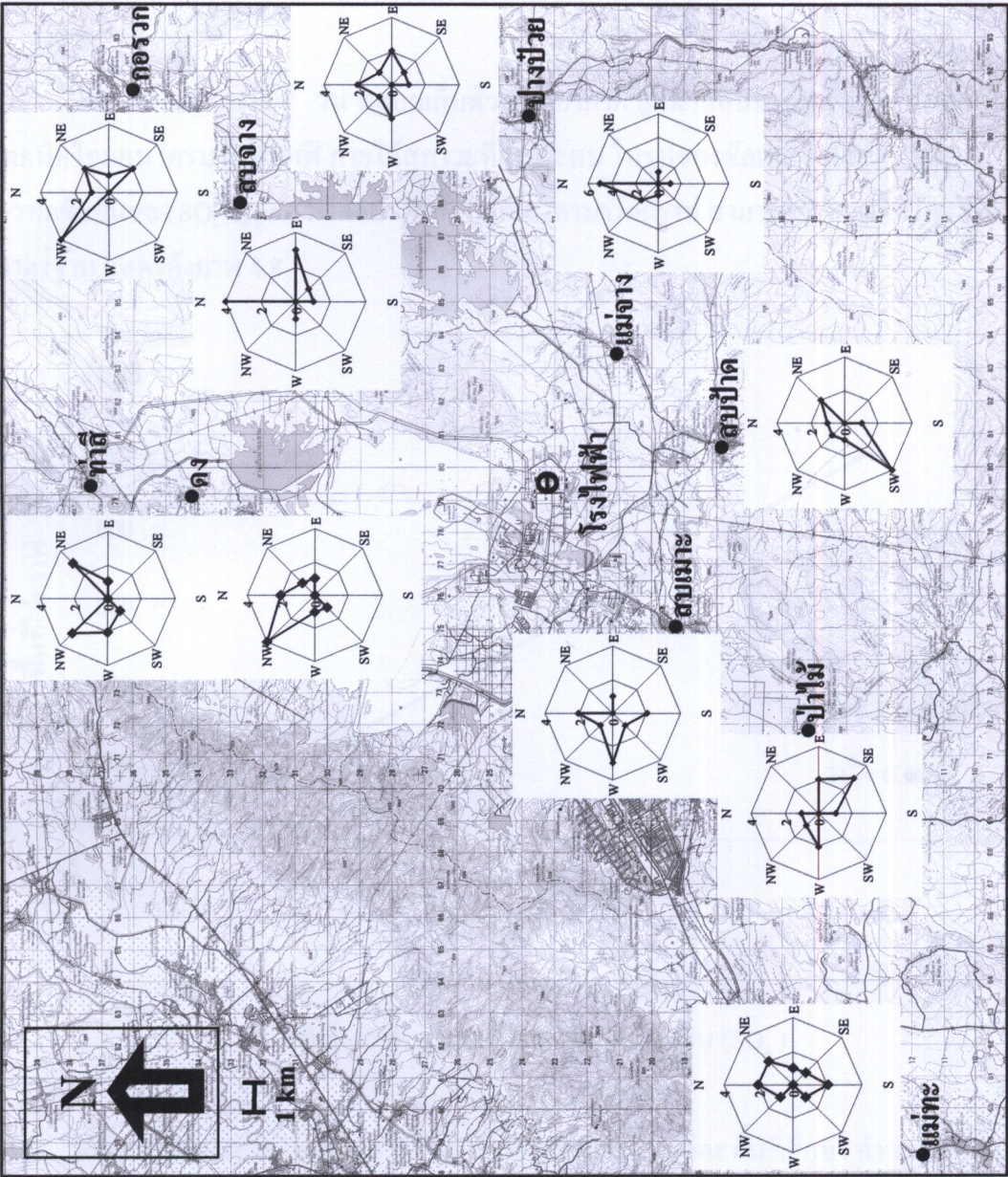
ภาพ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH เปลือกไม้กับดัชนีความหลากหลายของโลเคนในพื้นที่ศึกษา

4.3 ทิศทางบนด้นมะม่วงที่พบไคเลนมากที่สุด

จากการบันทึกทิศทางการวางกรอบสำรวจ ที่วางทาบบนลำต้นของต้นมะม่วง ซึ่งเลือกวางบนลำต้นด้านที่มีไคเลนขึ้นมากหรือหลากหลายที่สุด พบว่าทิศทางที่พบไคเลนมากที่สุด คือ ทิศเหนือ รองลงมาเป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ ส่วนในทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ พบน้อย (ภาพ 4.6) อย่างไรก็ตามเมื่อแยกข้อมูลที่บ้านทีกได้ของแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าทิศทางการวางกรอบสำรวจมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ศึกษา ดังภาพ 4.7



ภาพ 4.6 จำนวนทิศทางบนด้นมะม่วงที่พบไคเลนมากที่สุด

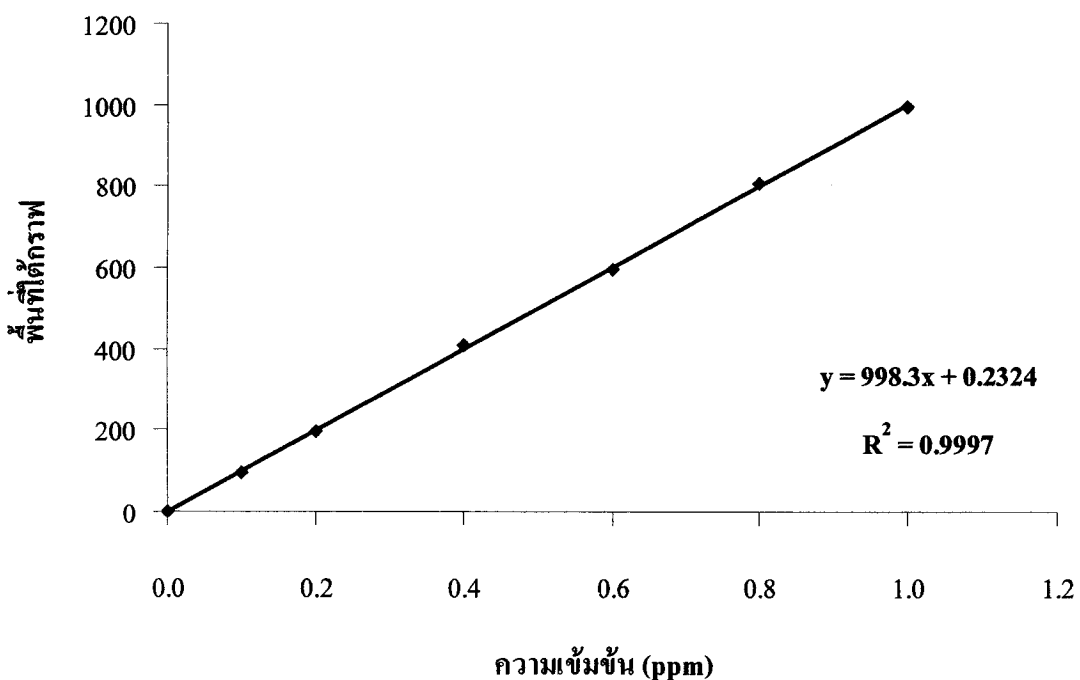


ภาพ 4.7 ทิศทางบนดินมะม่วงที่พบไต่ลมามากที่สุด ในแต่ละพื้นที่ศึกษา (กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด, 2542)

4.4 การตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ

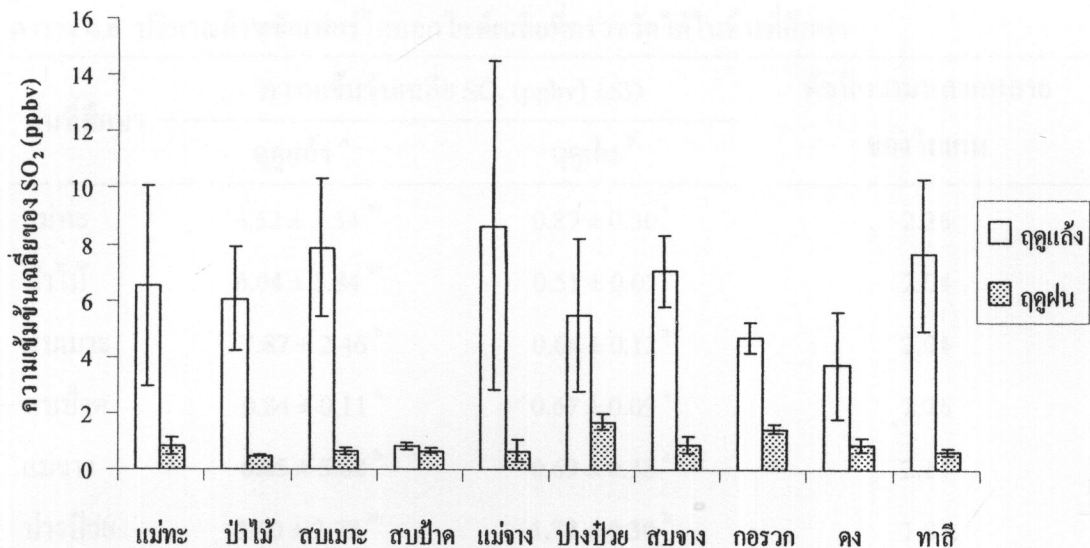
ตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 10 พื้นที่ ซึ่งได้เก็บตัวอย่างอากาศของฤดูแล้ง ในช่วงวันที่ 21 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 และฤดูฝน ในช่วงวันที่ 5 - 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 โดยในแต่ละพื้นที่ที่ศึกษาได้ทำการวางหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่บรรจุในกล่องป้องกัน จำนวน 8 หลอด/พื้นที่ โดยทำการแขวนหลอดเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่เป็นเวลา 7 วัน

หลังจากแขวนไว้ 7 วัน หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ ถูกนำกลับมาเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ในรูปของซัลเฟตไอออน (SO_4^-) โดยความเข้มข้นของ SO_4^- (ppm) ที่ได้จากเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี สามารถคำนวณได้โดยใช้กราฟมาตรฐาน แสดงดังภาพ 4.8



ภาพ 4.8 กราฟมาตรฐานของซัลเฟตไอออน (SO_4^-)

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ ในแต่ละพื้นที่ที่ศึกษา คำนวณได้โดยใช้สมการ 2.4 ในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ แล้วทำการคำนวณในสมการ 2.6 จะได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วย ppbv ค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ที่ศึกษา ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน แสดงดังภาพ 4.9



ภาพ 4.9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษา ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน

ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาของฤดูแล้ง ในช่วงที่ตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 0.84 - 8.65 ppbv โดยค่าต่ำสุดที่ตรวจวัดได้พบที่บ้านสบป่าด และค่าสูงสุดที่ตรวจวัดได้พบที่บ้านแม่จาง ในขณะที่ฤดูฝนตรวจวัดปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.51 - 1.72 ppbv โดยค่าต่ำสุดที่ตรวจวัดได้พบที่บ้านป่าไม้ และค่าสูงสุดที่ตรวจวัดได้พบที่บ้านปางป๋วย โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของฤดูแล้งจะมีค่ามากกว่าฤดูฝน ดังตาราง 4.6

จากการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาของฤดูแล้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($F^* = 2.921, p < 0.05$) (ภาคผนวก ค) ในทำนองเดียวกันค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาของฤดูฝน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($F^* = 12.709, p < 0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลจากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของฤดูแล้งและฤดูฝน ไปทำการทดสอบแบบจับคู่ (Pair - test) พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฤดูแล้ง มีความแตกต่างกับในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($t^* = 10.009, p < 0.05$) (ตาราง 4.6)

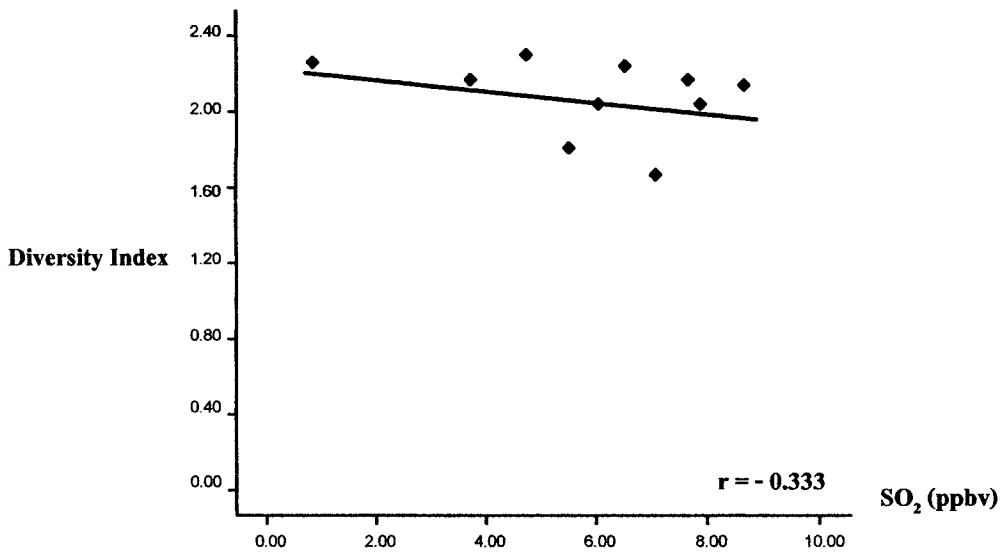
ตาราง 4.6 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	ความเข้มข้นเฉลี่ย SO ₂ (ppbv) ±SD		ดัชนีความหลากหลายของไลเคน
	ฤดูแล้ง ^A	ฤดูฝน ^B	
แม่ทะ	6.52 ± 3.54 ^{ab}	0.87 ± 0.30 ^a	2.26
ป่าไผ่	6.04 ± 1.84 ^{ab}	0.51 ± 0.02 ^a	2.04
สบเมะ	7.87 ± 2.46 ^b	0.64 ± 0.12 ^a	2.04
สบป่าด	0.84 ± 0.11 ^a	0.67 ± 0.09 ^a	2.26
แม่จาง	8.65 ± 5.82 ^b	0.69 ± 0.38 ^a	2.14
ปางป๋วย	5.50 ± 2.72 ^{ab}	1.72 ± 0.30 ^b	1.81
สบจาง	7.07 ± 1.29 ^{ab}	0.93 ± 0.30 ^a	1.67
กอรวก	4.73 ± 0.55 ^{ab}	1.46 ± 0.15 ^b	2.30
ดง	3.72 ± 1.92 ^{ab}	0.88 ± 0.24 ^a	2.17
ท่าสี่	7.65 ± 2.68 ^b	0.67 ± 0.10 ^a	2.17

หมายเหตุ A, B, a, b, c แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ SO₂ โดยข้อมูลชุดที่มีตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (one-way ANOVA, p < 0.05)

เมื่อนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในแต่ละพื้นที่ศึกษา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฤดูแล้งไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (r = - 0.333, p < 0.05)

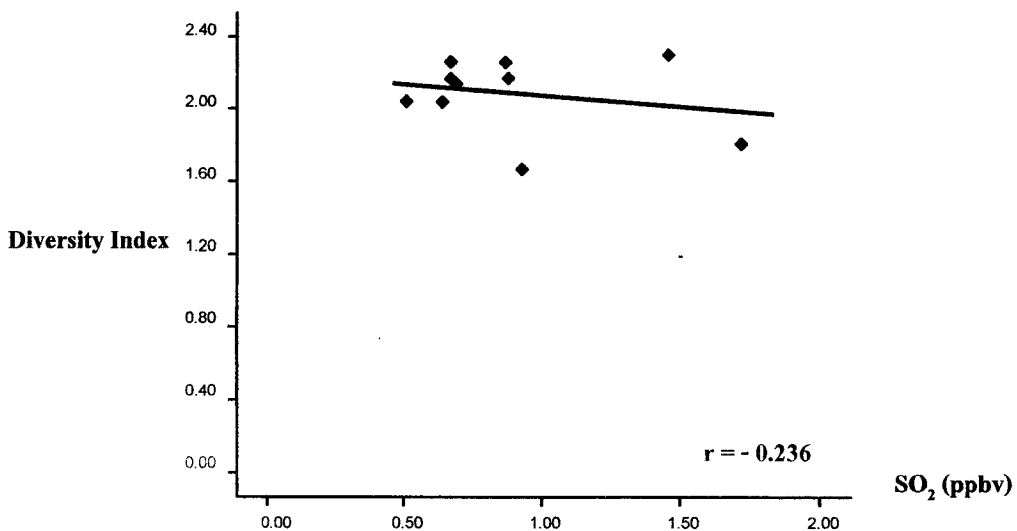
ดังภาพ 4.10



ภาพ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO_2 ถัดลงกับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษา

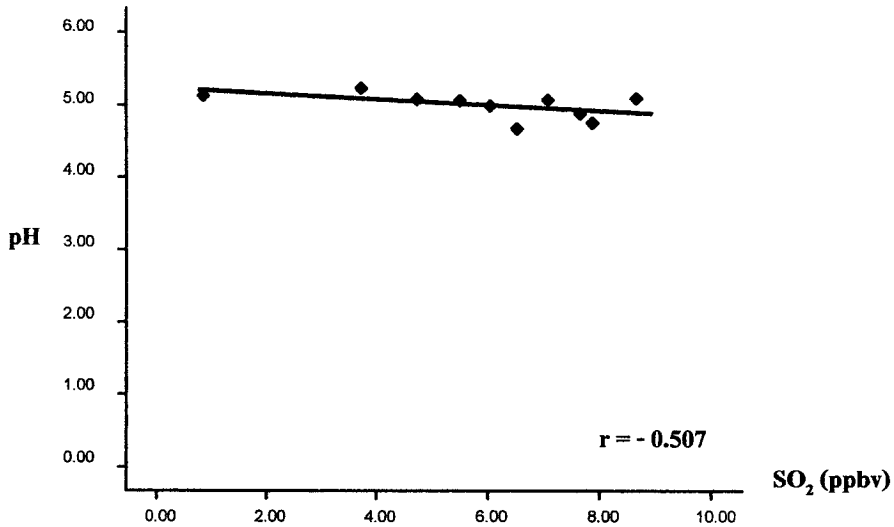
ในทำนองเดียวกัน ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาของฤดูฝนไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในแต่ละพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($r = -0.236$, $p < 0.05$) ดังภาพ 4.11

ซึ่งจากภาพ 4.10 และภาพ 4.11 แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนในช่วงที่ทำการศึกษา จะไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่ก็พอเห็นแนวโน้มว่า ถ้าค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่เพิ่มขึ้นค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่มีแนวโน้มที่จะลดลง

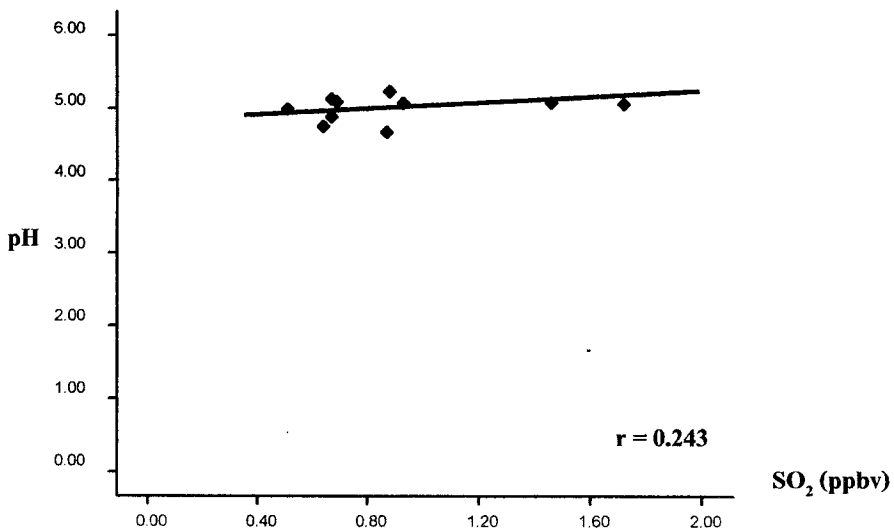


ภาพ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO_2 ถัดลงกับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่กับค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกไม้ของแต่ละพื้นที่ศึกษา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าค่า pH เปลือกไม้ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($r = -0.507$, $p < 0.05$) สำหรับฤดูแล้ง ดังภาพ 4.12 และฤดูฝน ($r = 0.243$, $p < 0.05$) ดังภาพ 4.13



ภาพ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO₂ ฤดูแล้งกับค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกไม้ในพื้นที่ศึกษา



ภาพ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง SO₂ ฤดูฝนกับค่า pH โดยเฉลี่ยของเปลือกไม้ในพื้นที่ศึกษา

บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาพบไลเคนทั้งหมด 13 วงศ์ 24 สกุล 43 ชนิด มีไลเคนบางชนิดกระจายตัวอยู่ในทุกพื้นที่ศึกษา ได้แก่ *Dirinaria picta* และ *Pyxine coccinea* ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Saipunkaew et al. (2005) และ Saipunkaew et al. (2007) ที่พบว่า *Dirinaria picta* และ *Pyxine coccinea* มีการกระจายตัวกว้างในพื้นที่ที่มีระดับความสูง 250 - 400 เมตรจากระดับน้ำทะเล ในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยพบ *Dirinaria picta* และ *Pyxine coccinea* ทั้งในพื้นที่เขตตัวเมืองและพื้นที่เกษตรกรรม โดย *Dirinaria picta* มักพบได้ในบริเวณชานเมืองและชุมชนขนาดเล็ก ซึ่งลักษณะของพื้นที่ที่ทำการศึกษามีบริเวณโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นชุมชนที่มีขนาดเล็ก ส่วน *Pyxine coccinea* มีการกระจายตัวกว้าง มักพบในพื้นที่เขตเมืองที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มาก ในการศึกษาครั้งนี้สำรวจพบไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* ในพื้นที่ศึกษาที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 300 - 400 เมตร ซึ่งจากการศึกษาของ Saipunkaew et al. (2005) ไม่พบไลเคนชนิดนี้บนลำต้นของต้นไม้ในพื้นที่ราบที่ทำการสำรวจแต่พบในบริเวณพื้นที่สูง

จากการศึกษาพบไลเคนในกลุ่มครัสโตสมีจำนวนชนิดมากกว่าไลเคนในกลุ่มโพลิโอสในทุกพื้นที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pomphueak (2005) ที่ทำการศึกษาไลเคนในเขตตัวเมืองและนอกตัวเมืองจังหวัดลำปาง และการศึกษาของ Buaruang et al. (2005) ที่ทำการสำรวจไลเคนบนเกาะครามและเกาะแสมสาร ซึ่งพบจำนวนชนิดของครัสโตสมีมากกว่าโพลิโอส ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทลัสซของครัสโตสไม่ซับซ้อน แบนราบติดกับที่วัตถุยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดี ส่วนโพลิโอสที่พบในพื้นที่ศึกษาเกาะครามและเกาะแสมสาร มีโครงสร้างใกล้เคียงกับครัสโตส เช่น *Dirinaria appplanata* และ *Pyxine coccinea* ซึ่งยึดติดแน่นกับที่เกาะอาศัยและยังเป็นไลเคนชนิดบุกเบิก จึงสามารถเจริญในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Saipunkaew et al. (2005) พบว่าระดับความสูงจากน้ำทะเลของพื้นที่ มีอิทธิพลต่อจำนวนของโพลิโอสไลเคนและครัสโตสไลเคนที่พบ พื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 600 เมตร ขึ้นไป จะพบไลเคนกลุ่มโพลิโอสจำนวนเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 250 - 400 เมตร พบไลเคนกลุ่มครัสโตสเป็นกลุ่มเด่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบไลเคนในกลุ่มครัสโตสมากกว่าโพลิโอสในพื้นที่ที่สำรวจ ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 300 - 400 เมตร

จากการจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลชนิดและความถี่ของไลเคน สามารถจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษาได้เป็น 3 กลุ่ม ดังภาพ 4.2 และภาพ 4.3 ได้แก่ กลุ่ม 1 บ้านแม่ทะ พบไลเคน *Cryptothecia* sp., *Dirinaria picta* และ *Pyxine cocomes* มีความถี่สูง กลุ่ม 2 ประกอบด้วยหมู่บ้านป่าไม้ บ้านสบเมาะ บ้านสบป่าด และบ้านคง พบไลเคนชนิด *Chrysothrix xanthina*, *Dirinaria picta*, *Pyxine cocomes* และ *Arthonia tumidula* มีความถี่สูงและเป็นกลุ่มที่ทนทาน (Saipunkaew et al., 2005; Saipunkaew et al., 2007) ในขณะที่กลุ่ม 3 ประกอบด้วยหมู่บ้านแม่จาง บ้านปางป๋วย บ้านสบจาง บ้านกอรวก และบ้านท่าสี่ พบไลเคนชนิด *Dirinaria picta*, *Parmotrema praesorediosum*, *Parmotrema tinctorum*, *Laurera subbenguelensis*, *Laurera* sp.2, *Lecanographa* sp., *Lecanora leprosa* และ *Trypethelium eluteriae* มีความถี่สูงกว่ากลุ่ม 2 ซึ่งเป็นไลเคนกลุ่มที่พบได้ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากมนุษย์น้อยกว่า (Saipunkaew et al., 2005; Saipunkaew et al., 2007) โดยเฉพาะ *Dirinaria picta* พบในความถี่สูงกว่ากลุ่ม 1 และ 2 มาก ไลเคนชนิดนี้พบได้บ่อยในเขตนอกตัวเมือง แต่ไม่พบในเขตตัวเมืองที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษอากาศ (Saipunkaew et al., 2007) นอกจากนี้ในกลุ่ม 3 ยังพบไลเคนหลายชนิดที่ไม่พบในกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 จากการจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษานี้ พบ *Hyperphyscia adglutinata* ซึ่งเป็นไลเคนที่ทนทานต่อมลพิษอากาศ ในกลุ่ม 1 และ 2 และพบในพื้นที่ศึกษาเพียงหนึ่งแห่งในกลุ่ม 3 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Saipunkaew et al. (2005) ซึ่งพบ *Hyperphyscia adglutinata* มีการกระจายตัวกว้างในพื้นที่ราบของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และมีการกระจายตัวสูงในพื้นที่เขตตัวเมืองและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ Saipunkaew et al. (2007) ยังพบ *Hyperphyscia adglutinata* มีการกระจายตัวสูงในพื้นที่เขตเมืองที่มีจำนวนประชากรสูง

สำหรับไลเคนชนิด *Chrysothrix xanthina* พบในทุกพื้นที่ศึกษา ยกเว้นพื้นที่ศึกษาที่ 5 บ้านแม่จาง โดยพบความถี่ในกลุ่ม 2 สูงกว่า กลุ่ม 3 และกลุ่ม 1 ตามลำดับ จากการศึกษานี้ของ Saipunkaew et al. (2005) ในพื้นที่เมืองและรอบเมืองเชียงใหม่ จะพบไลเคนชนิด *Chrysothrix xanthina* กระจายตัวทั้งพื้นที่สูงและพื้นที่ราบ ซึ่งในพื้นที่สูงนั้นจะพบในป่าที่เกิดไฟป่าเป็นประจำ เป็นไลเคนชนิดที่ทนทาน ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบไลเคนชนิดนี้ทั้งบนลำต้นของต้นมะม่วงและตามรั้วบ้านที่ทำจากไม้

ในกลุ่ม 3 พบความถี่ของไลเคนชนิด *Parmotrema praesorediosum* และ *Parmotrema tinctorum* สูงกว่ากลุ่ม 2 โดยเฉพาะบ้านท่าสี่ และไม่พบไลเคนชนิดนี้ในกลุ่ม 1 ซึ่งจากการศึกษาของ Saipunkaew et al. (2005) พบว่าไลเคนในวงศ์ *Parmeliaceae* มีความสัมพันธ์กับระดับความสูงจากน้ำทะเล โดยพบมากในพื้นที่สูงซึ่งมีปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงกว่าพื้นที่ราบ โดยพบไลเคนชนิด *Parmotrema tinctorum* บนต้นไม้ที่ระดับความสูง 1 – 1.5 เมตร

เหนือพื้นดิน ในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 420 เมตร และไม่พบในพื้นที่ราบอื่นที่ทำการสำรวจ แสดงให้เห็นว่าไลเคนชนิดนี้อาจถูกจำกัดด้วยมลพิษอากาศ หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของถิ่นอาศัยเดิม และจากการศึกษาของ Saipunkaew *et al.* (2007) พบไลเคนในสกุล *Parmotrema* ยกเว้น *P. praesorediosum* ในพื้นที่ราบที่มีปริมาณน้ำฝนสูง แสดงให้เห็นว่า ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของไลเคนกลุ่มนี้ ซึ่งข้อมูลการจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้พบว่าพื้นที่กลุ่ม 3 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหมู่บ้านที่อยู่ใกล้ภูเขา อาจมีความชื้นสูงกว่าพื้นที่กลุ่ม 2 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหมู่บ้านในพื้นที่ราบที่ถูกรบกวนมากกว่า โดยเฉพาะบ้านท่าสี่ซึ่งพบไลเคนในสกุล *Parmotrema* นี้ มากกว่าพื้นที่อื่นๆ เป็นบริเวณที่อยู่ติดกับภูเขาและพื้นที่ป่า ซึ่งอาจมีการกระจายตัวของไลเคนชนิดนี้จากภูเขาลงมายังบริเวณดังกล่าว

จากการศึกษาคำดัชนีความหลากหลายของแซนนอนวีเนอร์ (Shannon – Wiener's Diversity Index: H') ค่าความสม่ำเสมอ (Evenness: E) และความหลากหลายของไลเคน (species richness) ในหมู่บ้านบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่าบ้านกอรวกซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้า มีคำดัชนีความหลากหลายของไลเคนและจำนวนชนิดของไลเคนมากที่สุด รองลงมาคือ บ้านสบป่าด บ้านแม่ทะ บ้านดง บ้านท่าสี่ ส่วนบ้านสบจางซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้าเช่นกันกับบ้านกอรวก แต่มีคำดัชนีความหลากหลายของไลเคนและมีจำนวนชนิดของไลเคนน้อยที่สุด (ตาราง 4.4) ปัจจัยที่มีผลต่อความหลากหลายของไลเคนมีหลายประการร่วมกัน ซึ่งระยะห่างจากแหล่งกำเนิดมลพิษ และทิศทางลมก็เป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อระยะห่างจากโรงไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของมลพิษก็จะลดลงตามลำดับ (Riga-Karandios and Karandios, 1998) นอกจากนี้ลมยังสามารถพัดพาสารมลพิษในอากาศไปสู่ไลเคนที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาบริเวณรอบๆ ได้ (Garty *et al.*, 2003) ทำให้พื้นที่ศึกษาที่มีระยะห่างและแต่ละทิศทางได้รับผลกระทบจากมลพิษแตกต่างกันไป เมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหลากหลายของไลเคนและจำนวนชนิดของไลเคนกับระยะห่างจากโรงไฟฟ้า พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ภาคผนวก ค) อย่างไรก็ตามเมื่อทลัสของไลเคนเปียกน้ำหรืออยู่ในสภาพที่มีความชื้น ไลเคนจะมีอัตราเมตาบอลิซึมและกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไม่ทนทานต่อมลพิษอากาศ (VDI, 1995) ในฤดูฝนประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552) ดังนั้นพื้นที่ศึกษาที่อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้าน่าจะเป็นทิศที่ไลเคนได้รับผลกระทบมากที่สุด หากลมได้พัดพาเอาสารมลพิษจากโรงไฟฟ้าไปด้วย บ้านสบจางที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้า ถึงแม้จะอยู่ในระยะทางที่ไกลออกมา แต่ก็อาจได้รับผลกระทบดังกล่าว นอกจากนี้จากสภาพที่ตั้งของบ้านสบจางซึ่งอยู่ใกล้กับอ่างเก็บน้ำแม่จาง ซึ่งเป็นแหล่งน้ำ

ขนาดใหญ่ ไลเคนบริเวณดังกล่าวอาจได้รับความชื้นที่พัฒนามาจากแหล่งน้ำในช่วงฤดูมรสุมเช่นกัน จึงทำให้ไลเคนไม่ทนทาน จึงพบดัชนีความหลากหลายของไลเคนและจำนวนชนิดของไลเคนน้อยที่สุด แต่เมื่อตรวจสอบชนิดของไลเคนที่พบในบ้านสบจาง พบ *Dirinaria picta* เป็นชนิดเด่น และพบ *Lecanographa* sp. มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นๆ นอกจากนี้พบไลเคนที่บ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมที่ชื้นเช่น *Porina* (Wolseley and Aquirre-Hudson, 1997) ซึ่งอาจบ่งบอกถึงสภาพของพื้นที่ในอดีตว่าอาจมีกลุ่มสังคมไลเคนที่หลากหลายมาก่อน ส่วนบ้านกอรวกซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้าเช่นกัน กลับพบดัชนีความหลากหลายของไลเคนและจำนวนชนิดของไลเคนมากที่สุด อาจเนื่องจากบ้านกอรวกตั้งอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าออกมา ทำให้โอกาสในการได้รับผลกระทบน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของแสงรวี (2551) ที่ได้ศึกษาความหลากหลายของไลเคนบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนมีค่าต่ำสุดในพื้นที่หมู่บ้านสบเมาะ ซึ่งตั้งอยู่ใกล้โรงไฟฟ้ามากที่สุด และดัชนีความหลากหลายของไลเคนมีค่าสูงสุดในพื้นที่หมู่บ้านดงซึ่งตั้งอยู่ทางเหนือและมีระยะห่างจากโรงไฟฟ้าออกไป นอกจากนี้ Pomphueak (2005) ยังพบว่าความหลากหลายของไลเคนมีค่าต่ำสุดในเขตตัวเมืองลำปาง ที่มีมลพิษจากการจราจรสูง ในขณะที่ค่าความหลากหลายของไลเคนสูงสุดในหมู่บ้านขนาดเล็กในเขตชนบทซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ห่างจากตัวเมืองออกมา นอกจากนี้ Saipunkaew *et al.* (2005) พบความหลากหลายของไลเคนสูงสุดในพื้นที่ป่า และความหลากหลายของไลเคนต่ำสุดในพื้นที่เมืองและพื้นที่เกษตรกรรมของเมืองเชียงใหม่และรอบเมืองเชียงใหม่ Saipunkaew *et al.* (2007) พบว่าในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบความหลากหลายของไลเคนต่ำสุดในตัวเมือง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีประชากรมากที่สุด

จากผลการศึกษาค่า pH เปลือกไม้ของต้นมะม่วงที่วัดได้ในพื้นที่ศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.67 – 5.23 สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า pH เปลือกไม้ มีสาเหตุมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และมลพิษอื่นๆ ของอุตสาหกรรม ส่งผลให้ pH เปลือกไม้มีค่าต่ำ ส่วนค่า pH เปลือกไม้สูง เนื่องจากการสะสมไนโตรเจนจากแอมโมเนีย (van Herk, 2001; Frati *et al.*, 2008) ทั้งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแอมโมเนีย มีผลต่อค่า pH ของเปลือกไม้ โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีผลต่อความเป็นกรด – ค่างของเปลือกไม้มากกว่าแอมโมเนีย (van Dobben and ter Braak, 1998) อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า pH เปลือกไม้ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนที่พบ และ ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษา จากการศึกษาของ Subsri and Saipunkaew (2002) ซึ่งทำการศึกษา pH เปลือกไม้ของต้นมะม่วงในพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่รอบเมืองเชียงใหม่ พบว่า pH เปลือกไม้มีค่าเท่ากับ 5.0 – 5.3 โดยพื้นที่เขตเมืองมีค่า pH ของต้นมะม่วงต่ำกว่าพื้นที่รอบเมือง และ

ได้เสนอว่าค่า pH เปลือกมะม่วงเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของการจราจร โดยค่า pH จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากถนนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การศึกษาของ Pomphueak (2005) ที่ได้ศึกษาค่า pH เปลือกไม้ของต้นมะม่วงในเขตอำเภอเมืองลำปาง พบว่าค่า pH เปลือกไม้มีค่าเท่ากับ 5.22 - 5.74 โดยค่า pH ต่ำสุดพบในเขตที่มีมลพิษน้อยสุด และค่า pH สูงสุดพบในเขตที่มีมลพิษมากที่สุด และได้พบว่า pH เปลือกไม้ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำ

จากการศึกษาทิศทางบนต้นมะม่วงที่พบไลเคนมากที่สุด ในการศึกษครั้งนี้พบว่า ทิศเหนือของต้นมะม่วงที่ทำการศึกษาเป็นด้านที่มีไลเคนเจริญอยู่มากที่สุด อันดับต่อมาคือ ทิศตะวันตก - เหนือ ส่วนในทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้พบน้อย (ภาพ 4.6) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Saipunkaew *et al.* (2007) ที่พบไลเคนมากบนลำต้นไม้ทางทิศตะวันออกและทิศเหนือ แต่พบน้อยในทิศตะวันตกและทิศใต้ ซึ่งคาดว่าเนื่องจากในทิศตะวันตกและทิศใต้ ได้รับแสงปริมาณมากในช่วงบ่าย อาจเป็นสาเหตุทำให้ความชื้นบนวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ต่ำ ในขณะที่การศึกษาของปาลี (2545) พบไลเคนเจริญอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของต้นไม้มากที่สุด จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อแยกพิจารณาทิศทางบนต้นมะม่วงที่พบไลเคนในแต่ละพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่าแนวโน้มการเจริญของไลเคนบนต้นมะม่วงมีมากในทิศทางที่หลีกเลี่ยงจากทิศที่หันเข้าสู่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ (ภาพ 4.7) เช่น บ้านสบเมาะ ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของโรงไฟฟ้า และห่างจากโรงไฟฟ้าเพียง 5 กิโลเมตร พบไลเคนเจริญอยู่ในทิศตะวันตกของต้นมะม่วงมากที่สุด ส่วนทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นด้านที่หันเข้าสู่โรงไฟฟ้านั้น จากการสำรวจไม่พบไลเคนเจริญอยู่เลย ในทำนองเดียวกันบ้านสบจาง ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้า ถึงแม้ว่าจะมีระยะห่างจากโรงไฟฟ้ามากถึง 12 กิโลเมตรก็ตาม ก็ยังพบว่าทิศทางบนต้นมะม่วงที่พบไลเคนมากที่สุด คือทิศเหนือ ส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นด้านที่หันเข้าสู่โรงไฟฟ้า จากการสำรวจก็ไม่พบไลเคนเจริญอยู่เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของแสงรวี (2551) ที่พบไลเคนเจริญบนต้นไม้ในทิศที่หลีกเลี่ยงจากทิศที่หันเข้าสู่โรงไฟฟ้า

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าในฤดูแล้งค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุดที่บ้านแม่จาง และค่าต่ำสุดที่บ้านสบป่าด (ตาราง 4.6) ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากระยะห่างจากแหล่งกำเนิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และทิศทางลม โดยในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศของฤดูแล้ง พบว่ามีลมตะวันตกเฉียงเหนือ ลมตะวันตกและลมตะวันตกเฉียงใต้ พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง (ภาพ 3.6 ก-ง: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552) ทำให้บ้านแม่จางที่ตั้งอยู่ใกล้โรงไฟฟ้ามากที่สุดเพียง 4 กิโลเมตร อยู่ได้ลม จึงพบค่าสูงสุด ในขณะที่บ้านสบป่าดแม้ว่าจะอยู่ใกล้โรงไฟฟ้าเพียง 5 กิโลเมตร

แต่ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของโรงไฟฟ้า จึงทำให้บ้านสบป่าดไม่อยู่ในแนวที่ลมพัดผ่าน จึงมีค่าต่ำสุด และจากการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของฤดูฝน พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษา มีค่าต่ำมากและใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าสูงสุดพบที่บ้านปางป๋วย และค่าต่ำสุดพบที่บ้านป่าไม้ ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากทิศทางลม โดยในช่วงกลางเดือนกรกฎาคม ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศของฤดูฝน พบว่ามีลมตะวันตกเฉียงเหนือ ลมตะวันตก และลมตะวันตกเฉียงใต้ พัดผ่านพื้นที่จังหวัดลำปาง (ภาพ 3.6 ก-ฉ: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2552) บ้านป่าไม้ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของโรงไฟฟ้าจึงเป็นพื้นที่เหนือลมของฤดูฝน ในขณะที่บ้านปางป๋วยซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของโรงไฟฟ้า อาจได้รับมลพิษจากลมที่พัดพาไป สำหรับความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้จากการศึกษาครั้งนี้ ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.51 - 8.65 ppbv ซึ่งมีค่าต่ำมาก จากการศึกษาของ Pomphueak (2005) ที่ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเขตอำเภอเมืองจังหวัดลำปาง โดยใช้หลอดโพลิเอทรีลีน ใช้ 20 % TEA เป็นสารดูดซับ และตรวจวัดเป็นเวลา 14 วัน พบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ $7.88 - 52.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 - 20 ppbv) ในขณะที่ Kasper-Giebl and Puxbaum (1999) ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเขตเมือง Vienna (Austria) โดยใช้หลอดโพลิเอทรีลีน ใช้ 20 % TEA เป็นสารดูดซับและตรวจวัดเป็นเวลา 7 - 49 วัน พบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ $8 - 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 - 5 ppbv) ถึงแม้ว่าการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการศึกษานี้ เป็นการตรวจวัดด้วยเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ซึ่งทำการตรวจวัดเป็นเวลา 7 วัน แต่ค่าที่ตรวจได้ ก็มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด คือค่ามาตรฐานก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา 24 ชั่วโมงไม่เกิน 120 ppb (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

สำหรับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน (ภาพ 4.9) จากข้อมูลรายงานคุณภาพอากาศแสดงผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ เวลา 09.00 น. ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่าในช่วง 21 - 28 กุมภาพันธ์ 2552 ที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศของฤดูแล้ง มีค่าเท่ากับ $0 - 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0 - 3 ppbv) และในช่วง 5 - 12 กรกฎาคม 2552 ที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศของฤดูฝน มีค่าเท่ากับ $0 - 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0 - 1 ppbv) (หน่วยงานสารสนเทศโรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2552) ในขณะที่ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษที่สถานีสบป่าด อ. แม่เมาะ ในช่วง 21 - 28 กุมภาพันธ์ 2552 ที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศของฤดูแล้งพบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 0 - 0.9 ppb และในช่วง 5 - 12 กรกฎาคม 2552 ที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศของฤดูฝน มีค่าเท่ากับ 0 - 3.1 ppb (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) จากข้อมูลการตรวจวัดในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าฤดูแล้งมีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงกว่าฤดูฝน

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Siniarovina and Engardt (Saipunkaew *et al.*, 2007) พบว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในจังหวัดลำปางในช่วงเดือนธันวาคมซึ่งเป็นฤดูหนาว (ฤดูแล้ง) มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงกว่าเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นฤดูฝน เนื่องจากในช่วงฤดูฝนมีการชะล้างสารมลพิษต่างๆ ในบรรยากาศออกไป

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนในแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝนไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในแต่ละพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังภาพ 4.10 และภาพ 4.11 ตามลำดับ ถึงแม้ว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนจะไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่ก็พอเห็นแนวโน้มว่า ถ้าหากความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่มีแนวโน้มที่จะลดลง การศึกษาของ van Dobben *et al.* (2001), Giordani *et al.* (2002), Loppi *et al.* (2002) และ Loppi *et al.* (2004) พบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหลากหลายของไลเคน โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ส่งผลต่อความหลากหลายของไลเคน ซึ่งชนิดและดัชนีความหลากหลายของไลเคนเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศลดลง และจากการศึกษาของ Giordani (2007) พบว่าความหลากหลายของไลเคนมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปี ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซหลักที่มีอิทธิพลต่อความหลากหลายของไลเคนในเขตตัวเมือง สำหรับพื้นที่ป่า การเก็บเกี่ยวของป่า (harvesting) และไฟป่ามีผลต่อความหลากหลายของไลเคน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Pomphueak (2005) ที่ใช้ไลเคนประเมินคุณภาพอากาศในเขตตัวเมืองและรอบเมืองจังหวัดลำปาง พบว่าค่าความหลากหลายของไลเคนและความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำเพราะไม่มีแหล่งที่เป็นแหล่งมลพิษหลักที่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่ค่าความหลากหลายของไลเคนและความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีแหล่งมลพิษหลักที่ปล่อยออกมาอยู่ในเมือง ดังนั้นก๊าซที่มีผลต่อค่าความหลากหลายของไลเคนมากกว่าในพื้นที่ที่ทำการศึกษาที่ตัวเมืองลำปาง คือก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสาเหตุยังไม่ชัดเจนทั้งนี้มีหลายปัจจัยที่อาจเกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ไม่มีความแตกต่างกันมากนักในแต่ละพื้นที่ศึกษาและมี

ปริมาณต่ำ แม้จะมีแหล่งหลักที่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็ตาม หรือช่วงเวลาในการตรวจวัดสั้นเพียง 7 วัน ตรวจวัดเพียง 1 ครั้ง/ฤดูกาล หรือการตรวจวัดเพียงจุดเดียวในแต่ละพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมช่วงเวลาและพื้นที่ทั้งหมดของพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้

การใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศโดยการศึกษความหลากหลายของไลเคนและการตรวจวัดปริมาณมลพิษในพื้นที่ สามารถบ่งชี้บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศได้ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ควรมีการเพิ่มความถี่และระยะเวลาของการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษาให้มากขึ้น และมีจำนวนจุดตรวจวัดในแต่ละพื้นที่ศึกษาหลายจุดมากขึ้น เพื่อจะได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งด้านเวลาและพื้นที่ได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ที่สะสมในไลเคน ก็มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะนำข้อมูลที่ได้นั้น มาใช้ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ รวมทั้งการศึกษความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ เพื่อได้ข้อสรุปที่ถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้นต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาความหลากหลายของไลเคนและการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 10 พื้นที่ ของหมู่บ้านบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - กรกฎาคม พ.ศ. 2552

จากการสำรวจไลเคนบนต้นมะม่วงจำนวน 100 ต้น พบไลเคนทั้งหมด 13 วงศ์ 24 สกุล 43 ชนิด โดยไลเคนส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในสกุล *Dirinaria*, *Pyxine*, *Chrysothrix*, *Cryptothecia*, *Arthonia*, *Lecanographa*, *Laurera* และ *Hyperphyscia* ส่วนน้อยที่พบเป็นไลเคนที่อยู่ในสกุล *Buellia*, *Ocellularia* และ *Chapsa* ซึ่งมีไลเคนที่ไม่สามารถจัดจำแนกสกุลได้ 1 ตัวอย่าง และพบไลเคนบางชนิดได้แก่ *Dirinaria picta* และ *Pyxine cocoes* กระจายตัวได้ในทุกพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าไลเคนกลุ่มครัสโตสมีจำนวนชนิดมากกว่าไลเคนกลุ่มโพลิโอสในทุกพื้นที่ศึกษา พบจำนวนชนิดของไลเคนมากที่สุดที่บ้านแม่จางและบ้านกอรวก และน้อยที่สุดที่บ้านสบจาง

สามารถแบ่งกลุ่มความคล้ายคลึงของพื้นที่ศึกษาออกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยอาศัยชนิดและความถี่ของไลเคนที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ กลุ่ม 1 บ้านแม่ทะ พบไลเคน *Cryptothecia* sp., *Dirinaria picta* และ *Pyxine cocoes* มีความถี่สูง กลุ่ม 2 ประกอบด้วยหมู่บ้านป่าไม้ บ้านสบเมาะ บ้านสบป่าด และบ้านดง พบไลเคนชนิด *Chrysothrix xanthina*, *Dirinaria picta*, *Pyxine cocoes* และ *Arthonia tumidula* มีความถี่สูง และกลุ่ม 3 ประกอบด้วยหมู่บ้านแม่จาง บ้านปางปวย บ้านสบจาง บ้านกอรวก และบ้านท่าสี่ พบไลเคนชนิด *Dirinaria picta*, *Parmotrema praesorediosum*, *Parmotrema tinctorum*, *Laurera subbenguelensis*, *Laurera* sp.2, *Lecanographa* sp., *Lecanora leprosa* และ *Trypethelium eluteriae* มีความถี่สูง

pH เปลือกไม้ของต้นมะม่วงที่สำรวจ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.67 – 5.23 เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนและปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่า pH เปลือกไม้ไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีความหลากหลายของไลเคนและปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ทิศทางบนต้นมะม่วงที่พบไลเคนมากที่สุดในการสำรวจ คือทิศเหนือ รองลงมาคือทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อแยกพิจารณาในแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าไลเคนส่วนใหญ่มีแนวโน้มเจริญอยู่บนลำต้นของต้นมะม่วงในทิศทางที่มักหลีกเลี่ยงจากทิศที่หันเข้าสู่โรงไฟฟ้า

จากการสำรวจความหลากหลายของไลเคน พบว่าบ้านกอรวกมีดัชนีความหลากหลายของไลเคนและจำนวนชนิดของไลเคนมากที่สุด ในขณะที่บ้านสบจางซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงไฟฟ้า มีค่าดัชนีความหลากหลายของไลเคนและมีจำนวนชนิดของไลเคนน้อยที่สุด สำหรับการติดตามตรวจสอบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ พบว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วงเวลาที่ตรวจวัด ตลอด 1 สัปดาห์ มีค่าต่ำทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหลากหลายของไลเคนและปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำ และไม่มีผลต่อความหลากหลายของไลเคนและ pH เปลือกไม้ในพื้นที่ศึกษา

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2552. [online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/en_pol_suc_sulfur.html [24 กันยายน 2552]

กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด. 2542. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. [online]. Available: <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22> [24 กันยายน 2552]

กองทุนพัฒนาชุมชนในพื้นที่รอบโรงไฟฟ้าจังหวัดลำปาง จังหวัดลำปาง. 2552. [online]. Available: <http://www.maemoh.org/maemoh/modules/news/article.php?storyid=8> [2 กันยายน 2552]

กัณธีรีย์ บุญประกอบ และกวินนาถ บัวเรือง. 2550. โลกแห่งเกาะแสมสาร จากยอดเขาถึงชายทะเล. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2551. โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. [online]. Available: http://www.egat.co.th/th/index.php?option=com_content&task=view&id=53&Itemid=65. [4 มิถุนายน 2551]

ปาลี ทรัพย์ศรี. 2545. การใช้โลกเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเพื่อติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศในตัวเมือง และนอกเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2544. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

วนารักษ์ ไซพันธ์แก้ว กฤติกา ป้อมเผือก แพททรีเซีย วูลเชลลีและสุทธาธร สุวรรณรัตน์. 2550. คู่มือนักสำรวจโลก. บริติช เคานซิล. เชียงใหม่.

วนารักษ์ ไซพันธ์แก้ว. 2551. โลกและการตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

ศิวพร ตอพล และปาริชาติ สุดสุริยะ. 2547. การตรวจวัดก๊าซโอโซนโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศชนิดพาสตีฟที่พัฒนาขึ้น. งานวิจัยปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

ศูนย์สารสนเทศเพื่อการบริหารและพัฒนางานปกครอง. 2552. กรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย [online]. Available: <http://www.amphoe.com/menu.php?am=547&pv=51 &mid=1>.

[15 กันยายน 2552]

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ. 2552. ฝ่ายสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา. เชียงใหม่.

สุทธิวรรณ เมืองสุวรรณ. 2549. การศึกษาอัตราการเติบโตของไลเคนชนิด *Pyxine cocolos Swartz* ในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และเขตตัวเมือง จังหวัดเชียงใหม่. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2551. นโยบายการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า. วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 48 เมษายน-มิถุนายน 2543 [online]. Available: <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS48-01-coal.html> [4 มิถุนายน 2551]

แสงรวี รุณวุฒิ. 2551. การสำรวจความหลากหลายของไลเคนบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรีสาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

หน่วยงานสารสนเทศ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. 2552. [online]. Available: <http://www.maemoh.egat.com/index.php> [20 กรกฎาคม 2552]

หน่วยวิจัยไลเคน มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2552. ไลเคน. [online]. Available: <http://www.ru.ac.th/lichen/th.html> [4 มิถุนายน 2552]

Awasthi, D. D. 1991. A Key to Microlichens of India, Nepal and Sri Lanka. J. Cramer. Berlin Stuttgart.

Buaruang, K., Boonpragob, K., Mongkolsuk, P., Homchantara, N., Vongshewarat, K., Sujaritturagan, J., Papong, K., Osathanon, N. and Sanglapcharoenkit, M. 2005. Some common lichens inhabited Kram island and Samaesarn island. Poster. 31st congress on science and technology of Thailand, Suranaree University of Technology. [online]. Available: http://www.ru.ac.th/lichen/Data/STT/STT31_Kawinnart.pdf [10 กันยายน 2552]

Budel, B. and Scheidegger, C. 1996. Thallus morphology and anatomy. In: Nash III, T.H (ed). Lichen Biology. Cambridge University Press.

Cruz, L.P.S., Campos, V.P., Silva, A.M.C. and Tavares, T.M. 2004. A field evaluation of a SO₂ passive sampler in tropical industrial and urban air. Atmospheric Environment 38: 6425 – 6429.

Ferm, M. and Svanberg, Per-arne. 1998. Cost-efficient techniques for urban and background measurements of SO₂ and NO₂. Atmospheric Environment 32: 1377 – 1381.

- Frati, L., Brunialti, G. and Loppi, S. 2008. Effects of reduced nitrogen compounds on epiphytic lichen communities in Mediterranean Italy. *Science of the total environment* 407: 630–637.
- Gair, A.J., Penkett, S.A. and Oyola, P. 1991. Development of a sample passive technique for the determination of nitrogen dioxide in remote continental locations. *Atmospheric Environment* 25A: 1927 – 1939.
- Garty, J., Tomer, S., Levin, T. and Lehr, H. 2003. Lichens as biomonitors around a coal-fired power station in Israel. *Environmental Research* 91: 186 – 198.
- Gilbert, O. 2000. Lichens. *HarperCollins Publishers*, London.
- Giordani, P., Brunialti, G. and Alleleo, D. 2002. Effects of atmospheric pollution on lichen biodiversity (LB) in a Mediterranean region (Liguria, northwest Italy). *Environmental Pollution* 118: 53 – 64.
- Giordani, P. 2007. Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution* 146: 317 – 323.
- Gorecki, T. and Namiesnik, J. 2002. Passive sampling. *Trends in Analytical Chemistry* 21: 276-291.
- Gries, C. 1996. Lichens as indicators of air pollution. In: Nash III, T.H (ed). *Lichen Biology*. Cambridge University Press.
- Hawksworth, D. L. and Rose, F. 1976. Lichens as Pollution Monitors. Edward Arnold (Publishers) Limited, London.
- Hohl, A.M., Miller, W.R. and Nelson, D.R. 2001. The Distribution of Tardigrades Upwind and Downwind of a Missouri Coal-Burning Power Plant. *Zoologischer Anzeiger* 240: 395– 401.
- Jeran, Z., Mrak, T., Jacimovic, R., Batic, F., Kastelec, D., Mavsar, R. and Simoncic, P. 2007. Epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric pollution in Slovenian forests. *Environmental Pollution* 146: 324 – 331.
- Kasper-Giebl, A. and Puxbaum, H. 1999. Deposition of particulate matter in diffusion tube samplers for the determination of NO₂ and SO₂. *Atmospheric Environment* 33: 1323 - 1326

- Khaodee, W. 2006. Development of passive samplers for determination of nitrogen dioxide, sulfur dioxide and ozone in ambient air. M.S. Thesis, Chiang Mai University. Chiang Mai.
- Kong, F.X., Hu, W., Chao, S.Y., Sang, W.L. and Wang, L.S. 1999. Physiological responses of lichen *Xanthoparmelia Mexicana* to oxidative stress of SO₂. *Environmental and Experimental Botany* 42: 201 – 209.
- Krochmal, D. and Kalina, A. 1997a. Measurements of nitrogen dioxide and sulphur dioxide concentrations in urban and rural areas of Poland using a passive sampling method. *Environmental Pollution* 96: 401 – 407.
- Krochmal, D. and Kalina, A. 1997b. A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide Determination in ambient air by use of passive samplers and ion chromatography. *Atmospheric Environment* 31: 3473 – 3479.
- Loppi, S., Frati, L., Paoli, L., Bigagil, V., Rossetti, C., Bruscoil, C. and Corsini, A. 2004. Biodiversity of epiphytic lichens and heavy metal contents of *Flavoparmelia caperata* thalli as indicator of temporal variations of air pollution in the town of Montecatini Terme (central Italy). *The Science of the Total Environment* 326: 113 – 122.
- Loppi, S., Ivanov, D. and Boccardi, R. 2002. Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (central Italy). *Environmental Pollution* 116: 123 – 128.
- Munzi, S., Revera, S. and Caneva, G. 2007. Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. *Environmental Pollution* 146: 350 – 358.
- Nash III, T.H. 1996. Introduction. In: Nash III, T.H. (ed). *Lichen Biology*. Cambridge University Press.
- Perkauskas, D. and Mikelinskiene, A. 1998. Evaluation of SO₂ and NO₂ concentration levels in Vilnius (Lithuania) using passive diffusion samplers. *Environmental Pollution* 102: 249 – 252.
- Plaisance, H., Sagnier, I., Saison, J.Y., Galloo, J.C. and Guillermo, R. 2002. Performances and application of a passive sampling method for the simultaneous determination of nitrogen dioxide and sulfur dioxide in ambient air. *Environmental Monitoring and Assessment* 79: 301 – 315.

- Pomphueak, K. 2005. Use of Lichens as Bioindicators for Air Quality Monitoring in Amphoe Mueang Lampang. M.S. Thesis, Chiang Mai University. Chiang Mai.
- Purvis, O.W., Coppins, B.J., Hawksworth, D.L., Jame, P.W. and Moore, D.M. 1992. The Lichen Flora of Great British and Ireland. The Natural History Museum on behalf of The British Lichen Society. London.
- Purvis, W. 2000. Lichens. The National History Museum, London.
- Purvis, O.W., Seaward, M.R.D. and Loppi, S. 2007. Lichens in a changing pollution environment: An introduction. *Environmental Pollution* 146: 291 – 292.
- Richardson, D.H.S. 1992. Pollution Monitoring with Lichens. Richmond Publishing Co. Ltd., Great Britain.
- Riga-Karandios, A.N. and Karandios, M.G. 1998. Assessment of air pollution from lignite power plant in the plain of Megalopolis (Greece) using as biomonitors three species of lichens; impacts on some biochemical parameters of lichens. *The Science of the Total Environment* 215: 167 – 183.
- Saipunkaew, W. 1994. Lichens as Bioindicators for Air Pollution Monitoring in Doi Suthep Mountain and Chiang Mai City. M.S. Thesis, Chiang Mai University. Chiang Mai.
- Saipunkaew, W., Wolseley, P.A. and Chimonides, P.J. 2005. Epiphytic lichens as indicators of environmental health in the vicinity of Chiang Mai city, Thailand. *Lichenologist* 37: 345 – 356.
- Saipunkaew, W., Wolseley, P.A., Chimonides, P.J. and Boonpragob, K. 2007. Epiphytic macrolichens as indicators of environmental alteration in northern Thailand. *Environmental Pollution* 146: 366 – 374.
- Santis, F.D., Allegrini, I., Fazio, M.C., Pasella, D., and Piredda, R. 1997. Development of a passive sampling technique for the determination of nitrogen dioxide and sulphur dioxide in ambient air. *Analytica Chimica Acta* 346: 127 – 134.
- Shakya, K. 2004. Passive sampling of nitrogen dioxide and sulfur dioxide in ambient air. M.S. Thesis, Environmental Science, Chiang Mai University. Chiang Mai.
- Sipman, H. 2003. Key to the Lichen Genera of Bogor, Cibodas and Singapore. [online]. Available: <http://www.bgbm.org/Sipman/keys/Javagenera.htm> [16 September 2004].
- Staxäng, B. 1969. Acidification of bark of some deciduous tree. *Oikos* 20: 224 – 230.

- Subsi, P. and Saipunkaew, W. 2002. Mango tree bark as bioindicator for air pollution monitoring in Chiang Mai city. *Chiang Mai Journal of Science* 29 (3): 183 – 188.
- van Dobben, H.F. and ter Braak, C.J.F. 1998. Effects of atmospheric NH_3 on epiphytic lichens in the Netherlands: the pitfalls of biological monitoring. *Atmospheric Environment* 32: 551 – 557.
- van Dobben, H.F., Wolterbeek, H.Th., Wamelink, G.W.W. and Ter Braak, C.J.F. 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace element and gaseous atmospheric pollutants. *Environmental Pollution* 112: 163 – 169.
- van Herk, C.M. 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *The Lichenologist* 33: 419 - 441.
- VDI. 1995. VDI 3799 Part 1, Measurement of Immission Effects. Measurement and Evaluation of Phytotoxic Effect of Ambient Air Pollution (Immission) with Lichen : Mapping of Lichen for Assessment of the Air Quality. Verein Deutscher Ingenieure, Dusseldorf.
- Wiriya, W. 2008. Monitoring and analysis of atmospheric acid deposition in Chiang Mai, Thailand, year 2006 – 2007. M.S. Thesis, Environmental Science, Chiang Mai University. Chiang Mai.
- Wolseley, P. A. and Aquire – Hudson, B. 1997 a. Lichen of tropical forest in Thailand: A field key to characteristic epiphytic species in northern Thailand. Botany Department, The Natural History Museum. London.
- Yang, Y., Zhang, X.X., Korenaga, T. and Higuchi, K. 1997. Determination of passive-sampled sulphur dioxide in ambient air as sulphate ion by flow injection analysis with an in-line reaction column. *Talanta* 45: 445 – 450.

ภาคผนวก

วันที่สำรวจ.....ผู้สำรวจ.....

บริเวณที่สำรวจ หมู่บ้าน.....ตำบล.....อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

☐ ชุมชนใหญ่ ☐ ชุมชนเล็ก ☐ สวน ☐ ป่า ☐ อื่นๆ.....

ถนน ☐ เส้นหลัก ☐ ในหมู่บ้าน ☐ ไม่มีถนนผ่าน

ห่างถนน ☐ < 2 ม. ☐ 2-5 ม. ☐ 5-10 ม. ☐ > 10 ม.

ลักษณะที่ต้งของต้นมะม่วง ☐ เป็ดรำบลม ☐ มีสิ่งกำบังลม

☐ ถูกบั้งแสง ☐ อยู่ในที่โล่งแจ้ง

เส้นรอบวงลำต้น.....ซม. pH เปลือกไม้.....

ลักษณะเปลือกไม้ ☐ เรียบ ☐ ขรุขระ ☐ แตกเป็นร่องลึก

ความทนทานของผิว ☐ ล่อน ☐ ไม่ล่อน

ทิศทั้ง 8 grid frame

อุณหภูมิ°C ความชื้นสัมพัทธ์% (wet.....dry.....)

ความเข้มแสงเฉลี่ย.....lux ความสูงจากระดับน้ำทะเล.....เมตร

ที่ตั้ง ; ละติจูด...N.....ลองจิจูด...E.....

ตารางบันทึกผล

[illegible]

ภาคผนวก ข
ไลเคนที่พบจากการศึกษา

ภาพ ข 1 ไลเคนกลุ่มโฟลิโอส



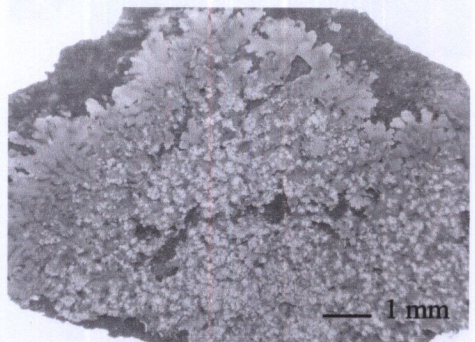
Parmotrema praesorediosum



Parmotrema tinctorum



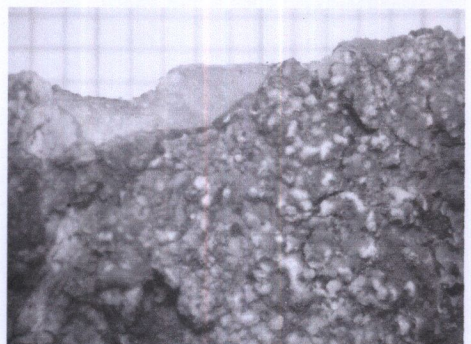
Dirinaria picta



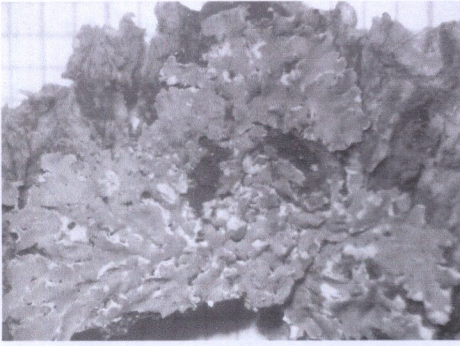
Hyperphyscia adglutinata



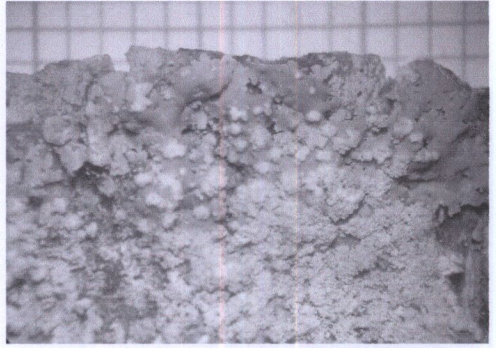
Hyperphyscia pandani



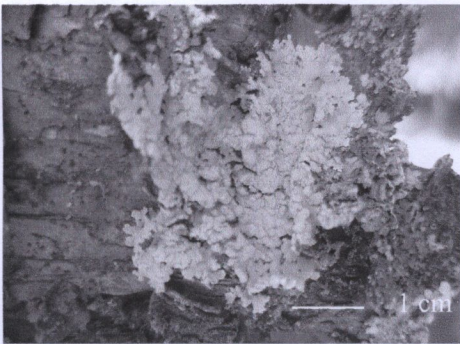
Hyperphyscia cf. tuckermanii



Physcia cf. *dilatata*



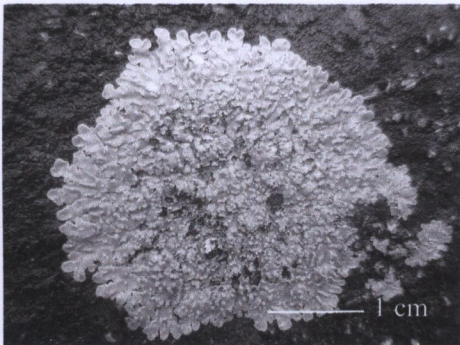
Physcia cf. *erumpens*



Physcia *poncinsii*



Physcia *undulata*



Pyxine *cocoes*

Arborea thum sp.

Cryphaea la sp.

Cryphaea sp.

Cryphaea sp.

ภาพ ข 2 ไตเคนกลุ่มคริสต์โตส



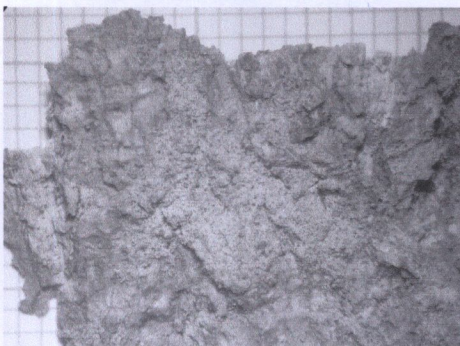
Arthonia tumidula



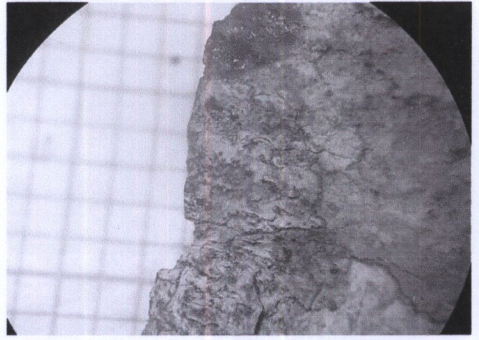
Arthonia sp.3



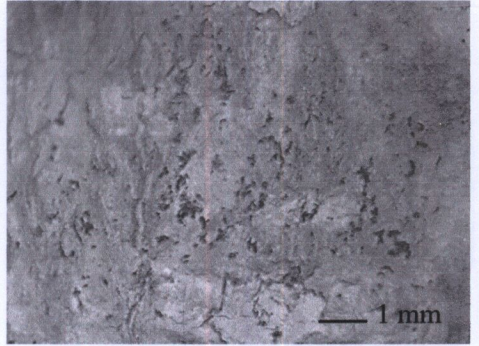
Arthothelium sp.2



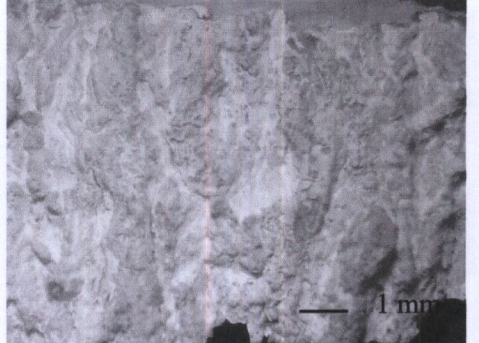
Chrysothrix xanthina



Arthonia sp.2



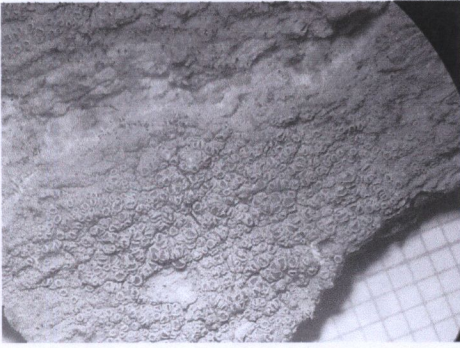
Arthothelium sp.1



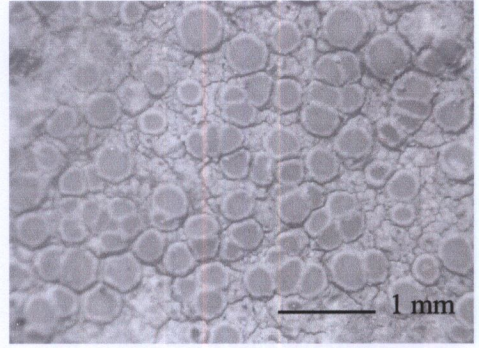
Cryptothecia sp.



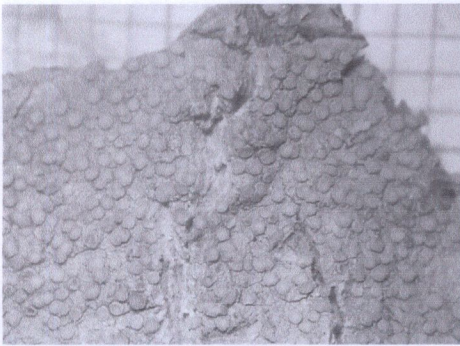
Dimerella sp.



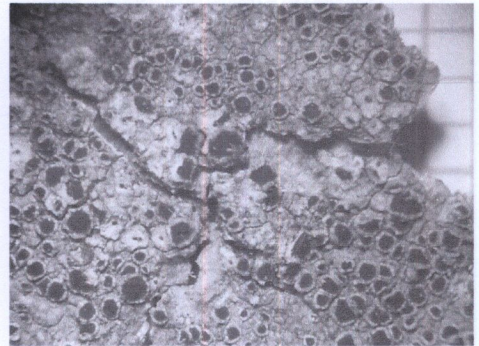
Lecanora ecoronata



Lecanora leprosa



Lecanora sp.3



Lecanora sp.4



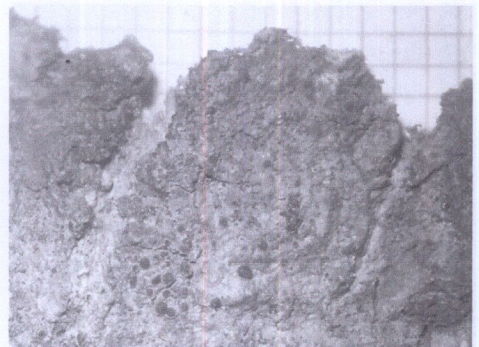
cf. *Anisomeridium* sp.1



cf. *Anisomeridium* sp.2



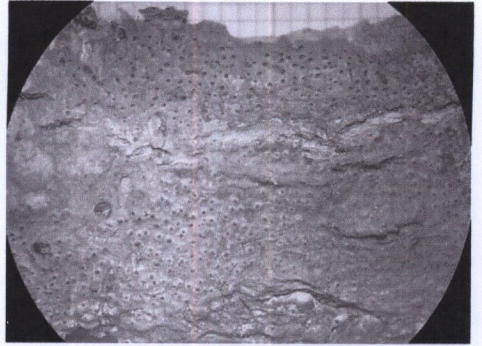
Buellia sp.



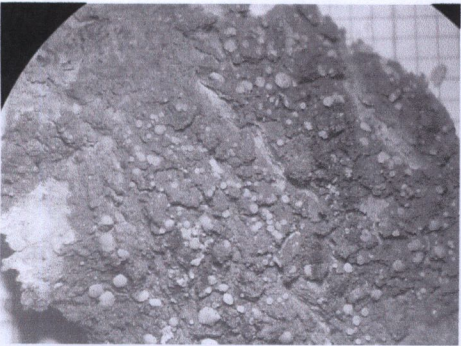
Rinodina sp.1



Rinodina sp.2



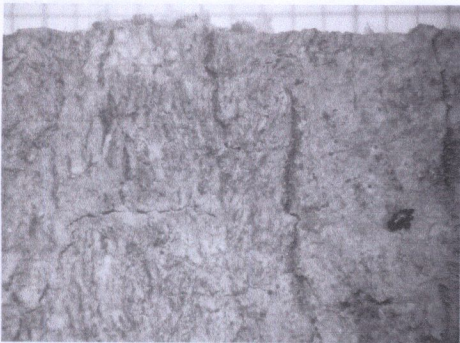
Pyrenula sp.



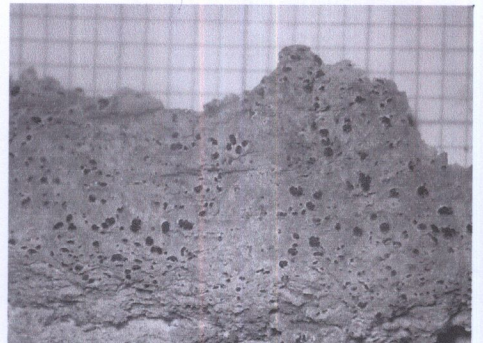
Bacidia sp.1



Bacidia sp.2



Bacidia sp.3



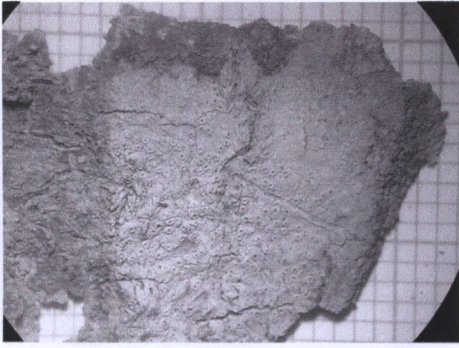
Lecanographa sp.



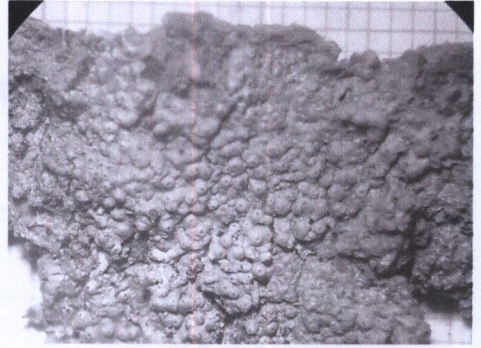
Chapsa sp.



Ocellularia sp.



Leucodecton occultum



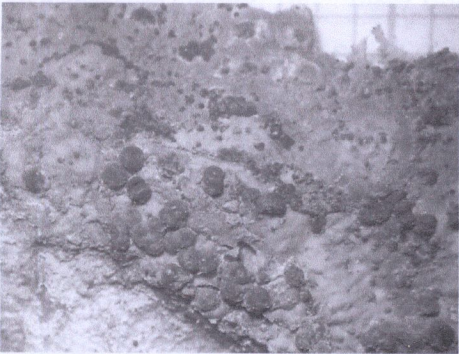
Porina aciculosa



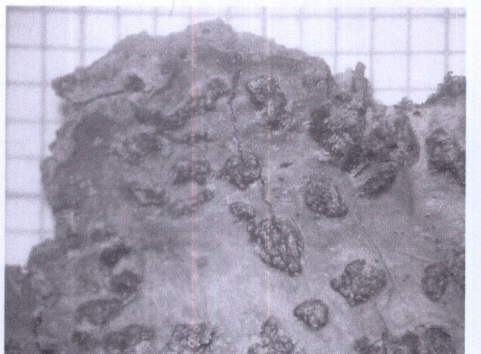
Porina sp.2



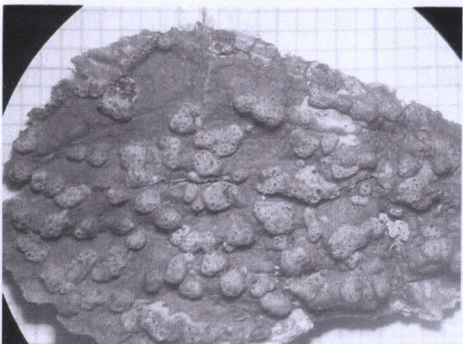
Laurera subbenguelensis



Laurera sp.2



Trypethelium aff. Tropicum



Trypethelium eluteriae



Crustose Unknown 1

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์สถิติ

ตาราง ก 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของค่า pH เปลือกไม้

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.561	9	90	.139

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.742	9	.305	4.079	.000
Within Groups	6.722	90	.075		
Total	9.464	99			

Homogeneous Subsets pH Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1.00	10	4.6730		
3.00	10	4.7480	4.7480	
10.00	10	4.8760	4.8760	4.8760
2.00	10	4.9900	4.9900	4.9900
6.00	10	5.0580	5.0580	5.0580
7.00	10		5.0720	5.0720
8.00	10		5.0780	5.0780
5.00	10		5.0860	5.0860
4.00	10		5.1250	5.1250
9.00	10			5.2260
Sig.		.065	.077	.132

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

ตาราง ค 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของ SO₂ ฤดูแล้ง

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.976	9	37	.009

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	213.611	9	23.735	2.921	.010
Within Groups	300.676	37	8.126		
Total	514.287	46			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
4.00	4	.8400	
9.00	5	3.7160	3.7160
8.00	4	4.7275	4.7275
6.00	5	5.5020	5.5020
2.00	4	6.0450	6.0450
1.00	5	6.5240	6.5240
7.00	5	7.0700	7.0700
10.00	5		7.6520
3.00	5		7.8740
5.00	5		8.6460
Sig.		.054	.237

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.651.
- b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ตาราง ค 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของ SO₂ ฤดูฝน

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.315	9	36	.036

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.300	9	.700	12.709	.000
Within Groups	1.983	36	.055		
Total	8.282	45			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2.00	4	.5100	
3.00	5	.6420	
4.00	5	.6660	
10.00	4	.6725	
5.00	5	.6860	
1.00	5	.8660	
9.00	5	.8780	
7.00	4	.9275	
8.00	4		1.4575
6.00	5		1.7240
Sig.		.219	.782

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.545.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ตาราง ค 4 การทดสอบความแตกต่างของ SO₂ ของฤดูแล้งกับฤดูฝน

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error
Pair 1	dry	5.9452	46	3.36843	.49665
	wet	.9039	46	.42901	.06325

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	dry & wet	46	-.048	.751

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	dry - wet	5.04130	3.41603	.50367	4.02687	6.05574	10.009	45	.000

ตาราง ค 5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Correlations)

Index		Evenness	Richness	Altitude	Distance	pH	SO ₂ dry	SO ₂ wet
Index	Pearson Correlation	1	.723(*)	.605	-.225	.171	-.096	-.236
	Sig. (2-tailed)		.018	.064	.533	.637	.792	.512
Evenness	Pearson Correlation	.723(*)	1	-.110	-.580	.092	-.205	-.561
	Sig. (2-tailed)	.018		.762	.079	.801	.569	.091
Richness	Pearson Correlation	.605	-.110	1	.342	.109	.125	.283
	Sig. (2-tailed)	.064	.762		.334	.765	.731	.429
Altitude	Pearson Correlation	-.225	-.580	.342	1	.286	.342	.749(*)
	Sig. (2-tailed)	.533	.079	.334		.422	.334	.013
Distance	Pearson Correlation	.171	.092	.286	1	-.444	.060	.314
	Sig. (2-tailed)	.637	.801	.765		.198	.868	.377
pH	Pearson Correlation	-.096	-.205	.342	-.444	1	-.507	.243
	Sig. (2-tailed)	.792	.569	.334	.198		.134	.499
SO ₂ dry	Pearson Correlation	-.333	-.510	.007	.060	-.507	1	-.161
	Sig. (2-tailed)	.348	.132	.984	.868	.134		.656
SO ₂ wet	Pearson Correlation	-.236	-.561	.749(*)	.314	.243	-.161	1
	Sig. (2-tailed)	.512	.091	.013	.377	.499	.656	

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ภาคผนวก ง
การคำนวณความเข้มข้นของ SO₂

การคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในอากาศ ที่ทำการ
ตรวจวัดเป็นเวลา 7 วัน สามารถคำนวณได้ดังนี้

ตาราง ง 1 การคำนวณความเข้มข้นของก๊าซ SO₂

หลอด	พื้นที่ใต้กราฟ	[SO ₄ ²⁻]	ค่า	[SO ₂]	[SO ₂]	ค่าเฉลี่ย
		X (ppm)	Q (µg)	C (µg/m ³)	ppbv	
S1/1	26.602	0.03	0.07	3.22	1.23	
S1/2	24.873	0.02	0.07	3.00	1.15	
S1/3	12.637	0.01	0.03	1.51	0.58	0.86
S1/4	16.247	0.02	0.04	1.95	0.75	
S1/5	13.572	0.01	0.04	1.63	0.62	

ความเข้มข้นของ SO₄²⁻ (ppm) หาได้จากสมการมาตรฐาน $Y = 998.3X + 0.2324$

$$26.602 = 998.3X + 0.2324$$
$$X = (26.602 - 0.2324) / 998.3$$
$$= 0.03 \text{ ppm}$$

ค่า Q จากสารสกัดสุดท้าย ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เมื่อ มวลโมเลกุลของ SO₂ = 64 และ
มวลโมเลกุลของ SO₄²⁻ = 96)

$$Q (\mu g) = \text{ความเข้มข้นของ SO}_4^{2-} (\text{ppm}) \times 4 \text{ ml} \times 64/96$$
$$= 0.03 \times 4 \times 64/96$$
$$= 0.07$$

ความเข้มข้นของก๊าซ SO₂ หน่วย ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (µg/m³)

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

$$C (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{0.07 \times 0.054}{0.000154 \times 604800 \times 0.0000127}$$

$$C = 3.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

เมื่อ

$$Q = 0.07$$

$$z = 0.054 \text{ เมตร}$$

$$\pi r^2 = 0.000154 \text{ ตารางเมตร}$$

$$t = 604800 \text{ วินาที (7 วัน)}$$

$$D = 1.27 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \text{ หรือ } 0.00001270 \text{ m}^2/\text{s}$$

การแปลงหน่วยของก๊าซ SO_2 จาก $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็นหน่วย ppb หรือ ppbv ได้จากสมการ

$$\text{ppbv} = \frac{\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{molecular volume (litres)}}{\text{molecular weight}}$$

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

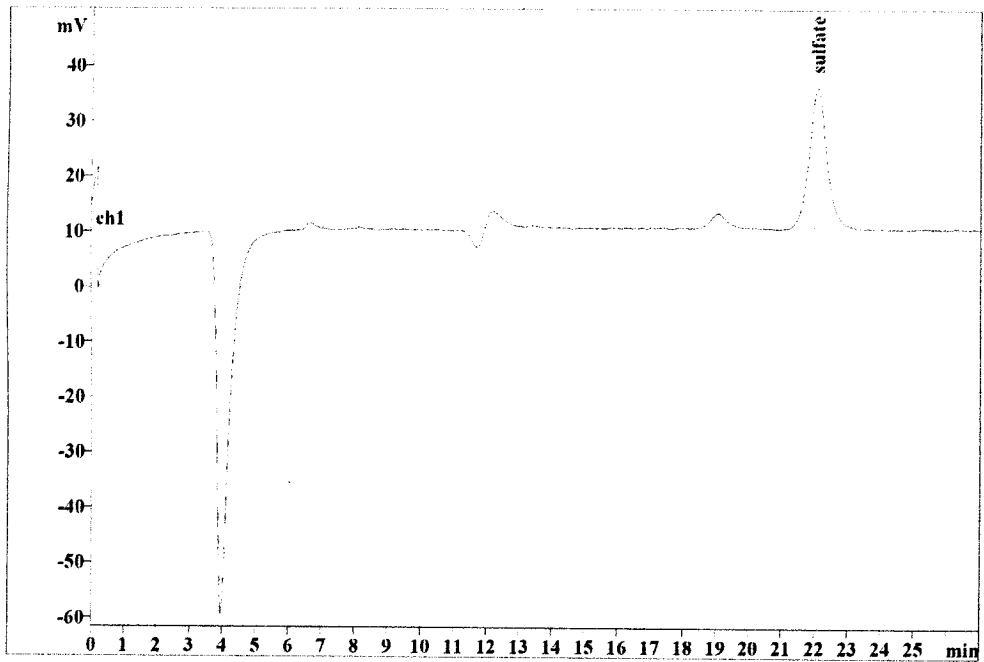
$$\text{เพราะฉะนั้น molecular volume} = 24.46$$

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

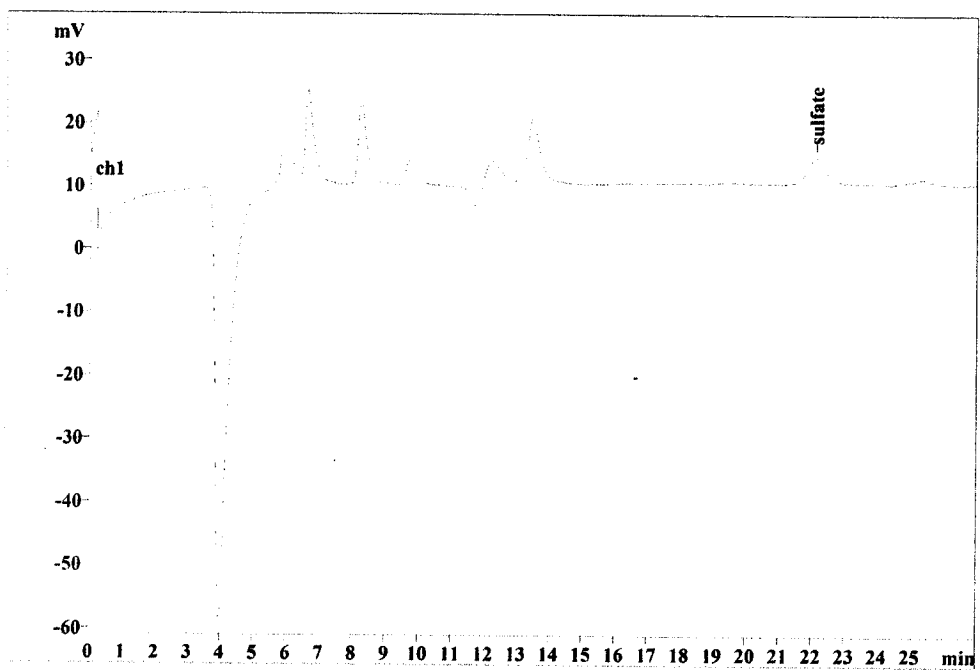
$$\text{ความเข้มข้นของก๊าซ } \text{SO}_2 \text{ (ppbv)} = \frac{3.22 \times 24.46}{64}$$

$$\text{ความเข้มข้นของก๊าซ } \text{SO}_2 = 1.23 \text{ ppbv}$$

ภาคผนวก จ
โครมาโตแกรม



ภาพ จ 1 โครมาโตแกรมของสารละลายซัลเฟตมาตรฐาน ความเข้มข้น 1.0 ppm



ภาพ จ 2 โครมาโตแกรมของสารตัวอย่าง ที่ทำการตรวจวัดเป็นเวลา 7 วัน

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลความเข้มข้นของ SO₂

ตาราง ฉ 1 ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซ SO₂ ที่ตรวจวัดได้ในฤดูแล้ง ช่วงวันที่ 21 – 28 กุมภาพันธ์

พ.ศ. 2552 (กำหนดให้ $z = 0.054$, $\pi t^2 = 0.0001540$, $t = 604,800$, $D = 0.0000127$, $MV = 24.46$, $Mw = 64$)

Tube	Peak area	Conc (ppm)	Conc (µg/m ³)	Conc (ppbv)	Net conc (ppbv)	SD
B1/1	111.916	0.12	14.73	5.63		
B1/2	8.288	0.01	0.75	0.29		
B1/3	0.000	0.00	0.00	0.00		
S1/1	231.762	0.25	30.90	11.81		
S1/2	157.990	0.17	20.95	8.01		
S1/3	79.688	0.09	10.39	3.97		
S1/4	58.899	0.06	7.58	2.90		
S1/5	145.809	0.16	19.30	7.38	6.52	3.54
B2/1	43.067	0.04	5.45	2.08		
B2/2	0.000	0.00	0.00	0.00		
B2/3	13.677	0.01	1.48	0.57		
S2/1	135.324	0.15	17.89	6.84		
S2/2	191.998	0.21	25.53	9.76		
S2/3	106.153	0.11	13.95	5.33		
S2/4	607.069	0.67	81.52	31.16		
S2/5	149.316	0.16	19.78	7.56	6.05	1.84
B3/1	72.335	0.08	9.39	3.59		
B3/2	20.763	0.02	2.44	0.93		
B3/3	18.217	0.02	2.09	0.80		
S3/1	221.231	0.24	29.48	11.27		
S3/2	227.579	0.25	30.33	11.59		
S3/3	141.658	0.15	18.74	7.16		
S3/4	133.005	0.14	17.58	6.72		
S3/5	137.680	0.15	18.21	6.96	7.87	2.46
B4/1	73.573	0.08	9.56	3.65		
B4/2	24.793	0.02	2.98	1.14		
B4/3	0.000	0.00	0.00	0.00		
S4/1	65.160	0.07	8.43	3.22		
S4/2	157.672	0.17	20.90	7.99		
S4/3	63.241	0.07	8.17	3.12		
S4/4	68.106	0.07	8.82	3.37		
S4/5	65.393	0.07	8.46	3.23	0.84	0.10
B5/1	39.110	0.04	4.91	1.88		
B5/2	0.000	0.00	0.00	0.00		
B5/3	0.000	0.00	0.00	0.00		
S5/1	380.530	0.39	47.89	18.30		
S5/2	196.049	0.21	25.46	9.73		
S5/3	109.710	0.12	14.43	5.52		
S5/4	75.170	0.08	9.78	3.74		
S5/5	117.983	0.13	15.55	5.94	8.65	5.82

ตาราง น 1 (ต่อ) ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซ SO₂ ที่ตรวจวัดได้ในฤดูแล้ง ช่วงวันที่ 21 – 28
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

(กำหนดให้ $z = 0.054$, $\pi r^2 = 0.0001540$, $t = 604,800$, $D = 0.0000127$, $MV = 24.46$, $Mw = 64$)

Tube	Peak area	Conc (ppm)	Conc ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc (ppbv)	Net conc (ppbv)	SD
B6/1	89.707	0.10	12.53	4.79		
B6/2	7.092	0.02	2.49	0.95		
B6/3	0.000	0.00	0.00	0.00		
S6/1	202.124	0.22	26.20	10.01		
S6/2	129.589	0.14	17.38	6.64		
S6/3	129.214	0.14	17.34	6.63		
S6/4	120.154	0.13	16.24	6.20		
S6/5	253.137	0.27	32.40	12.38	5.50	2.72
B7/1	161.169	0.17	21.22	8.11		
B7/2	19.941	0.03	4.05	1.55		
B7/3	6.570	0.02	2.43	0.93		
S7/1	195.112	0.21	25.35	9.69		
S7/2	182.694	0.20	23.84	9.11		
S7/3	252.450	0.27	32.32	12.35		
S7/4	230.863	0.24	29.70	11.35		
S7/5	212.607	0.23	27.48	10.50	7.07	1.29
B8/1	56.172	0.07	8.46	3.23		
B8/2	12.668	0.03	3.17	1.21		
B8/3	0.000	0.00	0.00	0.00		
S8/1	205.099	0.22	26.56	10.15		
S8/2	125.411	0.14	16.87	6.45		
S8/3	152.539	0.17	20.17	7.71		
S8/4	136.145	0.15	18.18	6.95		
S8/5	130.487	0.14	17.49	6.69	4.73	0.55
B9/1	98.457	0.11	13.60	5.20		
B9/2	0.000	0.00	0.00	0.00		
B9/3	8.042	0.02	2.60	1.00		
S9/1	97.690	0.11	13.50	5.16		
S9/2	101.856	0.12	14.01	5.35		
S9/3	159.428	0.17	21.01	8.03		
S9/4	114.462	0.13	15.54	5.94		
S9/5	192.905	0.21	25.08	9.59	3.72	1.92
B10/1	67.492	0.08	9.83	3.76		
B10/2	0.000	0.00	0.00	0.00		
B10/3	0.000	0.00	0.00	0.00		
S10/1	70.045	0.08	10.14	3.88		
S10/2	232.578	0.25	29.90	11.43		
S10/3	152.771	0.17	20.20	7.72		
S10/4	144.665	0.16	19.22	7.34		
S10/5	156.455	0.17	20.65	7.89	7.65	2.68

ตาราง ๑๒ ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซ SO₂ ที่ตรวจวัดได้ในฤดูฝน ช่วงวันที่ 5 – 12 กรกฎาคม

พ.ศ. 2552 (กำหนดให้ $z = 0.054$, $\pi r^2 = 0.0001540$, $t = 604,800$, $D = 0.0000127$, $MV = 24.46$, $Mw = 64$)

Tube	Peak area	Conc (ppm)	Conc (µg/m ³)	Conc (ppbv)	Net conc (ppbv)	SD
B1/1	94.490	0.09	11.49	4.39		
B1/2	32.273	0.03	3.91	1.49		
B1/3	23.503	0.02	2.84	1.08		
S1/1	26.602	0.03	3.22	1.23		
S1/2	24.873	0.02	3.00	1.15		
S1/3	12.637	0.01	1.51	0.58		
S1/4	16.247	0.02	1.95	0.75		
S1/5	13.572	0.01	1.63	0.62	0.86	0.30
B2/1	3.965	0.00	0.46	0.17		
B2/2	22.556	0.02	2.72	1.04		
B2/3	15.033	0.01	1.80	0.69		
S2/1	10.772	0.01	1.29	0.49		
S2/2	11.206	0.01	1.34	0.51		
S2/3	11.726	0.01	1.40	0.54		
S2/4	10.894	0.01	1.30	0.50		
S2/5	6.042	0.01	0.71	0.27	0.51	0.02
B3/1	86.912	0.09	10.57	4.04		
B3/2	18.104	0.02	2.18	0.83		
B3/3	18.730	0.02	2.26	0.86		
S3/1	16.257	0.02	1.95	0.75		
S3/2	11.906	0.01	1.42	0.54		
S3/3	14.606	0.01	1.75	0.67		
S3/4	10.942	0.01	1.31	0.50		
S3/5	16.409	0.02	1.97	0.75	0.64	0.12
B4/1	74.635	0.07	9.07	3.47		
B4/2	93.198	0.09	11.34	4.33		
B4/3	21.171	0.02	2.55	0.98		
S4/1	14.815	0.01	1.78	0.68		
S4/2	15.572	0.02	1.87	0.71		
S4/3	16.714	0.02	2.01	0.77		
S4/4	13.996	0.01	1.68	0.64		
S4/5	11.537	0.01	1.38	0.53	0.67	0.09
B5/1	7.287	0.01	0.86	0.33		
B5/2	14.242	0.01	1.71	0.65		
B5/3	20.359	0.02	2.45	0.94		
S5/1	27.431	0.03	3.32	1.27		
S5/2	9.386	0.01	1.12	0.43		
S5/3	16.521	0.02	1.99	0.76		
S5/4	14.862	0.01	1.78	0.68		
S5/5	6.524	0.01	0.77	0.29	0.69	0.38

ตาราง ๒ (ต่อ) ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 ที่ตรวจวัดได้ในฤดูฝน ช่วงวันที่ 5 – 12

กรกฎาคม พ.ศ. 2552

(กำหนดให้ $z = 0.054$, $\pi r^2 = 0.0001540$, $t = 604,800$, $D = 0.0000127$, Mo volume = 24.46, Mw = 64)

Tube	Peak area	Conc (ppm)	Conc ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc (ppbv)	Net conc (ppbv)	SD
B6/1	78.157	0.08	9.50	3.63		
B6/2	16.314	0.02	1.96	0.75		
B6/3	22.029	0.02	2.66	1.02		
S6/1	36.085	0.04	4.37	1.67		
S6/2	26.688	0.03	3.23	1.23		
S6/3	43.685	0.04	5.30	2.03		
S6/4	39.642	0.04	4.81	1.84		
S6/5	39.996	0.04	4.85	1.85	1.72	0.30
B7/1	88.474	0.09	10.76	4.11		
B7/2	17.619	0.02	2.12	0.81		
B7/3	17.976	0.02	2.16	0.83		
S7/1	24.979	0.02	3.02	1.15		
S7/2	240.259	0.24	29.27	11.19		
S7/3	11.452	0.01	1.37	0.52		
S7/4	24.669	0.02	2.98	1.14		
S7/5	19.454	0.02	2.34	0.90	0.93	0.29
B8/1	116.235	0.12	14.15	5.41		
B8/2	13.227	0.01	1.58	0.61		
B8/3	14.229	0.01	1.71	0.65		
S8/1	31.016	0.03	3.75	1.43		
S8/2	75.325	0.08	9.16	3.50		
S8/3	32.640	0.03	3.95	1.51		
S8/4	27.487	0.03	3.32	1.27		
S8/5	35.092	0.03	4.25	1.62	1.46	0.15
B9/1	73.981	0.07	8.99	3.44		
B9/2	12.073	0.01	1.44	0.55		
B9/3	24.040	0.02	2.90	1.11		
S9/1	15.002	0.01	1.80	0.69		
S9/2	13.196	0.01	1.58	0.60		
S9/3	25.937	0.03	3.13	1.20		
S9/4	19.967	0.02	2.41	0.92		
S9/5	21.193	0.02	2.56	0.98	0.88	0.24
B10/1	116.354	0.12	14.16	5.41		
B10/2	22.681	0.02	2.74	1.05		
B10/3	17.725	0.02	2.13	0.82		
S10/1	13.319	0.01	1.60	0.61		
S10/2	17.608	0.02	2.12	0.81		
S10/3	14.946	0.01	1.79	0.69		
S10/4	12.695	0.01	1.52	0.58		
S10/5	175.493	0.18	21.37	8.17	0.67	0.10

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางรำพรรณ กันเจิม

วันเดือนปีเกิด 31 พฤษภาคม 2521

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาประถมศึกษา โรงเรียนบ้านท่าข้าม ปีการศึกษา 2534

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเมืองราดวิทยาคม ปีการศึกษา 2537

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนหล่มเก่าพิทยาคม ปีการศึกษา 2540

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2544

สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรบัณฑิต (การสอน) มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2545

ทุนการศึกษา

ได้รับทุนสนับสนุนจาก โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการ
ทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุน
การวิจัย และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BRT T352053)
บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และโครงการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์
ความหลากหลายทางชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่