

ผลของไอโซนต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา *Hevea brasiliensis* Muell.Arg.

นายครรชิต สอสิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF OZONE ON PHOTOSYNTHESIS OF PARA RUBBER

*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.

Mister Kanchit Sosirikul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Botany

Department of Botany

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของไอโซนต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา  
*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.

โดย

นายครรชิต สอสิริกุล

สาขาวิชา

พฤกษศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธิดา โฆษิตทรัพย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ต่อศักดิ์ สีลานันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธิดา โฆษิตทรัพย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ดวงรัตน์ ศตคุณ)

ครรรชิต สอสิริกุล : ผลของโอโซนต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา *Hevea brasiliensis* Muell.Arg. (EFFECTS OF OZONE ON PHOTOSYNTHESIS OF PARA RUBBER *Hevea brasiliensis* Muell.Arg.) อ.ที่ปรีกษาวิทยานินพนธ์หลัก : ผศ. ดร. บุญธิดา โฆษิตทรัพย์, อ.ที่ปรีกษาวิทยานินพนธ์ร่วม : รศ. ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์ 112 หน้า.

ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ได้รับแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับอากาศปกติ ทำการวัด light response curve โดยใช้ non-rectangular hyperbola model ประเมินค่าความชันเริ่มต้น ( $\alpha$ ) ค่าควบคุมความโค้ง ( $\theta$ ) อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $P_{max}$ ) และอัตราการหายใจ ( $R_d$ ) และทำการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ ) การนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) อัตราการคายน้ำ ( $T$ ) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ ( $WUE$ ) ที่ความเข้มแสง  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  พบว่าค่าเฉลี่ยของ  $R_d$  LCP และ  $T$  ของใบที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการศึกษากการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราที่ได้รับแก๊สโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่ได้รับโอโซนความเข้มข้น ambient 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับอากาศปกติ โดยวัดค่า  $A_{sat}$   $g_s$   $T$  และ  $WUE$  พบว่าค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$   $g_s$  และ  $T$  ของยางพาราที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 300-1200 ppb มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าค่า  $WUE$  ของใบยางพาราที่ได้รับแก๊สโอโซนเข้มข้น 300-900 ppb มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะของใบยางพาราภายหลังจากได้รับอากาศปกติ และโอโซนในทุกทรีตเมนต์ทันที ไม่พบความเสียหายเกิดขึ้น แต่ใบยางพาราภายหลังจากได้รับแก๊สโอโซนเข้มข้น 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 3 วัน พบว่าใบเกิดเป็นแถบสีแดงบนแผ่นใบด้านบนและด้านล่าง

ภาควิชา พฤษศาสตร์.....  
สาขาวิชา พฤษศาสตร์.....  
ปีการศึกษา 2555.....

ลายมือชื่อ.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษาวิทยานินพนธ์หลัก.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษาวิทยานินพนธ์ร่วม.....

## 5272418123 : MAJOR BOTANY

KEYWORDS : PHOTOSYNTHESIS / RUBBER / LEAF GAS EXCHANGE / OZONE

KANCHIT SOSIRIKUL : EFFECTS OF OZONE ON PHOTOSYNTHESIS OF PARA RUBBER *Hevea brasiliensis* Mull. Arg.. ADVISOR : ASST. PROF. BOONTHIDA KOSITSUP, Ph.D., CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. POONPIPOPE KASEMSAP, Ph.D., 112 pp.

Photosynthesis of rubber (*Hevea brasiliensis*) fumigated with ozone at concentration of 200 ppb for 1, 2, 4 and 6h and fumigated with ozone at concentration 100(1h), 300, 600, 900 and 1200 ppb for 2 h compared with ambient air was studied. Photosynthesis ( $A_{sat}$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), transpiration rate (T), water use efficiency (WUE), leaf greenness and leaf characteristics were measured at  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Furthermore, light response curve of rubber leaves treated with ozone at concentration of 200 ppb for 1, 2, 4 and 6h compared with control were performed. The data of light response curve were fitted to a non-rectangular hyperbola model to estimate initial slope ( $\alpha$ ), convexity parameter ( $\theta$ ), maximum photosynthesis ( $P_{max}$ ), dark respiration ( $R_d$ ), light compensation point (LCP) and light saturation point (LSP). The results showed that  $R_d$ , LCP and T of rubber leaves fumigated with ozone at concentration 200 ppb for 2 h significantly decreased. Similarly,  $A_{sat}$ ,  $g_s$  and T of rubber leaves fumigated with ozone at concentration of 300-1200 ppb for 2 h significantly decreased. On the other hand, WUE of rubber leaves fumigated with ozone at concentration of 300-900 ppb for 2 h significantly increased. Moreover, rubber leaves treated with ozone at high concentration of 900 and 1200 ppb were injured as characterized by red stippling on adaxial and abaxial leaf surfaces.

Department : ..... Botany ..... Student's Signature.....  
 Field of Study : ..... Botany ..... Advisor's Signature.....  
 Academic Year : ..... 2012 ..... Co-advisor's Signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญธิดา โสเชิตทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รองศาสตราจารย์ ดร.พูนพิภพ เกษมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาแนะนำข้อคิด แนวทางแก้ไขวิทยานิพนธ์ที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งให้การสนับสนุนเงินทุนและเครื่องมือตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง และ ดร.ดวงรัตน์ ศตคุณ ที่เสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำให้เนื้อหาวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณธีรพัฒน์ วงศ์รักษา คุณนราศักดิ์ พงษ์พระเกตุ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการออกแบบและสร้าง chamber รวมทั้งระบบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับรมแก๊สไอโซนให้กับยางพารา ขอขอบคุณ พี่น้อง ๆ ทุกคนที่ห้องปฏิบัติการพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยสอนการใช้เครื่องมือ ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในระหว่างทำการทดลอง ขอขอบคุณภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยเหลือให้ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง และขอขอบคุณสำหรับทุนพัฒนาผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ที่คอยสนับสนุนการศึกษาและค่าใช้จ่าย

สุดท้ายนี้กราบขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่และน้อง ที่คอยเป็นห่วงและเป็นกำลังใจให้เสมอ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มลพิษทางอากาศ.....	5
2.2 คุณสมบัติของไอโซน.....	7
2.3 ผลของแก๊สไอโซนต่อพืช.....	13
2.4 ความสำคัญและลักษณะของพืช.....	15
2.5 การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.2 การออกแบบ chamber และระบบสำหรับให้แก๊สไอโซน.....	22
3.3 การเตรียมพืช.....	25
3.4 การให้อากาศปกติ และแก๊สไอโซนกับยางพารา.....	25
3.5 การวางแผนการทดลอง.....	28
3.6 การบันทึกข้อมูล.....	29
3.7 วิเคราะห์ข้อมูล.....	30

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4.1 การออกแบบ chamber และระบบสำหรับใช้รวมแก๊สไอโซน.....	32
4.2 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง.....	38
4.3 ผลของแก๊สไอโซนต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านใบและค่าความเขียวของใบ.....	53
บทที่ 5 อภิปรายผล.....	82
5.1 การออกแบบ chamber และระบบสำหรับไอโซน.....	82
5.2 ผลของไอโซนต่อ light response curve.....	84
5.3 ผลของแก๊สไอโซนต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านปากใบและค่าความเขียวของใบ.....	86
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา.....	88
รายการอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก.....	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณภาพอากาศที่ตรวจวัดบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2554.....	10
2	คุณภาพอากาศที่ตรวจวัดในเขตปริมณฑล ปี 2554.....	11
3	คุณภาพอากาศที่ตรวจวัดในพื้นที่ต่างจังหวัด ปี 2554.....	12
4	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของโอโซน และความเข้มแสง ในบรรยากาศ ใน chamber ที่ให้อากาศปกติ และใน chamber ที่เติมแก๊สโอโซน.....	54
5	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ของเข้มข้นของแก๊สโอโซน และ ความเข้มแสงในบรรยากาศ ใน chamber ที่ให้อากาศปกติ และใน chamber ที่เติมแก๊สโอโซน.....	55
6	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความชันเริ่มต้นของเส้นกราฟ (initial slope, $\alpha$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	96
7	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ (convexity parameter, $\theta$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	97
8	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด (maximum photosynthesis, $P_{max}$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	98
9	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการหายใจในที่มืด (dark respiration, $R_d$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	99
10	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของ light compensation point (LCP) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	100
11	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของ light saturation point (LSP) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	101

ตารางที่		หน้า
12	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสง อิ่มตัว ( $A_{sat}$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	102
13	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสง อิ่มตัว ( $A_{sat}$ ) ของใบยางพารา ที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	103
14	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) ของใบยางพารา ที่ ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	104
15	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) ของใบยางพาราที่ ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	105
16	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการคายน้ำ (T) ของใบยางพาราที่ได้รับ อากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	106
17	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการคายน้ำ (T) ของใบยางพาราที่ได้รับ อากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ ความเข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	107
18	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของใบ ยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	108

ตารางที่	หน้า	
19	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของใบ ยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	109
20	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเขียวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศ ปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดย วัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	110
21	ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเขียวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศ ปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความ เข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .....	110

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	chamber ที่ใช้ทดลองสูง 2 และ 2.5 เมตร.....	22
2	ลักษณะของ chamber แบบต่าง ๆ.....	23
3	การศึกษาค่าผลของความยาวสายลุ่มอากาศต่อการวัดความเข้มข้นของแก๊ส ไอโซนภายใน chamber.....	24
4	การทดสอบความสม่ำเสมอของแก๊สไอโซนทั้งหมด 5 จุด 3 ระดับความสูง คือ 0.5 เมตร 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร.....	25
5	วิธีการให้อากาศและอากาศที่เติมแก๊สไอโซนกับต้นยางพารา และการเก็บ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของแก๊สไอโซน และความเข้มแสง.....	27
6	ข้อมูลทางกายภาพที่วัดจากบรรยากาศภายนอก ภายใน chamber ที่สูง 2.0 เมตร และภายใน chamber ที่สูง 2.5 เมตร .....	34
7	ข้อมูลทางกายภาพของอุณหภูมิที่ถูกวัดจาก บรรยากาศภายนอก กับ chamber ที่เปิดช่องด้านบนขนาด 0.6 x 1.6 ตารางเมตร และ chamber ที่ เปิดช่องด้านบนขนาด 0.2 x 0.2 ตารางเมตร.....	35
8	ค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนที่ตรวจวัดได้ตามเวลาต่างๆ โดยใช้สายลุ่ม อากาศที่มีความยาวต่างๆ ดังนี้ สายลุ่มอากาศความยาว 3 และ 10 17 เมตร และ 27 เมตร.....	36
9	ค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนในช่วงเวลาต่างๆ ที่ถูกวัดภายใน chamber ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง .....	37
10	ข้อมูลทางกายภาพที่ถูกวัดจากบรรยากาศภายนอก ภายใน chamber ของ ชุดที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซน.....	39
11	การตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ได้รับ อากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซน เป็นระยะเวลาสั้น 1 2 4 และ ชั่วโมง.....	41
12	ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ได้รับจากความเข้มแสงในช่วง 0 -100 $\mu\text{mol}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ของใบยางพาราภายหลังที่ได้รับอากาศปกติ .....	43

ภาพที่	หน้า	
13	ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ได้รับความเข้มแสงในช่วง 0 -100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ของใบยางพาราภายหลังที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซน เข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	44
14	ค่าเฉลี่ยของความชันเริ่มต้นของกราฟที่ประเมินจากการตอบสนองต่อแสง ในช่วง 0-100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลาานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	46
15	ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเท่ากับ ศูนย์ (LCP) ของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลาานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	46
16	ค่าเฉลี่ยของค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ (convexity parameters, $\Theta$ ) ที่ได้ จาก light response curve ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง .....	49
17	ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอิมตัวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซน ที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลาานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	49
18	อัตราการหายใจในที่มีดเฉลี่ยของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลาานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	52
19	ค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดของใบยางพารา ภายหลังได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลาานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง.....	52
20	ค่าเฉลี่ยของ $A_{\text{sat}} (1)$ ของใบยางพาราที่รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลาานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (2) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น ambient 100/1 ซม. 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลาานาน 2 ชั่วโมง.....	58

ภาพที่	หน้า	
21	ค่าเฉลี่ยของ $g_s$ ของใบยางพารา (a) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (b) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100(1hr) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง.....	61
22	ค่าเฉลี่ยของอัตราการคายน้ำของใบยางพารา (a) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (b) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100(h) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง .....	64
23	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency, WUE) ของใบยางพารา.....	67
24	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบยางพารา (a) ภายหลังจากที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb.....	69
25	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง.....	71
26	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง.....	72
27	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง.....	73
28	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง.....	74
29	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ เปรียบเทียบกันระหว่าง chamber ที่ใช้สำหรับเป็น control และ treatment เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง.....	75
30	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง.....	76
31	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง.....	77
32	ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 300 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง.....	78

ภาพที่	หน้า
33	
	ลักษณะของไบบางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊ส
	ไอโซนเข้มข้น 600 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง..... 79
34	
	ลักษณะของไบบางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊ส
	ไอโซนเข้มข้น 900 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง..... 80
35	
	ลักษณะของไบบางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊ส
	ไอโซนเข้มข้น 300 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง..... 81

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการขยายตัวด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภายในประเทศ ทำให้มีการใช้วัตถุดิบ และทรัพยากรธรรมชาติจำนวนมาก ภายหลังจากกระบวนการผลิตจะมีการปลดปล่อยสารที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมลพิษที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมนั้นมิได้หลายแบบ เช่น มลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง เป็นต้น โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศเป็นมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง เนื่องจากสามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยอาศัยการพัดพาของลม นอกจากนี้การควบคุมหรือจัดการกำจัดมลพิษทางอากาศเหล่านี้ทำได้ยากมาก จากการรายงานการตรวจวัดมลพิษทางอากาศในประเทศไทยพบว่าพบว่ามีหลายจังหวัดที่มีค่ามลพิษเกินค่ามาตรฐาน เช่น นนทบุรี สมุทรสาคร สมุทรปราการ เชียงใหม่ ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ไอโซนถูกจัดเป็นมลพิษทางอากาศพวก photochemical oxidants ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งจากทั้งหมด 7 กลุ่ม ไอโซนมีคุณสมบัติเป็นแก๊สเรือนกระจก ทำให้พลังงานความร้อนสะสมอยู่บริเวณพื้นดินทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการออกซิไดซ์ที่ดี มีผลทำให้องค์ประกอบของผนังเซลล์พืช และเยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย แต่เนื่องจากไอโซนมีค่าครึ่งชีวิตที่สั้นมาก ดังนั้นผลของไอโซนต่อพืชส่วนใหญ่เกิดจากการออกซิไดซ์น้ำ ทำให้เกิดสารพวก ROS ออกมาจำนวนมาก (Pell *et.al.*, 1997) ส่งผลให้พืชตกอยู่ในสภาพ oxidative stress ส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชลดลง โดยปกติแล้วพืชมีความสามารถในการดูดซับมลพิษได้หลายชนิด เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO<sub>x</sub>) เป็นต้น แต่ที่ดูดซับไว้มากที่สุดคือคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งพืชจะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเก็บสะสมไว้เป็นโครงสร้างต่างๆของพืช (พูนพิภพ เกษมทรัพย์, 2549)

โดยในปี 2535 พบว่าพืชที่อยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้าแม่เมาะเกิดความเสียหาย เช่นเดียวกับปัญหาชาวสวนส้มรังสิตที่ประสบปัญหาต้นส้มทรุดโทรม ใบ และผลร่วงตายโดยไม่ทราบสาเหตุ ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับการเริ่มดำเนินการของโรงไฟฟ้าวังน้อย ซึ่งเมื่อมีการตรวจสอบถึงคุณภาพของอากาศเบื้องต้นในบริเวณดังกล่าว พบว่าระดับของมลพิษต่าง ๆ เช่น SO<sub>2</sub> CO NO<sub>2</sub> และ O<sub>3</sub> แม้จะอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้ว่าความเสียหายต่างๆ



ของพืชที่เกิดขึ้น ไม่เกี่ยวข้องกับมลพิษที่เกิดจากการดำเนินการของโรงไฟฟ้า จากเหตุการณ์ดังกล่าวนี้มีผลทำให้เกิดการต่อต้าน และไม่ยินยอมของประชาชนและเกษตรกรที่อยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้า หรืออยู่ในเขตอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นแหล่งเชื้อเพลิง เพราะเป็นโรงไฟฟ้าที่ทำให้เกิดมลพิษเป็นจำนวนมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ (อรอุมา ด้วงงาม, 2548) เนื่องจากประเทศไทยยังขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผลกระทบของมลพิษต่อการเกษตร ดังนั้นการศึกษาผลกระทบของมลพิษต่อพืชนั้นมีความจำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถใช้ในการประเมินความเสียหายต่อพืชจากผลกระทบของมลพิษได้ ดังนั้นข้อมูลและองค์ความรู้ที่เป็นจริงนี้จะประโยชน์ต่อภาคประชาชนและภาคอุตสาหกรรม ทำให้ทราบถึงความเสียหายของพืชในบริเวณที่เกิดมลพิษ เกิดอย่างจากการได้รับแก๊สไอโซนหรือไม่

## วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างระบบที่ใช้สำหรับให้โอโซนกับยางพารา
2. เพื่อศึกษาผลของโอโซนที่มีต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา

## สมมติฐาน

ถ้าโอโซนมีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา ดังนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซน ย่อมมีความแตกต่างกัน

## ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของ  $O_3$  ที่มีต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง การคายน้ำ การนำที่ปากใบ การประสิทธิผลการใช้น้ำ ของใบยางพาราที่ได้รับ  $O_3$  ที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถทำได้ ตั้งแต่ 100 – 1200 ppb โดยช่วงระยะเวลาที่มีการให้  $O_3$  เป็นช่วงเวลาสั้นๆ คือ 1-6 ชั่วโมง

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบสำหรับการรม  $O_3$  หรือมลพิษทางอากาศชนิดอื่นๆได้
2. ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของ  $O_3$  ที่มีต่อค่าการสังเคราะห์ด้วยแสง และค่าการแลกเปลี่ยนแก๊สอื่นๆของยางพาราจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อยางพาราได้รับ  $O_3$  ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น

### คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ppb	คือ	หนึ่งส่วนพันล้านส่วน หรือ $1/1,000,000,000$ มีหน่วยเป็น nmol/mol
$P_{\text{observe}}$	คือ	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ได้จากการวัดจริง
$P_{\text{model}}$	คือ	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ได้จากการประเมินผ่านสมการ non-rectangular hyperbola
$P_n$	คือ	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ
$A_{\text{sat}}$	คือ	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสงอิ่มตัว
$P_{\text{max}}$	คือ	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด
$R_d$	คือ	อัตราการหายใจในที่มืด
LCP	คือ	light compensation point
LSP	คือ	light saturation point
$g_s$	คือ	การนำที่ปากใบ (stomatal conductance)
T	คือ	อัตราการคายน้ำ
WUE	คือ	ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency)
$\alpha$	คือ	ค่าความชันเริ่มต้นของเส้นกราฟ
$\theta$	คือ	ค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มลพิษทางอากาศ

โลกถูกห่อหุ้มด้วยอากาศจำนวนมาก ขณะที่ความหนาแน่นของอากาศจะแตกต่างกันไปตามระดับความสูงจากพื้นโลก โดยบริเวณที่ผิวโลกมีความหนาแน่นของอากาศมากที่สุด และค่อยๆลดลงไปเมื่อความสูงห่างจากผิวโลกมากขึ้น ทำให้สามารถเห็นอากาศที่หุ้มโลกแบ่งออกเป็นชั้นๆ เรียกว่า ชั้นบรรยากาศ ชั้นบรรยากาศของโลกนี้มีทั้งหมด 5 ชั้น คือ โทรโพสเฟียร์ (troposphere) สตราโทสเฟียร์ (stratosphere) มีโซสเฟียร์ (mesosphere) เทอร์โมสเฟียร์ (thermosphere) และ เอกโซสเฟียร์ (exosphere) ชั้นที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตมากที่สุด คือ ชั้นโทรโพสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่บริเวณพื้นผิวโลกจนสูงขึ้นไปประมาณ 17 กิโลเมตร มีปริมาณอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 95 โดยน้ำหนักของอากาศทั้งหมด อากาศทั้งหมดที่อยู่ในชั้นนี้จะมีการเคลื่อนที่และมีการรับเอาสารต่างๆ ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ จึงทำให้สารเหล่านี้มีการผสมผสานและสามารถเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันและกัน ได้สารชนิดใหม่อีกหลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้ อาจจะมีการตกผลึกตกลงอยู่บนดินในรูปของแข็ง ของเหลว หรือสารละลายรวมกับน้ำฝน มีสารหลายๆชนิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม เรียกสารเหล่านี้ว่า มลพิษ (pollutant) สามารถแบ่งออกได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม คือ

1. สารประกอบออกไซด์ของคาร์บอน (Carbon oxides) เช่น แก๊สคาร์บอนโมโนออกไซด์ (CO) และ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
2. สารประกอบออกไซด์ของซัลเฟอร์ (Sulfur oxides) เช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และ แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO<sub>3</sub>)
3. สารประกอบออกไซด์ของธาตุไนโตรเจน (Nitrogen oxides) เช่น แก๊สไนโตรเจนโมโนออกไซด์ (NO) แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) และ แก๊สไดไนโตรเจนออกไซด์ (N<sub>2</sub>O)
4. สารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile organic compounds ; VOCs) มีอยู่หลายร้อยชนิด ตัวอย่างเช่น มีเทน (CH<sub>4</sub>) เบนซีน (benzene) คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFC)

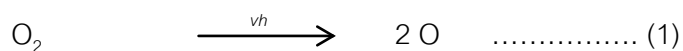
5. ฝุ่นละออง (Suspended particulate matter) อาจอยู่ในรูปของแข็งต่าง ๆ เช่น เกสร ดอกไม้ โลหะหนัก ไนเตรต ( $\text{NO}_3$ ) ซัลเฟต ( $\text{SO}_4$ ) หรืออาจอยู่ในรูปของเหลวขนาดเล็ก เช่น ละอองน้ำมัน สารเคมี dioxin เป็นต้น
6. โฟโตเคมีคัล ออกซิแดนท์ (Photochemical oxidants) เช่น แก๊สโอโซน ( $\text{O}_3$ ) เพอออกซีแอคซิลไนเตรต (peroxyacyl nitrate ; PANs) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) เป็นต้น โดยสารในกลุ่มนี้เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจน ไนโตรเจน ออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ ) และสารประกอบคาร์บอนที่ระเหยได้ โดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นตัวผลักดันปฏิกิริยา
7. วัสดุกัมมันตรังสี (Radioactive substances) คือธาตุที่สามารถปล่อยกัมมันตภาพรังสีได้ เช่น radon-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) iodine-131 ( $^{131}\text{I}$ ) เป็นต้น

ซึ่งจากมลพิษทั้งหมด 7 กลุ่มนี้ พบว่า โอโซน ฝุ่นละออง สารประกอบของซัลเฟอร์ออกไซด์ และ สารประกอบของไนโตรเจนออกไซด์ จัดเป็นมลพิษที่เป็นสาเหตุที่เป็นอันตรายต่อพืช และสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบต่อมลพิษเหล่านี้ โดยเลือกมาศึกษา 1 ชนิด คือ โอโซน

## 2.2 คุณสมบัติของโอโซน

โอโซน ( $O_3$ ) หรือ trioxygen เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม โดยโอโซน มีความเสถียรน้อยกว่าโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) โอโซนถูกค้นพบโดย Christian Friedrich Schönbein ในปี 1840 โดยชื่อของโอโซนมาจากภาษากรีกคำว่า Ozein แปลว่ากลิ่น คุณสมบัติทางกายภาพโอโซนเป็นก๊าซสีน้ำเงินละลายในน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไม่มีขั้วเช่น  $CCl_4$  (carbon tetrachloride) จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 161 K (-121 °C) และจะเป็นของแข็งสีม่วงเข้มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80 K (-193 °C) โครงสร้างทางเคมีได้จาก microwave spectroscopy พบว่า โอโซน มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นรูปมุมงอเหมือนกับโมเลกุลของน้ำ มีมุมพันธะเท่ากับ  $116.78^\circ$  ความยาวพันธะ O-O เท่ากับ 127.2 pm โมเลกุลของโอโซนเป็นโมเลกุลมีขั้วค่า dipole moment เท่ากับ 0.5 D

บทบาทของโอโซนในชั้นบรรยากาศของโลกมีอยู่ด้วยกัน 2 บทบาท คือ โอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ (tropospheric ozone) จัดเป็นมลพิษในบรรยากาศ โอโซนในชั้นนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยตรงจากไอเสียรถยนต์หรือโรงงานอุตสาหกรรม แต่เกิดได้จากรังสีจากดวงอาทิตย์ทำปฏิกิริยาร่วมกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์ โอโซนทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประเภทอัลดีไฮด์ซึ่งสารดังกล่าวนี้จะเป็นส่วนประกอบของหมอกควัน (smog) และโอโซนที่อยู่ในชั้นสตราโทสเฟียร์ (stratospheric ozone) เป็นโอโซนที่อยู่สูงที่สุดในชั้นบรรยากาศซึ่งห่างจากผิวโลกประมาณ 10 – 50 กิโลเมตร โอโซนในชั้นนี้จะช่วยกรองรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้น (< 320 nm) จากดวงอาทิตย์ ถ้ารังสีดังกล่าวนี้มีปริมาณสูงจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่บนผิวโลก  $O_3$  ที่อยู่ในชั้นนี้เกิดจากก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังสมการต่อไปนี้

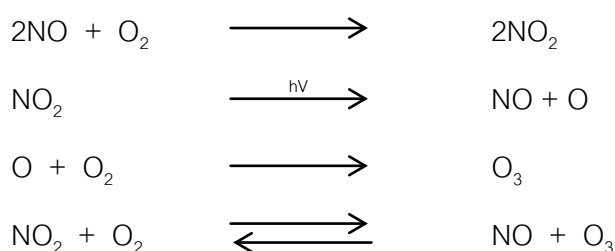


ต่อมาโอโซนจะถูกแคตาไลต์เป็นอนุมูลอิสระ เช่น Hydroxyl (OH) Nitrogen oxide (NO) เป็นต้น ในทศวรรษที่ผ่านมาพบว่าปริมาณของโอโซนในชั้นสตราโทสเฟียร์กำลังลดลงอย่างมาก เนื่องมาจากการปล่อยสาร CFCs

เนื่องจากโอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงเพราะมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันเท่ากับ +2.07 V ทำให้มนุษย์นำโอโซนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น ใช้ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศและน้ำ ใช้ประโยชน์ในกระบวนการกำจัดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม

ทำให้สารเคลือบไม้และหมึกพิมพ์แห้งเร็วขึ้น ขจัดกลิ่นในขนนก ใช้ฟอกสีไนโซ รวมทั้งใช้ในการกำจัดราเมือกและแบคทีเรียในห้องเย็น โดยโอโซนที่นำมาใช้ประโยชน์เหล่านี้สามารถสร้างขึ้นได้จากกระบวนการ silent electrical discharge กับก๊าซออกซิเจน อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณโอโซนมีมากเกินไปก็เป็นผลเสียต่อสุขภาพ โดยในประเทศไทยได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของแก๊สโอโซนไม่เกิน 100 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) ในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง อันตรายจากการได้รับโอโซนเป็นเวลานานจะมีผลต่อการทำงานของปอด โดยเฉพาะในวัยเด็กที่ปอดกำลังพัฒนา อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสืบพันธุ์และพันธุกรรมอาจจะเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ ทำให้เกิดโรคปอดกำเริบ เช่น กลีบปอดพองลม และโรคหลอดลมอักเสบ ทำให้ภูมิคุ้มกันในระบบหายใจลดลง อาการหอบหืดและโรคหัวใจกำเริบ ลดปริมาณลมหายใจ รวมทั้งทำให้ปริมาณของเหลวในปอดเพิ่มขึ้นทำให้หายใจติดขัด (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

แม้ว่าโอโซนจะปรากฏขึ้นมาก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมแต่ความเข้มข้นนี้เพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรมปริมาณโอโซนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะด้านบนของชั้นโทรโพสเฟียร์ โอโซนจะมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจก โดยจะดูดกลืนรังสีในช่วงอินฟราเรดที่ปล่อยออกจากผิวโลก การประเมินความรุนแรงของแก๊สเรือนกระจกของโอโซนเป็นเรื่องยาก เนื่องจากความเข้มข้นของโอโซนทั่วโลกไม่สม่ำเสมอ แต่ได้รับการยอมรับจากนักวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวางว่าผลของโอโซนมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ โดยโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์มีความรุนแรงคิดเป็น 25% ของ CO<sub>2</sub> เมื่อเปรียบเทียบผลของโอโซนกับ CO<sub>2</sub> พบว่ามีโอโซนมีความรุนแรงมากกว่า 1,000 เท่า โอโซนทำให้เกิดพลังงานสะสมบนพื้นผิวโลกประมาณ 2.85 วัตต์/ตารางเมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) โดยแก๊สโอโซนที่อยู่ในชั้นโทรโพสเฟียร์นี้ไม่ได้ถูกปล่อยออกมาโดยตรงจากโรงงานอุตสาหกรรม การจราจร แต่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์(NO)และสารระเหยอินทรีย์ โดยมีพลังงานแสงเป็นตัวกระตุ้น (Skelly, 2000) ได้ดังสมการต่อไปนี้



ในบรรยากาศเขตเมืองจะมีไฮโดรคาร์บอนมากมายหลายชนิด ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโอโซนจำนวนมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 5-20% ต่อทศวรรษ (Zouzoulas *et al.*, 2009) ในการสำรวจคุณภาพของกรมควบคุมมลพิษในกรุงเทพ ปริมณฑล และจังหวัดต่างๆ พบว่าค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของโอโซนมีค่าเกิน 100 ppb ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน ในหลายๆสถานทั่วประเทศ (ตารางที่ 1-3) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อแปลงเพาะปลูกของเกษตรกร (Delgado-Saborit and Esteve-Cano, 2006)



ตารางที่ 1 คุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร แบ่งแยกตาม  
สถานี ปี 2554

สถานี	โอโซน (O <sub>3</sub> )		
	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)		ค่าเฉลี่ย 1 ปี
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
ม. ราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เขตถนนบุรี	94	0	19
ที่ทำการไปรษณีย์ราษฎร์บูรณะ เขตราษฎร์บูรณะ	97	1	14
กรมอุตสาหกรรมวิทย์บางนา เขตบางนา	57	1	17
ม. ราชภัฏจันทรเกษม เขตจตุจักร	90	3	15
การเคหะชุมชนคลองจั่น เขตบางกะปิ	93	1	24
สนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง เขตห้วยขวาง	96	0	16
โรงเรียนนนทรีวิทยา เขตยานนาวา	83	2	19
โรงเรียนมัธยมวัดสิงห์ (สิงหราชพิทยาคม) เขตบางขุนเทียน	113	0	16
กรมประชาสัมพันธ์ เขตพญาไท	97	0	19
รร.บดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) เขตวังทองหลาง	97	6	30
ค่ามาตรฐาน	100		-

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ(2555)

ตารางที่ 2 คุณภาพอากาศในเขตปริมณฑลแยกตามสถานี ปี 2554

จังหวัด	สถานี	แก๊สโอโซน		
		ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 1 ปี
		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
สมุทรปราการ	ศูนย์ฟื้นฟูอาชีพคนพิการและทุพพลภาพ อ.พระประแดง	112	0	15
	โรงไฟฟ้าพระนครใต้ อ. เมือง	166	0	28
	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและ การเมืองแร่ อ. พระประแดง	147	0	21
	ศาลาการ อ. เมือง	133	0	12
	การเคหะชุมชนบางพลี อ.บางพลี	174	0	31
ปทุมธานี	ม.กรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต อ.คลองหลวง	80	0	18
สมุทรสาคร	เขวากทางสมุทรสาคร อ.กระทุ่ม แบน จ. สมุทรสาคร	136	0	19
	องค์การบริหารส่วนจังหวัด อ.เมือง	134	0	19
นนทบุรี	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ.บางกรวย	126	0	18
	ม.สุโขทัยธรรมมาธิราช อ.ปากเกร็ด	103	0	19
ค่ามาตรฐาน		100		-

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ(2555)

ตารางที่ 3 คุณภาพอากาศในพื้นที่ต่างจังหวัดแยกตามสถานี ปี 2554

ภาค	สถานี	แก๊สโอโซน		
		ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 1 ปี
		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
เหนือ	ศาลากลาง อ.เมือง จ.เชียงใหม่	113	0	25
	สนง.การประปาส่วนภูมิภาคแม่เกาะ อ.แม่เกาะ จ.ลำปาง	110	0	21
ตอ./เหนือ	บ้านปลัดอำเภอเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น	74	0	18
	โรงสูบน้ำเสียเทศบาลนครนครราชสีมา อ.เมือง จ.นครราชสีมา	94	0	19
กลาง	โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย อ.พระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา	135	0	29
	สภ.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี	119	0	18
ตะวันออก	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลมาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง	133	0	25
	สนง.สามัญศึกษาชลบุรี อ.เมือง จ.ชลบุรี	140	0	21
ใต้	ศูนย์บริการสาธารณสุขสุข เทศบาลนครภูเก็ต อ.เมือง จ.ภูเก็ต	83	0	25
	เทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	74	0	16
ค่ามาตรฐาน		100		-

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ(2555)

## 2.3 ผลของแก๊สโอโซนต่อพืช

### ผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

รายงานเกี่ยวกับผลของแก๊สโอโซนต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) 2 สายพันธุ์ (Sufi และ Bijoy) ที่ได้รับแก๊สโอโซนเข้มข้น 60 และ 100 ppb วันละ 7 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าน้ำหนักแห้งของต้นและเมล็ดของข้าวสาลีทั้ง 2 สายพันธุ์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าโอโซนจะไม่ส่งผลกระทบต่อการแพร่ของน้ำผ่านปากใบของใบตรง แต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลง (Akhtar *et al.*, 2010) ในการทดลองผลโอโซนร่วมกันอุณหภูมิต่อมวลชีวภาพของต้น radish (*Raphanus sativus*) พบว่าผลของ O<sub>3</sub> ร่วมกับ อุณหภูมิบริเวณราก (RZT) ต่อการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพ (biomass) และการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้น radish (*Raphanus sativus*) ที่ปลูกไว้ใน chamber ที่ควบคุมสภาพแวดล้อมได้ พบว่า O<sub>3</sub> ไม่มีผลต่อต้น radish ปลูกที่ RZT 18 °C ใน chamber ของ CFA และ NFA + O<sub>3</sub> ขณะที่ต้นที่ปลูกที่ RZT 13 °C กลับมีปริมาณมวลรวมลดลง 44% ผลต่ออัตราส่วนรากต่อยอด (R/S) พบว่าต้นที่ปลูกใน NFA + O<sub>3</sub> ที่ RZT 18 °C มีค่าลดลงประมาณ 69% ซึ่งตรงข้ามกับที่ปลูกใน NFA + O<sub>3</sub> ที่ RZT 13 °C กลับมีค่าสูงขึ้น 22% สำหรับผลต่อพื้นที่ใบพบว่า O<sub>3</sub> ทำให้พื้นที่ใบที่ RZT 13 °C ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใบของต้นที่ปลูกในอุณหภูมิเดียวกัน ส่วนผลต่อสรีรวิทยาพบว่าต้นใน NFA + O<sub>3</sub> ที่ RZT 18 °C มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำที่สุด แต่ค่าการชักนำของปากใบ (stomatal conductance) และปริมาณ CO<sub>2</sub> ระหว่างเซลล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกทริตเมนต์ (Kleier *et al.*, 2001) เช่นเดียวกับกับผลผลิตของส้ม และ เลมอนที่ปลูกทางตะวันตกของ Mediterranean ในช่วงฤดูร้อนในปี 2001-2003 ในบริเวณนี้พบปริมาณโอโซนมีค่าอยู่ในช่วง 40-70 µg/m<sup>3</sup> พบว่าปริมาณผลผลิตในปี 2003-2005 ของส้มลดลง 7-10% และผลผลิตของเลมอนลดลง 9.8-14.2% (Delgado-Saborit and Esteve-Cano, 2010) นอกจากนี้ลักษณะอาการทั่วไปของพืชที่ได้รับ O<sub>3</sub> ที่พืชแสดงออกมาจนสามารถสังเกตได้ด้วยตา คือ มักจะเกิดเป็นรอยขีด และเป็นจุดสีเหลืองบนแผ่นใบ (chlorosis) ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง อาการจะรุนแรงมากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสงความเข้มสูง การตายของ parenchyma cell มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับความเสียหายที่เกิดขึ้น (Evans *et al.*, 1995)

### ผลต่อรงควัตถุ

โอโซนมีผลทำให้ปริมาณของคลอโรฟิลล์ลดลง โดย Farooq และคณะ (1988) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของมลพิษในอากาศที่พืชได้รับ และได้รับการยืนยันว่าปริมาณรงควัตถุที่ถูกทำลายเหล่านี้ได้รับอิทธิพลอื่นๆ เช่น pH แสง และปัจจัยอื่น เช่น ความเข้มข้นและเวลาที่พืชได้รับมลพิษ เช่น ใน sweet potato ที่ได้รับ  $O_3$  เข้มข้น 65 ppb วันละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง (Keutgen *et al.*, 1997) แต่ในแตงกวาที่ได้รับ  $O_3$  เข้มข้น 500 ppb เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ (Barnes *et al.*, 1990) แต่สำหรับรงควัตถุอย่างอื่นเช่น anthocyanin และ tannins โดย Rezende และคณะ (2009) ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณ anthocyanin และ tannins ของใบฝรั่งที่ได้รับ  $O_3$  เข้มข้น 40 ppb วันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลานาน 30 วัน พบว่ามีปริมาณของ anthocyanin และ tannins มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และยังพบว่าปริมาณของ anthocyanin และ tannin ความสัมพันธ์กับ leaf injury index (LII) (Rezende and Furlan, 2009)

### ผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

มีรายงานการศึกษาผลกระทบของโอโซนต่อใบของต้น spinach (*Spinacia oleracea* L.) ที่ได้รับโอโซนในบรรยากาศ และสูงกว่า 40 ppb ในช่วงกลางวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 60 วัน พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดและค่าการนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) ของใบที่ได้รับโอโซนมีค่าลดลงประมาณ 63% และ 46% ตามลำดับ แต่สำหรับค่าความเข้มข้นของ  $CO_2$  ภายในเซลล์ (C) ของใบที่ได้รับโอโซนกลับมีค่าสูงขึ้น เช่นเดียวกับการทำงานของ superoxide dismutase (SOD) ascorbate peroxidase (APX) เพิ่มขึ้น 16% และ 67% ตามลำดับ แต่สำหรับค่า  $F_v/F_m$  ในใบที่ได้รับโอโซนไม่พบความแตกต่าง (Calatayud *et al.*, 2003) เช่นเดียวกับใบ snab bean (*Phaseolus vulgaris* L.) สายพันธุ์ S156 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโอโซน พบว่าใบของ snab bean ที่ได้รับโอโซน 60 ppb มีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 37%

## 2.4 ความสำคัญและลักษณะของพืช

### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นยางพารา

#### 1. ราก (Roots)

ยางพารามีระบบรากเป็นระบบรากแก้ว (tap root system) ประกอบด้วยรากแก้ว (tap root) ที่มีความยาวโดยเฉลี่ยตามความลึกของดินประมาณ 2.5 เมตร ในต้นยางอายุ 3 ปี ทำหน้าที่ยึดเกาะพวงลำต้นไม่ให้โค่นล้มเมื่อลมแรงและมีน้ำท่วม รากแขนง (lateral root) แตกแขนงออกมาจากชั้น pericycle ของรากแก้วมีความยาวเฉลี่ย 7-10 เมตร เจริญอยู่ในระดับผิวดินบริเวณทรงพุ่ม ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารส่งไปยังใบเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

#### 2. ลำต้น (Stem)

ลำต้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามชนิดของวัสดุปลูก คือ ลำต้นรูปกรวย (cone) เป็นลำต้นที่เกิดจากการปลูกด้วยเมล็ด (seedling tree) ส่วนฐานของลำต้นจะโตแล้วค่อยเล็กลงตามความสูง ลำต้นอีกชนิดหนึ่งคือ ลำต้นรูปทรงกระบอก (cylinder) เป็นลำต้นที่เกิดจากการปลูกด้วยต้นติดตา (budded stump) ลักษณะของลำต้นส่วนล่างสุดมีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่า "เท้าช้าง" เลยจากจุดนี้ขึ้นไปจะเป็นลำต้นที่มีขนาดเท่ากันทั้งส่วนโคนต้นและส่วนปลาย ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตพบว่า ลำต้นทั้งสองชนิดมีเกล็ดใบ (scale leaves) อยู่ตรงส่วนตายอด ทำหน้าที่ห่อหุ้มใบอ่อนไม่ให้ได้รับอันตราย ถัดลงมาก็เป็นกลุ่มของใบซึ่งแตกเป็นฉัตรรอบลำต้น เมื่อลำต้นมีอายุมากขึ้นก็จะมีการแตกกิ่งก้านสาขาฉัตรใบบริเวณล่าง ๆ จะร่วงหล่นไปกลายเป็นลำต้นเปลือย (bare trunk) ความสูงของลำต้นโดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 2-2.5 เมตร ส่วนประกอบของลำต้นที่เราจะนำมาใช้ประโยชน์ในการสกัดน้ำยาง ได้แก่ เปลือก ซึ่งประกอบด้วย

2.1 เปลือกแห้ง (corky bark) เปลือกที่อยู่ส่วนนอกสุดของลำต้นมีสีน้ำตาลถึงดำ ไม่มีท่อน้ำยางอยู่ในเลย โดยทั่วไปเปลือกชั้นนี้มีความหนาประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกทั้งหมด

2.2 เปลือกแข็ง (hard bark) อยู่ถัดจากเปลือกแห้งเข้ามา มีสีส้ม หรือสีน้ำตาลอ่อน

2.3 เปลือกอ่อน (soft bark) เป็นเปลือกชั้นในสุดถัดจากเปลือกแข็งเข้าไปเกือบใกล้เนื้อไม้ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มมีชีวิต และหนาของเนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร ภายในเป็นแหล่งสะสมอาหารจำนวนมาก เนื้อเยื่อจะติดต่อกันตลอดทั้งในลำต้น กิ่งก้าน และใบ อาหารที่มาสะสมคือน้ำยางนั่นเอง ซึ่งเรียกว่า latex องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ คอยควบคุมความเข้มข้นของน้ำยางในท่อน้ำยาง และช่วยรักษาความเต่ง สภาพสมดุลของท่อน้ำยางด้วย ชั้นเปลือกอ่อนมีความหนาแน่นของท่อน้ำยางสูง จึงทำให้ขนาดของท่อน้ำยางเล็กกว่าในชั้นเปลือกแข็ง

### 3. ใบยางพารา (Leaf)

ใบยางพาราจัดเป็นใบประกอบ (compound leaf) แบบ palmate ในใบประกอบชุดหนึ่งของยางพารามี 3 ใบย่อย ซึ่งเรียกว่า trifoliate leaves ใบย่อยแต่ละใบจะมีก้านใบย่อย ซึ่งมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 0.5-2.5 ซม. แตกออกตรงส่วนปลายของก้านใบ ณ จุดเดียวกัน ก้านใบย่อยของใบยางพาราจะมีความยาวโดยเฉลี่ย 15 ซม. (2-70 ซม.) การเรียงตัวของใบในฉัตรเป็นแบบเกลียว (spiral) ใบที่แก่ที่สุดของกลุ่มใบย่อยคือ ใบที่ใหญ่ที่สุดและมียาวใบยาวกว่า แผ่นใบหรือตัวใบมีขนาดแตกต่างกันออกไป โดยเฉลี่ยแล้วมีความกว้างเป็นครึ่งหนึ่งถึงหนึ่งในสามของความยาวของทั้งใบ

### 4. ดอกยางพารา (Flowers)

เกิดเป็นจำนวนมากจากตาตรงซอกใบ (axillary bud) มีลักษณะเป็นช่อสั้น ๆ ตรงฐานของกลุ่มใบใหม่ ช่อดอกของยางพาราเป็นแบบ compound raceme หรือ panicle ในช่อดอกหนึ่ง ๆ ประกอบด้วย แกนใหญ่ของช่อเรียกว่า main axis แล้วมีการแตกแขนงของช่อดอกเป็นแขนงย่อยอีกมากมาย แขนงย่อยแรกที่แตกจาก main axis เรียกว่า primary branch แขนงย่อยที่ 2 แตกจาก primary branch เรียกว่า secondary branch อันเป็นที่ตั้งของก้านช่อดอก (peduncle และ pedicel) การแตกแขนงของช่อดอกในลักษณะดังกล่าวจะลดหลั่นกัน มองดูแล้วคล้ายรูปสามเหลี่ยมในช่อดอกจะประกอบไปด้วยดอก 2 ชนิดแยกกัน คือ

4.1 ดอกตัวเมีย (pistillate flowers) มีขนาดใหญ่ตั้งอยู่ส่วนปลายสุดของแขน เกสรตัวเมียซึ่งประกอบด้วย รังไข่ 3 พู และยอดเกสรตัวเมียที่ไม่มีก้านชู (sessile stigma) มีลักษณะ 3 แฉก

4.2 ดอกตัวผู้ (staminate flowers) มีขนาดเล็กตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าดอกตัวเมียในแขนงเดียวกันของช่อดอก ในช่อดอกหนึ่ง ๆ จะมีดอกตัวผู้ประมาณ 60-80 ดอก

หลังจากแทงช่อดอกแล้ว 2 อาทิตย์ ช่อดอกมีการพัฒนาเต็มที่พร้อมที่จะบานโดยดอกตัวผู้จะบานก่อนช่วงการบาน 1 วันก็จะร่วง ส่วนดอกตัวเมียจะบานในช่วงเวลาถัดมาอาจ บานนาน 3-5 วัน

### 5. ผล (Fruit)

ดอกตัวเมียที่สามารถผสมติดให้ผลมีเพียง 30-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดอกที่ผสมไม่ติดจะร่วงหล่นไป หลังจากผสมแล้วรังไข่จะพัฒนามาเป็นผลภายในเวลา 3 เดือน และต่อมอีก 3 เดือนผลก็จะสุก ผลที่แก่มีขนาดใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 ซม. ประกอบด้วย 3 พู แต่ละพูจะบรรจุ 1 เมล็ด

ส่วนประกอบของผลมีเปลือกผล (epicarp) และผลชั้นกลาง (mesocarp) บางนึ่ง ส่วนผลชั้นใน (endocarp) แข็งหนาเมื่อผลสุก ผลชั้นในจะแตกออกเป็น 6 ส่วนแล้วเมล็ดจะถูกดีดออกไปได้ไกลเป็นระยะทางถึง 15 หลา ผลอ่อนมีสีเขียวผลแก่มีสีน้ำตาลและแข็ง

#### 6. เมล็ด (Seed)

เมล็ดมีขนาดใหญ่รูปร่างกลมถึงรีแล้วแต่พันธุ์ เมล็ดแน่นเป็นมันมีขนาด 2-3.5 x 1.5-3 ซม. หนักประมาณ 3.6 กรัม เปลือกของเมล็ด (seed coat) แข็งมีสีน้ำตาลอ่อนสีเทา มีจุดน้ำตาลเข้มประปราย ด้านท้องของเมล็ดตรงปลายสุดด้านหนึ่งจะเป็นที่ตั้งของขั้วเมล็ด (hilum) และ micropyle ซึ่งเป็นทางออกของรากล่อน ถัดมาเป็นรอยที่ funiculus อ้อมมาติดกับเมล็ดตรงขั้ว เรียกว่า raphe รูปร่างของเมล็ดขึ้นอยู่กับการกดของผลซึ่งมีเมล็ดบรรจุอยู่ใน ภายในเมล็ดมีอาหารสะสมเป็นพวกไขมันและมันสีขาวเมื่อมีชีวิตอยู่ และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อเมล็ดแก่ ส่วนของอาหารสะสมสามารถนำมาสกัดน้ำมันใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ กากที่เหลือนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์หรือทำปุ๋ย ชั้นของอาหารสะสมดังกล่าวล้อมรอบแกนต้นอ่อนซึ่งประกอบด้วยยอดอ่อน รากล่อน และใบเลี้ยง เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะงอกเป็นต้นใหม่ได้ เมล็ดยางเมื่อหล่นใหม่ ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงมาก แต่เปอร์เซ็นต์ความงอกนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในสภาพปกติเมล็ดยางจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น

#### 7. น้ำยาง (rubber latex)

น้ำยางเป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลืองขุ่นข้น อยู่ในท่อน้ำยางซึ่งเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกของต้นยาง ในน้ำยางจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 2 ส่วนคือส่วนที่เป็น "เนื้อยาง" และส่วนที่ "ไม่ใช่ยาง" ตามปกติในน้ำยาง จะมีเนื้อยางแห้ง ประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์

#### ความสำคัญของยางพารา

ประเทศไทยมีการปลูกยางพาราครั้งแรกในปี 2444 และมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปทั่วประเทศ จนกระทั่งกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ โดยประเทศไทยได้มีการส่งออกยางพาราเป็นอันดับต้นๆ ของโลก โดยมีสัดส่วนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 30 ของผลผลิตรวมทั่วโลก ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติเป็นมูลค่านับแสนล้านบาท ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 17 ล้านไร่ โดยภาคใต้เป็นภาคที่มีการปลูกมากที่สุด รองมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกรวมกับภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในรูปยางธรรมชาติ เช่น ยางแท่ง ยางรมควัน น้ำยางข้น เป็นต้น ต้นยางพาราส่วนใหญ่เป็นไม้ยืนต้นมีอายุมากกว่า 20 ปี ดังนั้นสวนยางพาราจึงมีส่วนช่วยเป็นพืช



ทดแทนป่าไม้ที่ลดลง และเกษตรกรที่ปลูกยางพารามีมากกว่า 6 ล้านคน ทำให้การทำสวนยางจึงทำให้เกิดการจ้างงานและทำให้แรงงานอยู่ในพื้นที่ มีส่วนช่วยลดการเคลื่อนย้ายแรงงานจากชนบทเข้าสู่เมือง โดยสายพันธุ์ยางพาราที่เป็นพันธุ์แนะนำสำหรับผลผลิตน้ำยาง คือ พันธุ์ RRIM 600 ซึ่งเป็นพันธุ์ยางที่มีการให้น้ำยางค่อนข้างดี และสามารถปลูกได้ในหลากหลายพื้นที่ทั่วประเทศ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมวิชาการเกษตร, 2553)

## 2.5 การสังเคราะห์ด้วยแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นในพืชหรือสาหร่ายสีเขียวที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี เพื่อใช้สำหรับสร้างอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง หรือ น้ำตาล จากคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และ น้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ ขณะที่เกิดการสังเคราะห์แสงโมเลกุลของน้ำจะทำหน้าที่เป็นแหล่งให้อิเล็กตรอนและโปรตอน เพื่อผลิต NADPH และผลพลอยได้จากการสลายโมเลกุลของน้ำ คือ แก๊สออกซิเจน ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงมีหลายปัจจัย เช่น แสง อุณหภูมิ ธาตุอาหาร เป็นต้น โดยในงานนี้จะทำการศึกษาการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง (light response curve) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ ขั้นตอนแรก คือ การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากทำปฏิกิริยาระหว่าง ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) กับคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเอนไซม์ Rubisco เรียกขั้นตอนนี้ว่า carboxylation ขั้นตอนที่สองคือการรีดิวซ์ (reduction) คือการเปลี่ยนสาร C5 เป็นสาร C3 โดยใช้ ATP และ NADPH และขั้นตอนที่สามเกี่ยวข้องกับการสร้าง RuBP กลับคืน โดยที่ Evan และ Farquhar (1991) ได้อธิบายถึงเส้นกราฟการตอบสนองระหว่างความเข้มแสง และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ มีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นช่วงที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแปรผันตรงกับค่าความเข้มของแสง (light limited region) คือ ช่วงที่ไม่มีแสงถึงแสงน้อย มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง เรียกค่าความชันนี้ว่า ประสิทธิภาพการใช้แสง (quantum yield หรือ photochemical efficiency,  $\alpha$ ) และส่วนที่ 2 เป็นช่วงที่ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าคงที่ แม้ว่าค่าความเข้มแสงจะสูงขึ้นมาก อาจเรียกราคานี้ว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุด ( $P_{\max}$ ) ซึ่งทั้งค่า  $P_{\max}$  และ  $\alpha$  มีผลกระทบต่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของแก๊ส  $\text{CO}_2$  และ  $\text{O}_3$  (ภุริพงษ์ ดำรงวุฒิ, 2547)

โดยสมการที่ใช้ในการศึกษาเส้นตอบสนองนี้ คือ non-rectangular hyperbola (Thornley and Johnson, 1990) เป็นสมการที่เหมาะสมในการอธิบายการตอบสนองต่อแสงในพืชหลายๆชนิด โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ในบรรยากาศมีค่าคงที่ ( $C_a$ ) และมีผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ภายในเซลล์ ( $C_i$ ) ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยรวม (gross photosynthesis), อัตราการหายใจในที่มืด ( $R_d$ ) และค่าการนำที่ปากใบ เป็นไปตามสมการ

$$P_n = P - R_d$$

$$P_n = g_s(C_a - C_i)$$

ซึ่งเมื่อแทนค่า  $P$  ในสมการอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะได้สมการ non-rectangular hyperbola

$$P_n = \frac{\alpha I + P_{\max} - \sqrt{(\alpha I + P_{\max})^2 - 4\alpha I \theta P_{\max}}}{2\theta} - R_d$$

โดย  $P_n$  = อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$I$  = Photosynthetically active radiation ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$P_{\max}$  = อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$\alpha$  = quantum efficiency

$\theta$  = convexity parameter,  $0 < \theta < 1$

$R_d$  = อัตราการหายใจ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการศึกษา

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุประมาณ 1-2 เดือน
2. ดินปลูกชุดปากช่องจากสถานีพืชไร่สุวรรณจากกสิกิจ
3. กระจกพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว
4. ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16
5. cooling pad box
6. เครื่องเป่าลม (blower)
7. ท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
8. chamber สำหรับรมต้นยางพารา ขนาดประมาณ 5 ลูกบาศก์เมตร (ความกว้าง 1.6 เมตร ความยาว 1.6 เมตร และความสูง 2.0 เมตร) ถูกคลุมด้วยพลาสติกใสที่ทำจาก acrylic plastic และ polypropylene
9. ฉากสำหรับผสมอากาศขนาดกว้าง 1 ฟุต ยาว 1 ฟุต
10. สายสูบลมอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
11. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น EasyLog USB รุ่น EL-USB-2-LCD (Lascar Electronic, Hong Kong)
12. ขาตั้งเหล็กสำหรับติดตั้งสายสูบลมอากาศ และ EasyLog USB
13. เครื่องผลิต O<sub>3</sub> รุ่น OZ-8010 (Ozonic International, Thailand)
14. เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซ O<sub>3</sub> ในอากาศ UV Photometric O<sub>3</sub> Analyzer รุ่น Thermo Model 49i (Thermo Electron Corporation, USA)
15. เครื่องบันทึกความเข้มแสง รุ่น LI-1400 LI-COR, inc., USA
16. เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (Portable Photosynthesis System รุ่น LI-6400 LI-COR, Inc., USA)
17. คอมพิวเตอร์

## 3.2 ออกแบบ chamber และระบบสำหรับรมไอโซน

### 3.2.1 ศึกษาผลของความสูงของ chamber ต่ออุณหภูมิภายใน chamber

ในการศึกษาผลกระทบของมลพิษทางอากาศ เช่น ไอโซน ไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ ) ซัลเฟอร์ออกไซด์ ( $\text{SO}_x$ ) ส่วนใหญ่แล้วจะต้องมีการสร้างระบบสำหรับใช้รมมลพิษเหล่านี้ โดยระบบนี้สามารถควบคุมความเข้มข้น และระยะเวลาที่ใช้ได้ตามต้องการ เนื่องจากการศึกษามลพิษทางอากาศจะต้องมีการให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่ระบบ ดังนั้นระบบที่ใช้สำหรับทดลองส่วนมากจะเป็นลักษณะที่เรียกว่า open top chambers (OTCs) โดยในการทดลองนี้ทำการออกแบบขนาด (ความสูง) ที่เหมาะสม เพื่อใช้สำหรับรมแก๊สไอโซนกับต้นยางพารา โดย chamber มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมทำมาจากท่อเหล็กและหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกใสที่ทำจาก acrylic และ polypropylene ที่มีความหนาประมาณ 100 ไมโครเมตร และด้านบนทั้งสองข้างของ chamber ตัดพลาสติกที่คลุม chamber ออกแล้วติดมุ้งโอรินสีฟ้าขนาด 0.2 เมตร x 1.6 เมตร โดยปิดทับช่องที่เปิดไว้ ซึ่งในการทดลองทดสอบนี้ออกแบบ chamber ทั้งหมด 2 ขนาด ที่มีความสูงแตกต่างกัน คือ (1) สูง 2.5 เมตร และ (2) สูง 2.0 เมตร (ภาพที่ 1) โดย chamber ทั้งสองมีความกว้าง และความยาวเท่ากัน คือ 1.6 เมตร และ 1.6 เมตร เพราะฉะนั้นปริมาตรของ chamber ที่สูง 2.5 เมตร เท่ากับ 6.4 ลูกบาศก์เมตร และปริมาตรของ chamber สูง 2.0 เมตร เท่ากับ 5.12 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย EasyLog USB รุ่น EL-USB-2-LCD (Lascar Electronic, Hong Kong) ภายใน chamber ทั้ง 2 ขนาด และสภาพอากาศภายนอก chamber โดยบันทึกค่าทุก 5 นาที ตั้งแต่เวลา 8.35 นาฬิกา จนถึงเวลา 19.00 นาฬิกา โดยที่แต่ละ chamber จะมีการให้อากาศที่สู่มมาจาก cooling pad box



ภาพที่ 1 Chamber ที่ใช้ในการทดลองมีความสูง 2.0 เมตร และ 2.5 เมตร ต่อกับท่อส่งอากาศจาก cooling pad box

### 3.2.2 ศึกษาลักษณะของ chambers

ศึกษาลักษณะของ chamber ที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับรมแก๊สไอโซน โดยกำหนดขนาดของ OTCs ตามความสูงที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.1 โดยลักษณะของ chamber ที่ศึกษามี 3 ลักษณะ คือ (1) ติดมุ้งไอรินส์ฟ้าที่ด้านข้างของ chamber ขนาดกว้าง 0.2 เมตร และยาว 1.6 เมตร (2) เปิดช่องตรงกลางด้านบนของ chamber ขนาดกว้าง 0.6 เมตร และยาว 1.6 เมตร และ (3) เจาะช่องตรงกลางด้านบนของ chamber ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 0.2 เมตร (ภาพที่ 2) โดยลักษณะของ chamber ที่เหมาะสม จะต้องมียุทธภูมิภายในของ chamber แตกต่างจาก ยุทธภูมิภายนอกไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 ลักษณะของ chamber คือ ติดมุ้งไอรินส์ฟ้าขนาด 0.2 x 1.6 ตารางเมตร (ซ้าย) เปิดช่องขนาด 0.6 x 1.6 ตารางเมตร (กลาง) และ 0.2 x 0.2 ตารางเมตร (ขวา)

### 3.2.3 ศึกษาผลของความยาวสายสู่มอากาศ

เลือก chamber ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.2.2 นำมาใช้ในการทดลองนี้โดยใช้เครื่องเป่าลมสู่มอากาศจาก cooling pad box ผ่านท่อ PVC เข้าสู่ chamber แล้วมีการเติมแก๊สไอโซนด้วยเครื่องผลิตไอโซนรุ่น OZ-8010 (Ozonic International, Thailand) ด้วยความเข้มข้นสูงสุด และใช้สายสู่มอากาศที่มีความยาว 4 ระดับ คือ 3 เมตร 10 เมตร 17 เมตร และ 27 เมตร สู่มอากาศจาก chamber (ภาพที่ 3) ในการทดลองนี้ศึกษาผลของความยาวสายสู่มครั้งละ 2 ระดับ โดยแบ่งเป็นทริตเมนต์ ดังนี้ (1) ที่ความยาว 3 เมตร กับ 10 เมตร (2) ที่ความยาว 3 เมตร กับ 17 เมตร และ (3) ที่ความยาว 3 เมตร กับ 27 เมตร ใช้ UV Photometric O<sub>3</sub> Analyzer รุ่น Thermo

Model 49i (Thermo Electron Corporation, USA) ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถตั้งโปรแกรมให้มีการบันทึกค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนในอากาศทุก ๆ 1 นาที ใช้สายสู่มอากาศแต่ละเส้นสู่มอากาศเข้าสู่ O<sub>3</sub> Analyzer นานเส้นละ 10 นาที โดยทำการสลับใช้สู่มอากาศไปมาจนกระทั่งครบเวลา 2 ชั่วโมง



**ภาพที่ 3** การศึกษาผลของความยาวสายสู่มอากาศต่อการวัดความเข้มข้นของแก๊สไอโซนภายใน chamber

### 3.3.4 ทดสอบความสม่ำเสมอของแก๊สไอโซนใน chamber

เลือก chamber ที่เหมาะสมในการทดลองที่ 3.2.2 และใช้สายสู่มอากาศที่มีความยาวในการทดลองที่ 3.2.3 สำหรับในการทดสอบความสม่ำเสมอของแก๊สไอโซนภายใน chamber โดยมีการกำหนดจุดที่ใช้ติดตั้งสายสู่มอากาศทั้งหมด 5 จุด และมีระดับความสูงทั้งหมด 3 ระดับ (ภาพที่ 4) ดังต่อไปนี้

- (1) อยู่ตำแหน่งตรงกลาง chamber ติดตั้งสายสู่มอากาศสูง 1 เมตร
- (2) อยู่ตำแหน่งด้านหน้าทางข้างซ้ายของ chamber ติดตั้งสายสู่มอากาศสูง 1.5 เมตร
- (3) อยู่ตำแหน่งด้านหลังทางข้างซ้ายของ chamber ติดตั้งสายสู่มอากาศสูง 0.5 เมตร
- (4) อยู่ตำแหน่งด้านหน้าทางข้างขวาของ chamber ติดตั้งสายสู่มอากาศสูง 0.5 เมตร
- (5) อยู่ตำแหน่งด้านหลังทางข้างขวาของ chamber ติดตั้งสายสู่มอากาศสูง 1.5 เมตร

ในการวัดความเข้มข้นของแก๊สโอโซนภายใน chamber ทำโดยใช้สายสุ่มอากาศสุ่มอากาศจาก chamber เข้าสู่ UV Photometric O<sub>3</sub> Analyzer รุ่น Thermo Model 49i เพื่อบันทึกค่าความเข้มข้นของแก๊สโอโซนทุก ๆ 1 นาที แต่ละตำแหน่งใช้เวลาวัด 5 นาที ทำการทดสอบนาน 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 การทดสอบความสม่ำเสมอของแก๊สโอโซนทั้งหมด 5 จุด 3 ระดับความสูง คือ 0.5 เมตร 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร

### 3.3 การเตรียมพืช

นำต้นยางพาราชำถุงสายพันธุ์ RRIM 600 อายุประมาณ 1-2 เดือน โดยยางพาราในถุงชำมีใบเริ่มต้นอยู่ 1 ฉัตร ย้ายลงมาปลูกลงกระถางพลาสติก โดยดินที่สำหรับปลูกคือดินชุดปากช่องจากสถานีวิจัยพืชไร่น้ำสุวรรณวาศกสิกิจ รดน้ำต้นยางพาราทุกวัน วันละ 1 ครั้ง ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ต้นละประมาณ 2 กรัม เดือนละ 2 ครั้ง ปลูกเป็นเวลานานประมาณ 2 เดือน เพื่อให้ใบที่ผลิมาใหม่หลังจากปลูกมีแผ่นใบที่ขยายตัวเต็มที่ (fully expanded leaf) จากนั้นทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ ) เพื่อใช้สำหรับเลือกต้นยางพาราที่จะใช้ในการศึกษา โดยจะเลือกต้นยางพาราที่มีค่า  $A_{sat}$  ใกล้เคียงกัน ในแต่ละซ้ำ ของชุดที่ได้รับอากาศปกติ และชุดที่ได้รับแก๊สโอโซน

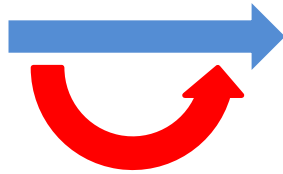


### 3.4 การให้อากาศปกติ และแก๊สไอโซนกับยางพารา

จากผลของการทดลองที่ 2 ทำให้สามารถหา chamber ที่เหมาะสมสำหรับทดลองการให้อากาศกับต้นยางพารา โดยการให้อากาศเริ่มต้นจากการใช้เครื่องเป่าลมสู่อากาศจาก cooling pad box ส่งอากาศผ่านท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ด้วยอัตราการไหลของอากาศมีค่าประมาณ 280 ลิตร/วินาที เข้าสู่ chamber ซึ่งภายในจะมีฉากกันรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 ตารางฟุต อยู่ห่างจากปลายท่อประมาณ 15 เซนติเมตร โดยฉากกันนี้จะทำหน้าที่ผสมอากาศภายใน chamber ให้มีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้ภายใน chamber จะวางขาตั้งเหล็กที่มีความสูง 1.5 เมตร ไว้สำหรับติดตั้งสายสู่อากาศ point quantum sensor และเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับ chamber ที่ใช้เป็นไอโซนทรีตเมนต์ มีการเติมแก๊สไอโซนด้วยเครื่องผลิตไอโซนรุ่น OZ-8010 (Ozonic International, Thailand) เข้าไปยังท่อ PVC ก่อนที่จะนำอากาศเข้าสู่ chamber ความเข้มข้นของแก๊สไอโซนภายใน chamber ถูกควบคุมด้วย valve ซึ่งทำหน้าที่ปล่อยแก๊สไอโซนส่วนเกินออกสู่ภายนอกก่อนที่จะเข้าสู่ท่อ PVC (ภาพที่ 5)



Blower and cooling pad box



Ozone generator



Chamber



EasyLog USB



O<sub>3</sub> analyzer



ภาพที่ 5 วิธีการให้อากาศและอากาศที่เติมแก๊สโอโซนกับต้นยางพารา และการเก็บอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน และความเข้มแสง

### 3.5 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองโดยศึกษาผลของแก๊สโอโซนต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา 2 ลักษณะ คือ (1) ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้แก๊สโอโซน โดยความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่มีค่าคงที่ และ (2) ศึกษาผลของความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ให้ โดยที่ช่วงระยะเวลาที่พืชได้รับมีค่าคงที่ ดังนี้

#### 3.5.1 ผลของระยะเวลาในการให้แก๊สโอโซน

ในการทดลองนี้สามารถแบ่งชุดการทดลองตามระยะเวลาที่ใช้ได้ทั้งหมด 4 ชุดการทดลองดังต่อไปนี้

- ชุดที่ 1 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 200 ppb จำนวน 4 ต้นใน chamber ที่มีการเพิ่มปริมาณ  $O_3$  และอีก 4 ต้น เข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ
- ชุดที่ 2 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 200 ppb จำนวน 4 ต้นใน chamber ที่มีการเพิ่มปริมาณ  $O_3$  และอีก 4 ต้น เข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ
- ชุดที่ 3 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราเป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 200 ppb จำนวน 4 ต้นใน chamber ที่มีการเพิ่มปริมาณ  $O_3$  และอีก 4 ต้น เข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ
- ชุดที่ 4 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราเป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 200 ppb จำนวน 4 ต้นใน chamber ที่มีการเพิ่มปริมาณ  $O_3$  และอีก 4 ต้น เข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ

#### 3.5.2 ผลของความเข้มข้นของแก๊สโอโซน

ในการทดลองนี้สามารถแบ่งชุดการทดลองตามความเข้มข้นของ  $O_3$  ได้ทั้งหมด 6 ชุดการทดลองดังนี้

- ชุดที่ 1 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราที่มีความเข้มข้นเท่ากับอากาศเข้าไปใน chamber ทั้งสอง จำนวน chamber ละ 4 ต้น เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- ชุดที่ 2 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราที่มีการเติม  $O_3$  ความเข้มข้น 300 ppb เข้าไปใน chamber ที่เติม  $O_3$  จำนวน 4 ต้น และอีก 4 ต้น เข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ เป็นเวลา chamber ละ 2 ชั่วโมง

- ชุดที่ 3 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราที่มีการเติม  $O_3$  ความเข้มข้น 600 ppb เข้าไปใน chamber ที่เติม  $O_3$  จำนวน 4 ต้น และอีก 4 ต้นเข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ เป็นเวลา chamber ละ 2 ชั่วโมง
- ชุดที่ 4 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราที่มีการเติม  $O_3$  ความเข้มข้น 900 ppb เข้าไปใน chamber ที่เติม  $O_3$  จำนวน 4 ต้น และอีก 4 ต้นเข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ เป็นเวลา chamber ละ 2 ชั่วโมง
- ชุดที่ 5 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราที่มีการเติม  $O_3$  ความเข้มข้น 1200 ppb เข้าไปใน chamber ที่เติม  $O_3$  จำนวน 4 ต้น และอีก 4 ต้นเข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ เป็นเวลา chamber ละ 2 ชั่วโมง
- ชุดที่ 6 รม  $O_3$  กับต้นยางพาราที่มีการเติม  $O_3$  ความเข้มข้น 1500 ppb เข้าไปใน chamber ที่เติม  $O_3$  จำนวน 4 ต้น และอีก 4 ต้นเข้า chamber ที่เป็นอากาศปกติ เป็นเวลา chamber ละ 2 ชั่วโมง

### 3.6 การบันทึกข้อมูล

#### ข้อมูลทางกายภาพ

วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใน OTCs ในชุดควบคุมและชุดโอโซนทรีตเมนต์ รวมทั้งอากาศภายนอก ถูกบันทึกด้วย EasyLog USB โดยตั้งโปรแกรมให้มีการบันทึกค่าทุก ๆ 5 นาที วัดค่าความเข้มแสงภายใน chamber และสภาพแวดล้อมภายนอกด้วย point quantum sensor และทำการบันทึกค่าความเข้มแสงด้วย LI-1400 ทุก ๆ 5 นาที สำหรับความเข้มข้นของแก๊สโอโซนถูกสุ่มด้วยสายสุ่มอากาศและวัดค่าด้วย UV  $O_3$  analyzer ภายใน chamber ของชุดควบคุมและชุดโอโซนทรีตเมนต์ รวมทั้งอากาศในบรรยากาศ ทำการวัดตำแหน่งละ 10 นาที แล้วสลับกันไปจนครบเวลาที่กำหนด ซึ่งเครื่อง  $O_3$  analyzer จะบันทึกค่าความเข้มข้นของแก๊สโอโซนทุก ๆ 1 นาที

#### การศึกษาการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง (light response curve)

การตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่ได้รับโอโซน ภายหลังจากการรวมตามการทดลองที่ 3.5.1 ใน 1 ต้น เลือกเพียง 1 ใบย่อย มาวัดการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยเครื่อง portable photosynthesis system (LI-6400) ซึ่งต่อกับ leaf chamber มาตรฐานที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงคือ 6400-2B LED ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงนี้จะให้แสงในช่วงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

(Photosynthetically active radiation ; PAR) ขณะทำการศึกษากำหนดความเข้มแสงดังนี้ 0 25 50 75 100 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 และ 2000  $\mu\text{mol PPFD m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยภายใน leaf chamber จะมีการกำหนดค่าความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  จาก  $\text{CO}_2$  tank ให้เท่ากับ  $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$  อุณหภูมิอยู่ในช่วง  $28 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$  และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 50% - 80% การคำนวณค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงได้จากสมการ non-rectangular hyperbola จากนั้นนำค่าการตอบสนองต่อแสงต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมาประเมินหา ค่าความชันเริ่มต้นของกราฟ (initial slope ;  $\alpha$ ) ค่าควบคุมความโค้งของกราฟ (convexity parameter ;  $\Theta$ ) ค่าอัตราการหายใจในที่มืด ( $R_d$ ) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง ( $P_{\text{max}}$ ) light saturation point และ light compensation point ผ่าน สมการ non-rectangular hyperbola model

#### การศึกษากการแลกเปลี่ยนแก๊ส

การแลกเปลี่ยนแก๊สของใบยางพาราของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่ได้รับ  $\text{CO}_2$  ภายหลังการรวมตามการทดลองที่ 3.5.1 และ 3.5.2 ในแต่ละต้นเลือกเพียง 1 ใบย่อย มาวัดการแลกเปลี่ยนแก๊สด้วยเครื่อง portable photosynthesis system (LI-6400) ที่ต่อกับ leaf chamber มาตรฐานที่มีแหล่งกำเนิดแสง 6400-02B LED ค่าการแลกเปลี่ยนแก๊สที่วัดคือ อัตราการสังเคราะห์ด้วยที่แสงอิ่มตัว ( $\text{CO}_2$  assimilation ;  $A_{\text{sat}}$ ) ค่าการนำที่ปากใบ (stomatal conductance ;  $g_s$ ) อัตราการคายน้ำ (transpiration rate ;  $T$ ) และคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency ; WUE) จากอัตราส่วนของ  $A_{\text{sat}}$  กับ  $T$  โดยกำหนดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  และความเข้มแสง ภายใน leaf chamber ดังนี้ อุณหภูมิเท่ากับ  $28-35 \text{ }^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50-80% ความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  เท่ากับ  $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$  และความเข้มแสง  $1400 \mu\text{mol PPFD m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ก่อนที่จะทำการบันทึก จะพิจารณา ค่าความคลาดเคลื่อนรวมของการวัด (total CV) ที่ระดับต่ำกว่า 1 และค่าที่คำนวณได้จะต้องมีระดับคงที่ โดยแต่ละต้นที่ทำการวัดจะวัดค่า  $A_{\text{sat}}$   $g_s$  และ WUE โดยทำการวัด 3 ครั้งโดยใช้ระยะเวลาห่างกันไม่เกิน 1 นาที

### 3.7 วิเคราะห์ข้อมูล

การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิกับค่าความเข้มแสง ทำได้โดยใช้ค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงที่วัดได้จากการทดลอง ( $P_{\text{observed}}$ ) มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า  $P_{\text{observed}}$  กับความเข้มแสงในช่วง  $0 - 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  เพื่อคำนวณหา ค่า  $\alpha$  จากนั้นแทนค่าของ  $\alpha$  ลงไปในสมการ non-rectangular hyperbola สำหรับค่า  $\Theta$   $P_{\text{max}}$

และ  $R_d$  สามารถหาจากผลต่างของ  $P_{\text{observed}}$  กับ  $P_{\text{model}}$  ด้วยวิธี non-linear least square ในโปรแกรม Microsoft Excel

ค่า light compensation point (LCP) คำนวณโดยกำหนดค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจากการทดลอง เท่ากับ 0 และแทนค่า  $\alpha$   $\theta$   $P_{\text{max}}$  และ  $R_d$  ลงไปในสมการ non-rectangular hyperbola เพื่อคำนวณหา  $P_{\text{cal}}$  ที่ทำให้ผลต่างระหว่าง  $P_{\text{observed}}$  กับ  $P_{\text{model}}$  ด้วยวิธี non-linear least square สำหรับค่าค่า light saturation point (LSP) สามารถคำนวณได้โดยวิธีด้วยการหาค่า LCP แต่แทนค่า  $P_{\text{observed}}$  มีค่าเท่ากับ 85% ของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ประเมินได้  $\alpha$   $\theta$   $P_{\text{max}}$   $R_d$  LCP และ LSP มาเปรียบเทียบระหว่างชุดที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซน โดยวิธี Independent - T test โดยใช้นัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 สำหรับค่าที่ได้จากการแลกเปลี่ยนแก๊ส  $A_{\text{sat}}$   $g_s$  T และ WUE ที่ถูกวัดที่ความเข้มขึ้น  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ระหว่างชุดที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมไอโซน ตามการทดลองที่ 3.5 นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Independent - T test โดยใช้นัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การออกแบบ chamber และระบบสำหรับใช้รมแก๊สไอโซน

##### 4.1.1 ผลของอุณหภูมิต่อขนาดของ chamber

ค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากอากาศในบรรยากาศ ภายใน chamber ที่สูง 2 และ 2.5 เมตร ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีลักษณะดัง ภาพที่ 6-1 และ 6-2 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศ ภายใน chamber ที่ความสูง 2.0 เมตร และ 2.5 เมตร มีค่าเท่ากับ 37.41 41.59 และ 42.65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในบรรยากาศ ภายใน chamber ที่ความสูง 2.0 เมตร และ 2.5 เมตร มีค่าเท่ากับ 46.40 47.36 และ 44.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่าค่าอุณหภูมิภายใน chamber ที่ความสูง 2.0 เมตร มีค่าต่ำกว่า chamber ที่มีความสูง 2.5 เมตร ดังนั้นความสูงที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับการสร้าง chamber ต่อไป คือที่ความสูง 2.0 เมตร

##### 4.1.2 ผลของลักษณะของ chamber

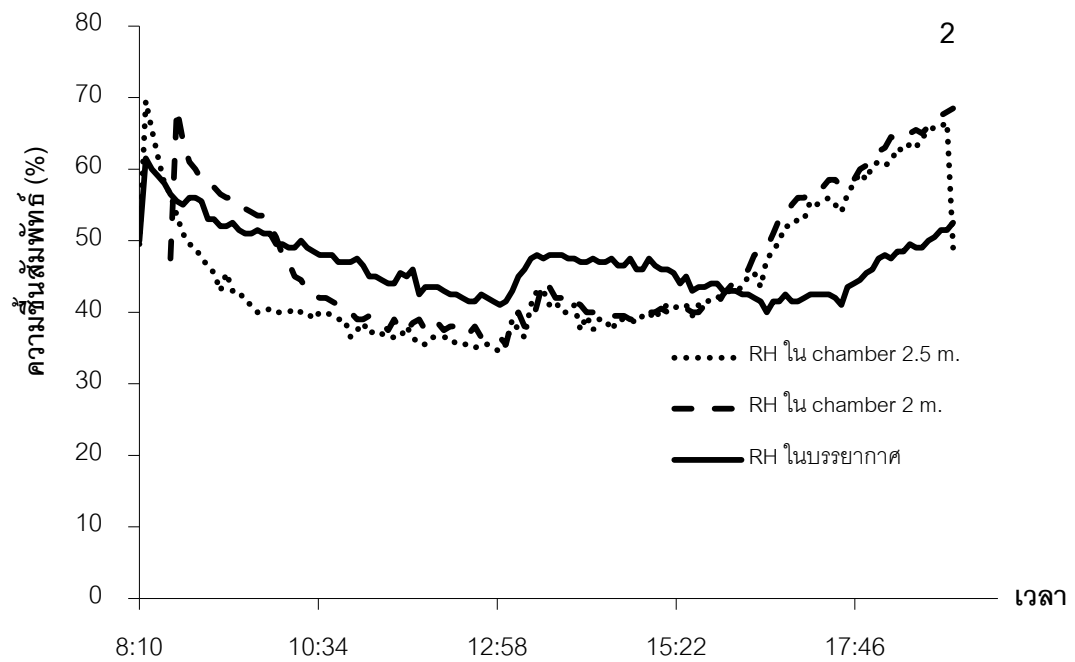
ค่าอุณหภูมิที่ถูกวัดจาก chamber ลักษณะที่ 1 คือที่ติดมุ้งไอรินส์ฟ้าขนาด 0.2 x 1.6 ตารางเมตรที่ด้านข้างของ chamber มีลักษณะเหมือนกับภาพที่ 6 โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดใน chamber และในอากาศนอก chamber เท่ากับ 41.59 และ 37.41 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายใน chamber ลักษณะที่ 1 มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก chamber มากกว่า 3 องศาเซลเซียส ขณะที่ค่าของอุณหภูมิที่วัดจาก chamber ลักษณะที่ 2 คือมีการเปิดช่องด้านบนขนาด 0.6 x 1.6 ตารางเมตร มีลักษณะเหมือนดังภาพที่ 7-1 โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของ chamber แบบที่ 2 และอากาศภายนอกมีค่าเท่ากับ 37.35 และ 37.13 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมিরะหว่าง chamber ลักษณะที่ 2 และอากาศภายนอกแตกต่างกันไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส และค่าของอุณหภูมิที่ถูกวัดจาก chamber ลักษณะที่ 3 คือเปิดช่องด้านบนขนาด 0.2 x 0.2 ตารางเมตร มีลักษณะเหมือนดังภาพที่ 7-2 โดยค่าเฉลี่ยโดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของ chamber แบบที่ 3 และอากาศภายนอกมีค่าเท่ากับ 36.61 และ 37.48 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมিরะหว่าง chamber ลักษณะที่ 3 และอากาศภายนอกแตกต่างกันไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส และค่าของอุณหภูมิที่ถูกวัดจาก chamber จากผลการทดลองพบว่า chamber ลักษณะที่ 2 และลักษณะที่ 3 มีการระบายความร้อนที่ดีทำให้อุณหภูมิภายใน chamber ไม่

แตกต่างกับอากาศภายนอก แต่ chamber ลักษณะที่ 2 ไม่สามารถทำให้ความเข้มข้นของโอโซนภายใน chamber สูงถึงระดับ 200 ppb ได้ ขณะที่ chamber ลักษณะที่ 3 สามารถปรับความเข้มข้นของแก๊สโอโซนภายในให้เพิ่มสูง ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะเลือกใช้ chamber ลักษณะที่ 3 คือ มีการเปิดช่องด้านบนขนาด 0.2 x 0.2 ตารางเมตร ไปศึกษาต่อ

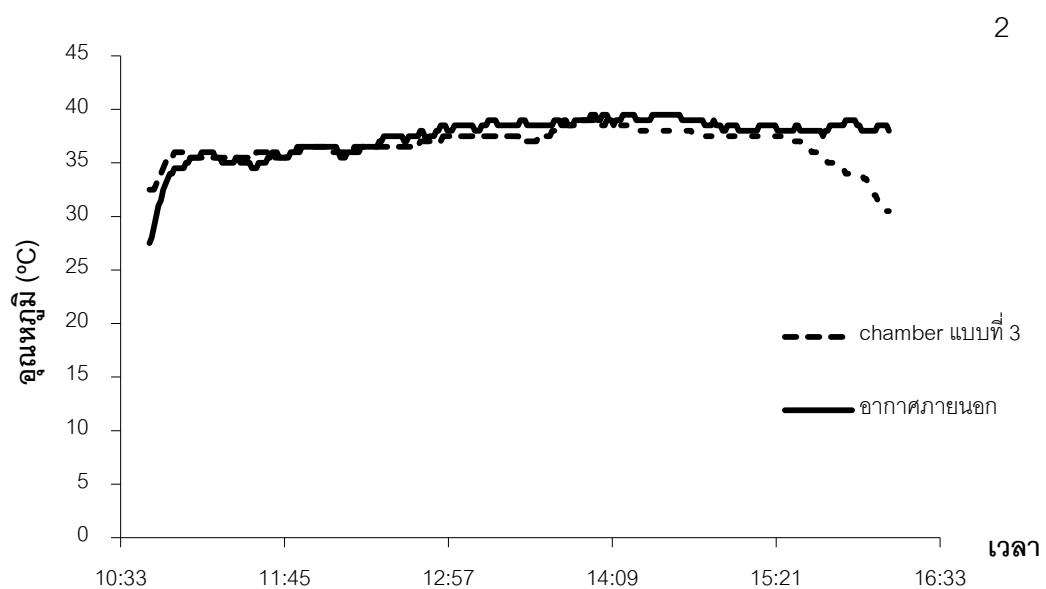
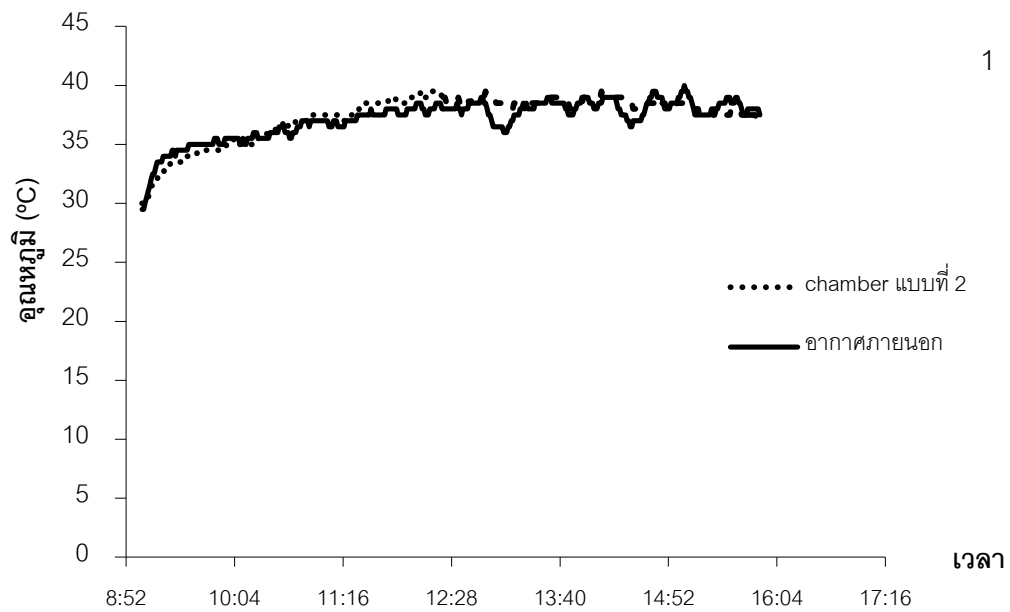
#### 4.1.3 ความยาวของสายสู่มอากาศ

การศึกษามวลของความยาวสายสู่มอากาศทั้ง 3 ชุด ดังต่อไปนี้ ชุดที่ 1 คือ สายสู่มอากาศยาว 3 และ 10 เมตร ชุดที่ 2 คือ สายสู่มอากาศยาว 3 และ 17 เมตร และชุดที่ 3 คือ สายสู่มอากาศยาว 3 และ 27 เมตร พบว่าค่าความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ได้จากการวัดของแต่ละชุดการทดลองในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง มีลักษณะเป็นไปตาม ภาพที่ 8 โดยในชุดที่ 1 พบว่าค่าความเข้มข้นของโอโซนที่วัดจากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 3 เมตร และที่วัดได้จากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 10 เมตร มีค่าใกล้เคียงกันตลอดเวลาที่ทำการทดลอง โดยค่าความเข้มข้นโอโซนเฉลี่ยที่วัดได้จากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 3 เมตร มีค่า  $359 \pm 30$  ppb และที่วัดจากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 10 เมตร มีค่า  $357 \pm 22$  ppb สำหรับในชุดที่ 2 พบว่าค่าความเข้มข้นของโอโซนที่วัดได้จากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 17 เมตร ตลอดการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดได้จากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 3 เมตร โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนที่วัดจากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 3 เมตร และ 17 เมตร มีค่าเท่ากับ  $316 \pm 8$  และ  $293 \pm 6$  ppb ตามลำดับ ส่วนในชุดที่ 3 พบว่าค่าความเข้มข้นของโอโซนเฉลี่ยที่วัดได้จากสายสู่มอากาศที่มีความยาว 27 เมตร อ่านค่าความเข้มข้นของโอโซนได้น้อยกว่าค่าที่ถูกรวัดด้วยสายสู่มอากาศที่มีความยาว 3 เมตร โดยค่าเฉลี่ยของโอโซนที่ถูกรวัดด้วยสายสู่มอากาศ 3 เมตร มีค่า  $262 \pm 76$  ppb และค่าที่ถูกรวัดด้วยสายสู่มอากาศยาว 27 เมตร มีค่าเท่ากับ  $216 \pm 72$  ppb

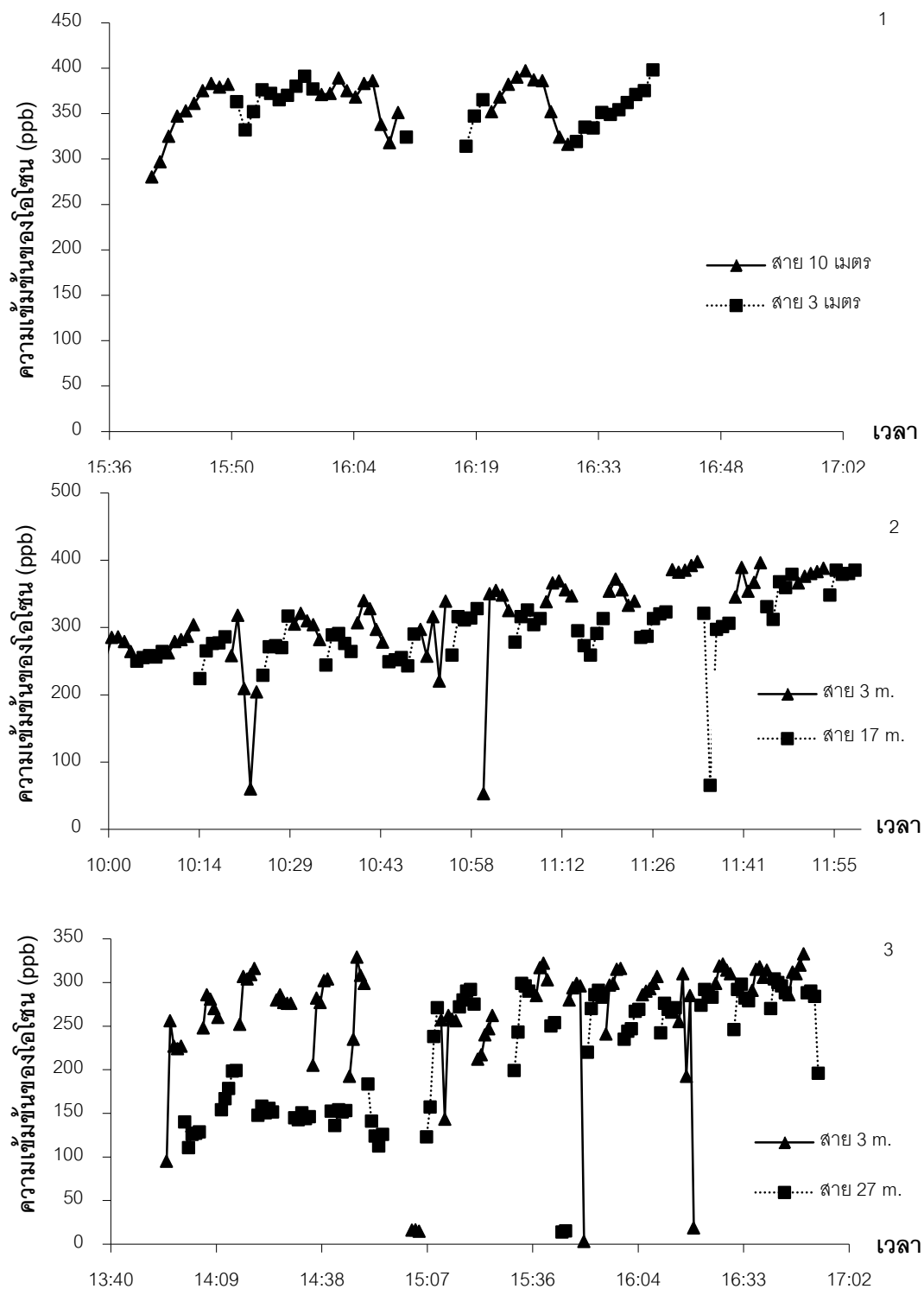




ภาพที่ 6 ข้อมูลทางกายภาพที่วัดจากบรรยากาศภายนอก ภายใน chamber ที่สูง 2.0 เมตร และภายใน chamber ที่สูง 2.5 เมตร โดยค่า 1) ค่าของอุณหภูมิ และ 2) ค่าความชื้นสัมพัทธ์



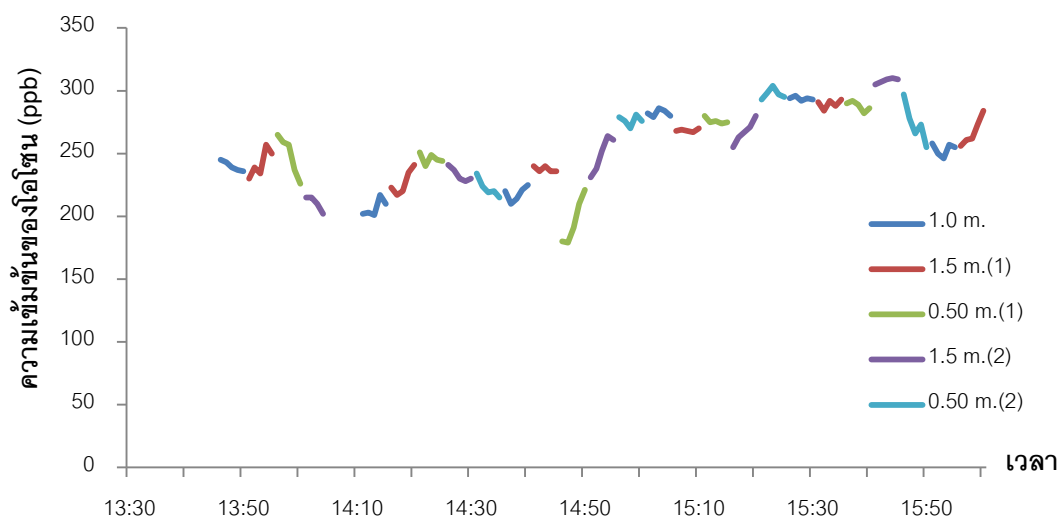
ภาพที่ 7 ข้อมูลทางกายภาพของอุณหภูมิที่ถูกวัดจาก 1) บรรยากาศภายนอก กับ ภายใน chamber ที่เปิดช่องด้านบนขนาด 0.6 x 1.6 ตารางเมตร และ 2) บรรยากาศภายนอก กับ ภายใน chamber ที่เปิดช่องด้านบนขนาด 0.2 x 0.2 ตารางเมตร



ภาพที่ 8 ค่าความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ตรวจวัดได้ตามเวลาต่างๆ โดยใช้สายสู่มอากาศที่มีความยาวต่างๆ ดังนี้ 1) สายสู่มอากาศความยาว 3 และ 10 เมตร 2) สายสู่มอากาศความยาว 3 และ 17 เมตร และ 3) สายสู่มอากาศความยาว 3 และ 27 เมตร

#### 4.1.4 ความสม่ำเสมอของไอโซน

จากการศึกษาความสม่ำเสมอของแก๊สไอโซนที่อยู่ภายใน chamber ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ดังนี้ 1) ตรงกลางของ chamber ที่ความสูง 1.5 เมตร 2) มุมด้านหน้าข้างซ้ายของ chamber ที่ความสูง 1.5 เมตร 3) มุมด้านหน้าข้างขวาของ chamber ที่ความสูง 0.5 เมตร 4) มุมด้านหลังข้างขวาของ chamber ที่ความสูง 0.5 เมตร และ 5) มุมด้านหลังข้างซ้ายของ chamber ที่ความสูง 0.5 เมตร พบว่าค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนที่ถูกวัดจากตำแหน่งต่างๆ ภายใน chamber มีลักษณะดัง ภาพที่ 9 จะเห็นว่าในช่วงเวลาต่างๆ ค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าความเข้มข้นของไอโซนเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่ง มีค่าอยู่ในช่วง 248 – 267 ppb โดยค่าความเข้มข้นของไอโซนเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 1 มีค่าเท่ากับ  $248 \pm 36$  ppb ค่าเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ  $253 \pm 24$  ppb ค่าเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 3 มีค่าเท่ากับ  $251 \pm 24$  ppb ค่าเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 4 มีค่าเท่ากับ  $256 \pm 34$  ppb และค่าเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 5 มีค่าเท่ากับ  $267 \pm 29$  ppb ดังนั้นจะเห็นว่าค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆ ภายใน chamber มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 20 ppb ดังนั้นแก๊สไอโซนที่อยู่ภายใน chamber นี้มีความสม่ำเสมอเพียงพอที่จะใช้สำหรับทำการทดลองต่อไป

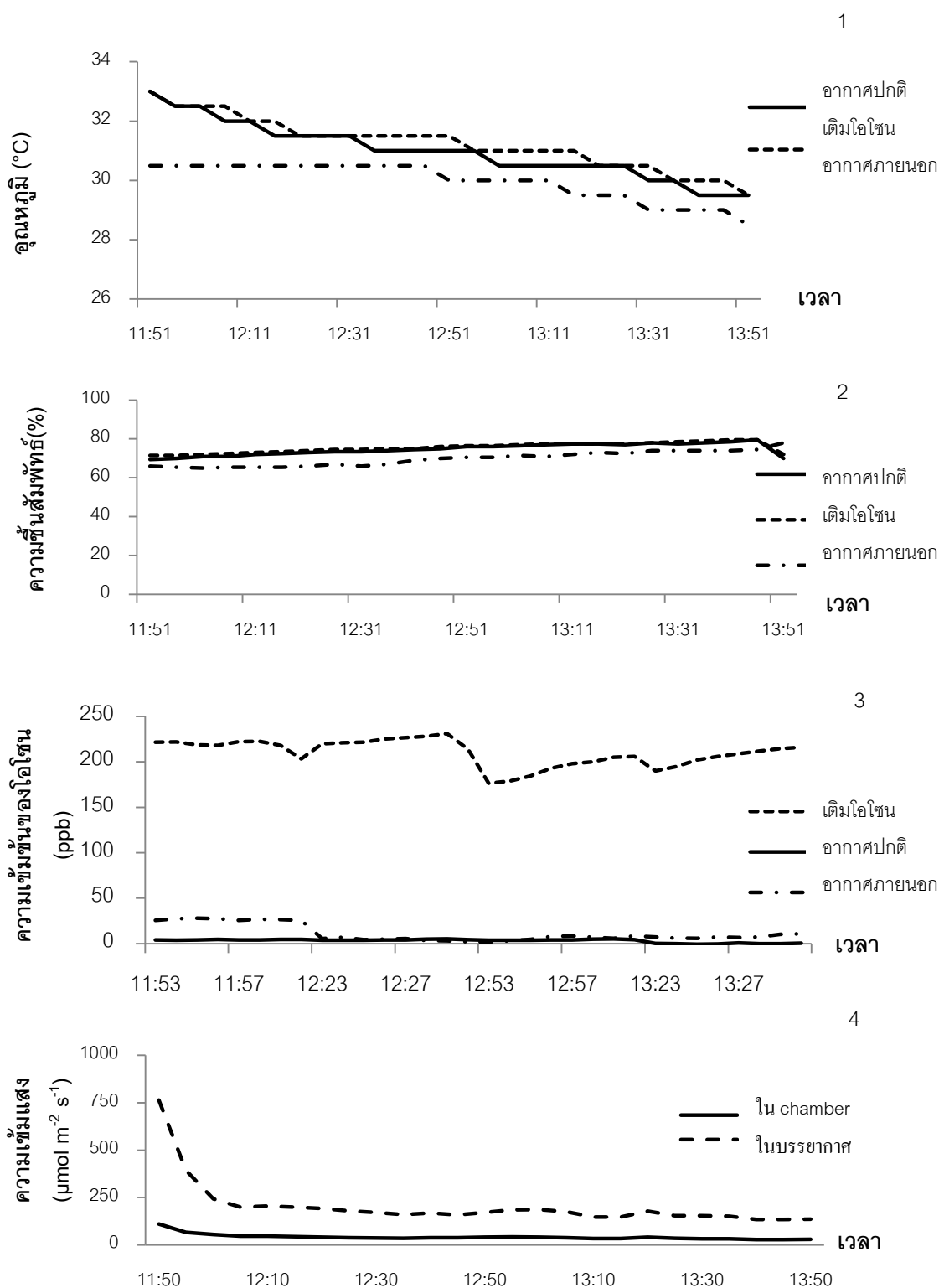


ภาพที่ 9 ค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนในช่วงเวลาต่างๆ ที่ถูกวัดภายใน chamber ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง คือ ที่มุมทั้งสี่ด้านและตรงกลางของ chamber โดยมีระดับความสูงทั้งหมด 3 ระดับ ดังนี้ คือ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตร

## 4.2 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง (light response curve)

### 4.2.1 ข้อมูลทางกายภาพ

ข้อมูลทางกายภาพที่ทำการวัดขณะทำการบันทึกไว้ภายใต้การทดลอง โดยข้อมูลที่ทำ การบันทึกไว้ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสง และความเข้มข้นของ แก๊สไอโซน โดยข้อมูลนี้จะทำการบันทึกภายใน chamber ที่ได้รับอากาศปกติ ซึ่งเป็นชุดควบคุม ภายใน chamber ที่ได้รับการเติมแก๊สไอโซน ซึ่งเป็นชุดทรีตเมนต์ และบรรยากาศภายนอกกรอบ ๆ chamber โดยพบว่าค่าของอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 28.5 – 33 °C โดย เป็นไปตามภาพที่ 10-1 โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายใน chamber ชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ  $30.98 \pm 0.98$  °C ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายใน chamber ชุดทรีตเมนต์ มีค่าเท่ากับ  $31.24 \pm 0.89$  °C และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของบรรยากาศรอบ ๆ chamber มีค่าเท่ากับ  $29.96 \pm 0.79$  °C สำหรับ ค่าความชื้นสัมพัทธ์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 65 – 79.5 เปอร์เซ็นต์ ตามภาพที่ 10-2 โดยค่าเฉลี่ยของ ความชื้นสัมพัทธ์ภายใน chamber ชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ  $74.74 \pm 3.0$  เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของ ความชื้นสัมพัทธ์ภายใน chamber ชุดทรีตเมนต์ มีค่าเท่ากับ  $75.58 \pm 2.6$  เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ย ของความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศรอบ ๆ chamber มีค่าเท่ากับ  $69.9 \pm 3.8$  เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่า ความเข้มข้นของแก๊สไอโซนมีลักษณะดังภาพ 10-3 โดยค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซนเฉลี่ย ภายใน chamber ชุดทรีตเมนต์ ชุดควบคุม และบรรยากาศรอบ chamber มีค่าเท่ากับ 210 ppb, 3.2 ppb และ 11.1 ppb ตามลำดับ และค่าความเข้มแสงภายใน chamber และ ความเข้มแสง ภายนอก ตามภาพที่ 10-4 โดยมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยภายในและภายนอก chamber มีค่า เท่ากับ  $42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และ  $203 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ตามลำดับ

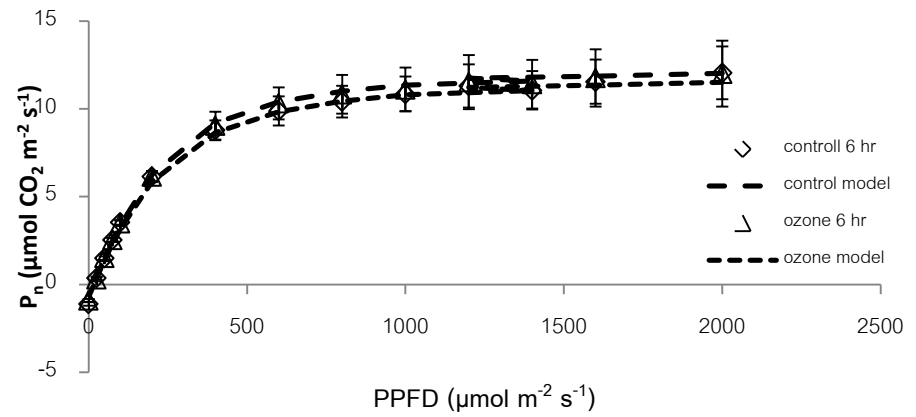
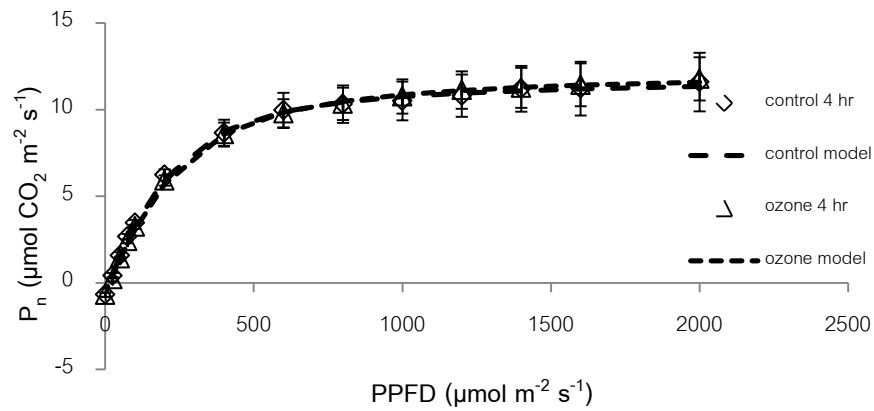
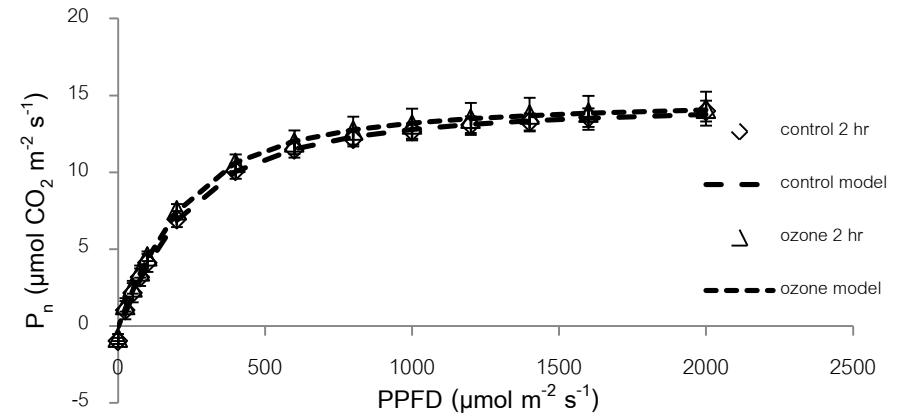
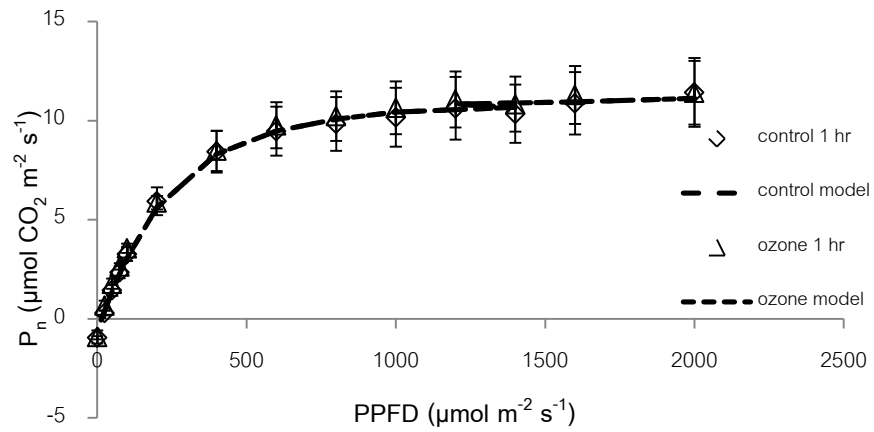


**ภาพที่ 10** ข้อมูลทางกายภาพที่ถูกวัดจากบรรยากาศภายนอก ภายใน chamber ของชุดที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซน 1) ค่าของอุณหภูมิ 2) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 3) ความเข้มชั้นไอโซนและ 4) ความเข้มแสง

#### 4.2.2 ผลการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ได้รับแก๊สโอโซน

จากการศึกษาการตอบสนองต่อแสงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ ( $P_n$ ) ของใบยางพารา ที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊ส  $O_3$  เข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าลักษณะการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ได้รับแก๊สโอโซนทั้ง 4 เวลา ลักษณะการตอบสนองต่อแสงของใบยางพารามีลักษณะคล้ายคลึงกับการตอบสนองต่อแสงในใบของถั่วเขียว ถั่วลิสง และถั่วเหลือง (วิฑูดา วงษ์ประเสริฐ, 2551) (ภาพที่ 11) โดยในสภาวะที่มีความเข้มของแสงน้อย ๆ ( $0 - 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิจะมีค่าแปรผันตามค่าความเข้มของแสง เนื่องจากพืชที่อยู่ในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยแสงจะเป็นปัจจัยจำกัดต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นจึงทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงด้วย แต่เมื่อพืชอยู่ในสภาวะที่มีความเข้มแสงสูง ๆ ( $1000 - 2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) พบว่าแม้ความเข้มแสงจะเพิ่มแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิกลับมีค่าคงที่ เนื่องจากพืชที่อยู่ในสภาวะนี้ความเข้มแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพราะในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนอกจากความเข้มแสงแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของ  $CO_2$  ปริมาณของเอนไซม์ต่าง ๆ ปริมาณของ RuBP เริ่มต้น ความสามารถในการสร้าง RuBP หมุนเวียน และความสามารถในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้เองจะกลายเป็นปัจจัยจำกัดแทนความเข้มของแสง

จากการศึกษาการตอบสนองต่อความเข้มแสงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบยางพาราที่เจริญเต็มที่ ทำให้ได้เส้นตอบสนองต่อแสง (ภาพที่ 11) จากเส้นตอบสนองต่อแสงนี้สามารถวิเคราะห์ผ่านสมการ non-rectangular hyperbola ทำให้ได้ค่าตัวแปรอีกหลายค่าจากเส้นตอบสนองต่อแสง เช่น ค่าอัตราการหายใจในที่มืด ( $R_d$ ) ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ( $P_{max}$ ) ค่าความชันเริ่มต้นของการตอบสนอง (initial slope,  $\alpha$ ) ค่าควบคุมความโค้งงอของเส้นกราฟ (convexity parameter,  $\theta$ ) จุดชดเชยแสง (LCP) และจุดอิ่มตัวของแสง (LSP) ซึ่งสามารถศึกษาผลของแก๊สโอโซน มีผลต่อค่าตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร

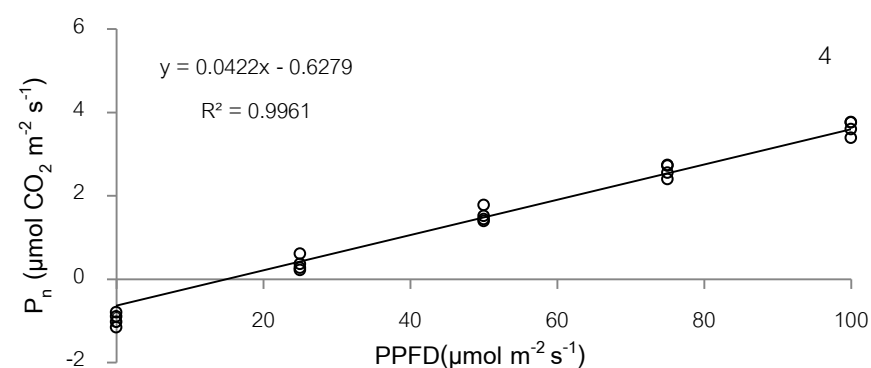
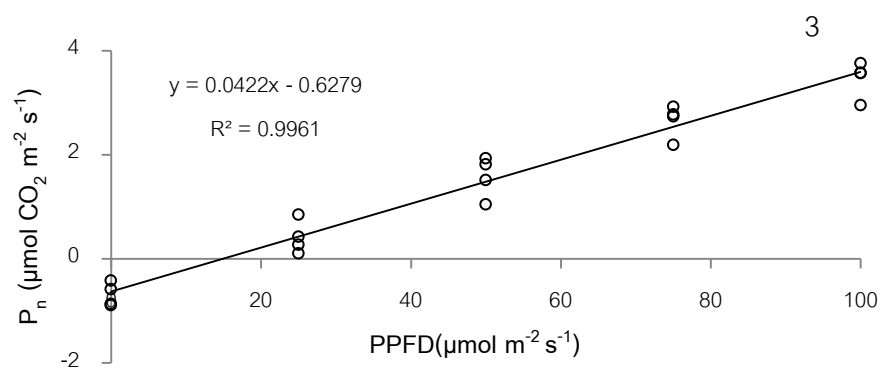
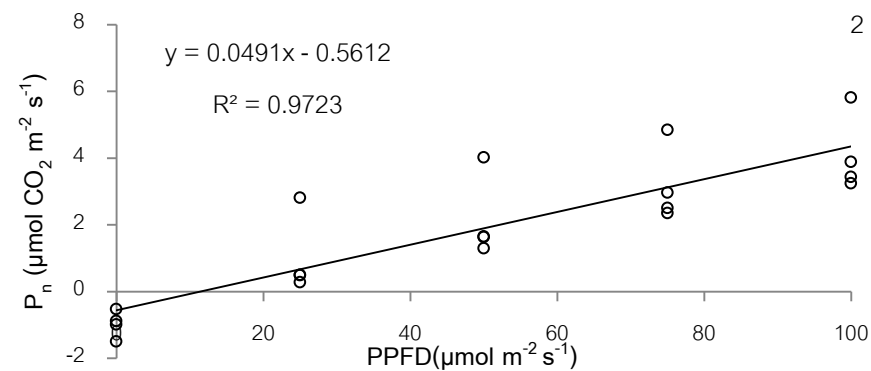
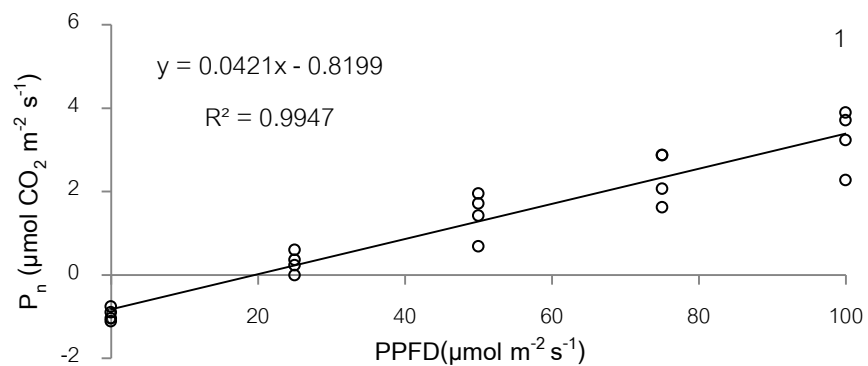


ภาพที่ 11 การตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซน เป็นระยะเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

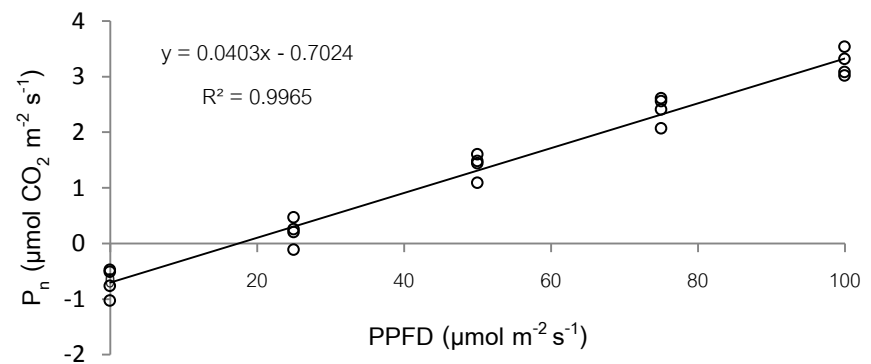
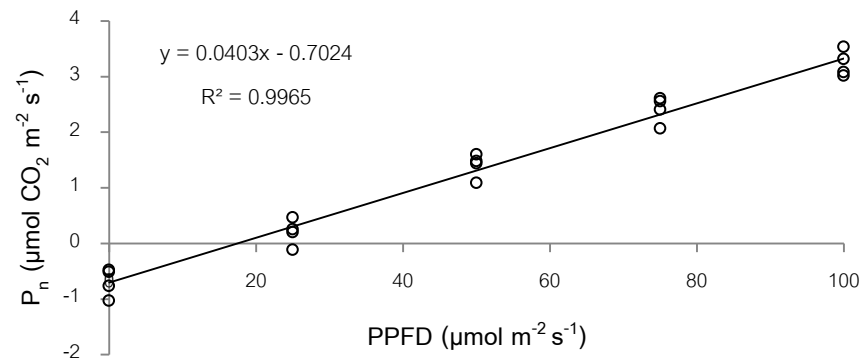
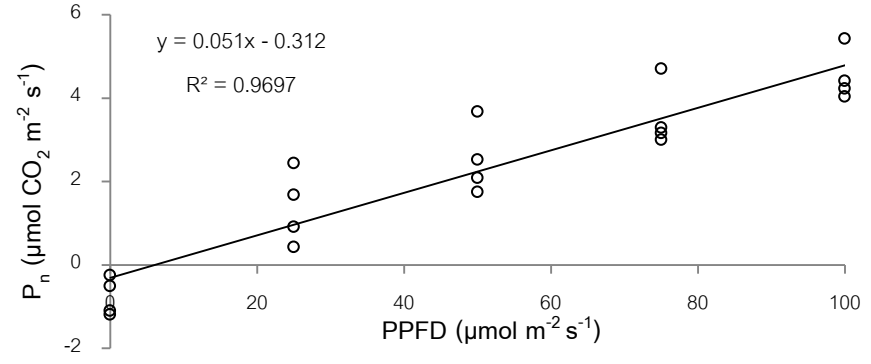
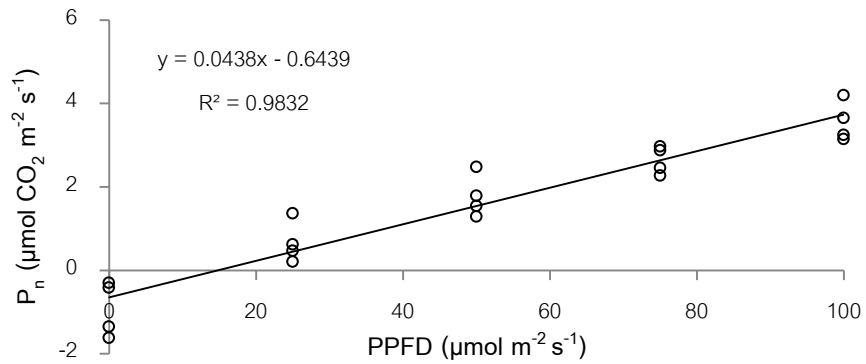


#### 4.2.3 ผลของแก๊สโอโซนต่อค่าความชันเริ่มต้นของกราฟการตอบสนองต่อแสง

ค่าความชันเริ่มต้นของกราฟการตอบสนองต่อแสง (initial slope,  $\alpha$ ) คือค่าที่แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อระดับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น 1 หน่วย อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีการเพิ่มขึ้นเท่าใด ซึ่งค่านี้สามารถประเมินได้จากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่กำหนด ความเข้มแสงในช่วง  $0 - 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (ภาพที่ 12 และ 13) จากการทดลองพบว่าใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซน เข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าความชันเริ่มต้นของกราฟอยู่ในช่วง  $0.03 - 0.05$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สโอโซน เข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าความชันเริ่มต้นของกราฟมีค่าอยู่ในช่วง  $0.04 - 0.06$  ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติ ส่วนค่าความชันเริ่มต้นของกราฟการตอบสนองต่อแสงของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สโอโซน เข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $0.03 - 0.04$  ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับค่าความชันเริ่มต้นของกราฟการตอบสนองต่อแสงของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้ม 200 ppb เป็นระยะเวลานาน 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $0.04 - 0.05$  ซึ่งไม่แตกต่างกันในทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยของค่าความชันเริ่มต้นของกราฟการตอบสนองต่อแสงของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซน เข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมงมีค่าอยู่ในช่วง  $0.03 - 0.05$  ตามภาพที่ 14



ภาพที่ 12 ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ได้รับจากความเข้มแสงในช่วง 0 -100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ของใบยางพาราภายหลังที่ได้รับอากาศปกติ 1) เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง 2) เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง 3) เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง และ 4) เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง

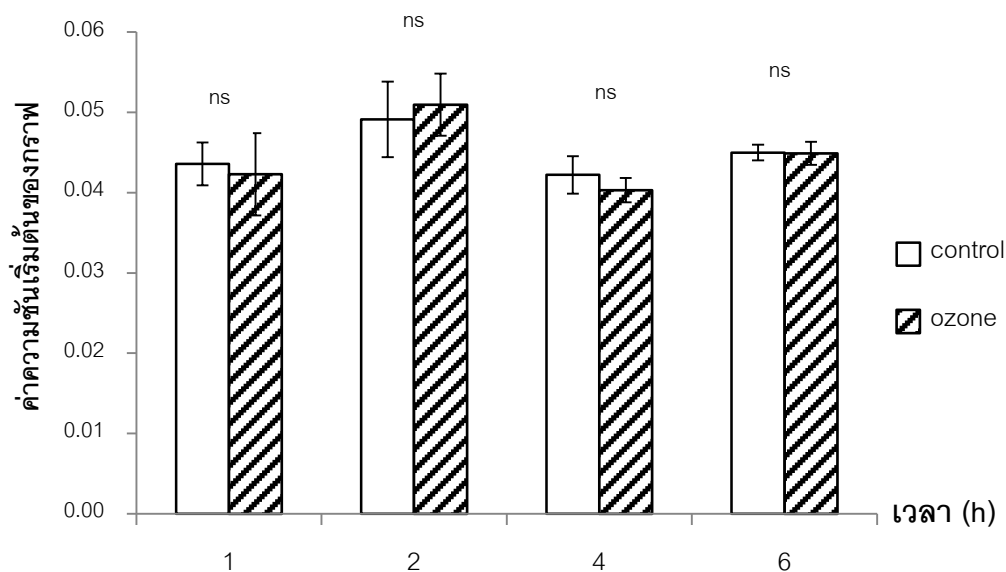


ภาพที่ 13 ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ได้รับความเข้มแสงในช่วง 0-100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ของใบยางพาราภายหลังที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สไอโซน เข้มข้น 200 ppb 1) เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง 2) เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง 3) เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง และ 4) เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง

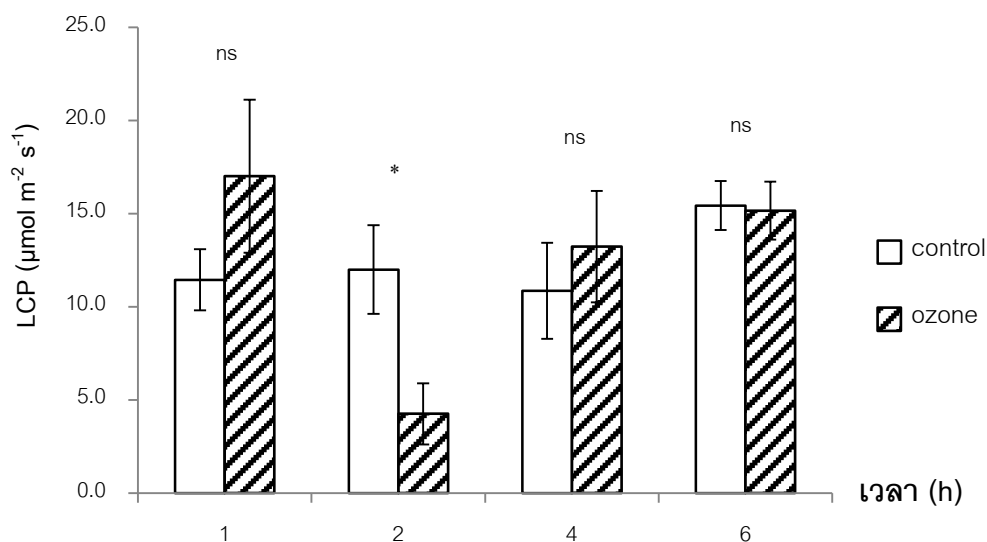
#### 4.2.4 ค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ

ค่าของความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ เรียกว่า ความเข้มแสงนี้ว่า light compensation point (LCP) ผลลัพธ์ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ สามารถประเมินได้จากสมการเชิงเส้นของเส้นการตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ความเข้มแสงช่วง 0 – 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  จากผลการทดลองพบว่าค่า LCP ของยางพาราภายหลังที่ได้รับอากาศปกติเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 3.5 – 17.9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และค่า LCP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 2.4 – 24.8  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยสำหรับค่าเฉลี่ยของ LCP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 11.4 และ 17.0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ซึ่งไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.26) และค่าเฉลี่ยของ LCP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง เท่ากับ 12.0 และ 4.3  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.04) สำหรับค่าเฉลี่ย LCP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซน 200 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 10.9 และ 13.2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติ (P-value = 0.57) และสำหรับค่าเฉลี่ย LCP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนที่ความเข้ม 200 ppb เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 15.4 และ 15.2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.51) (ภาพที่ 15)

เนื่องจากค่า light compensation point (LCP) คือความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการการตรึง  $\text{CO}_2$  จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถชดเชยกับการปลดปล่อย  $\text{CO}_2$  จากกระบวนการหายใจพอดี ดังนั้นอัตราการแลกเปลี่ยน  $\text{CO}_2$  มีค่าเป็นสุทธิเป็นศูนย์ โดยค่า LCP ของพืชนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ และความชันเริ่มต้นของการตอบสนองต่อแสงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิในช่วงความเข้มแสงต่ำ



**ภาพที่ 14** ค่าเฉลี่ยของความชันเริ่มต้นของกราฟที่ประเมินจากการตอบสนองต่อแสงในช่วง 0-100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลานานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง



**ภาพที่ 15** ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเท่ากับศูนย์ (LCP) ของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลานานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

\* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

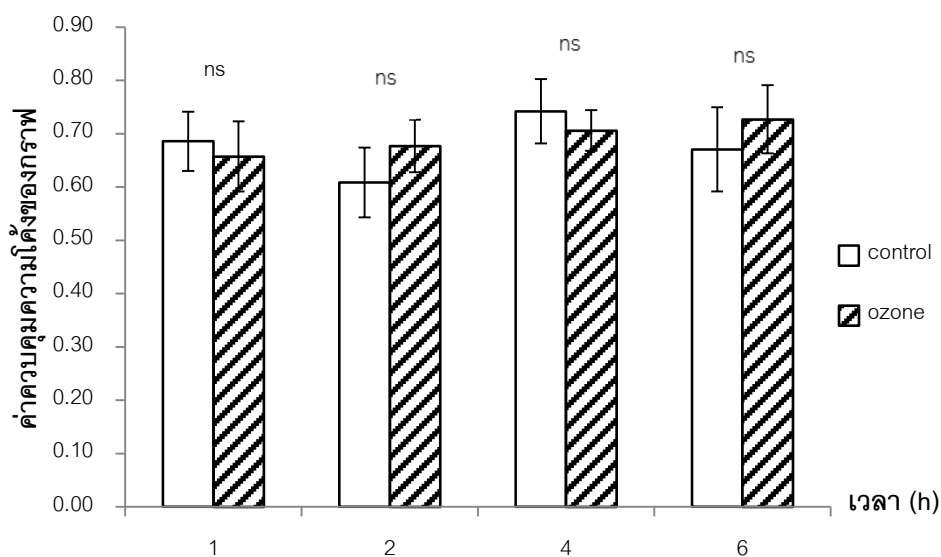
#### 4.2.5 ค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ

ค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ (convexity parameters,  $\Theta$ ) คือค่าที่แสดงถึงช่วงแสงที่ทำให้การตอบสนองต่อแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว ซึ่งค่าตัวแปรนี้บ่งบอกถึงสัดส่วนค่าความต้านทานทางฟิสิกส์ต่อค่าความต้านทานทั้งหมดของใบ โดยจากการทดลองพบว่าค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศปกติ เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.42 – 0.91 และค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟของใบยางพาราที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.49 – 0.89 และค่าเฉลี่ยของค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยค่าเฉลี่ยของค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและ อากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.69 และ 0.66 ตามลำดับ และไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.75) สำหรับค่าเฉลี่ยของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.61 และ 0.68 ตามลำดับ และไม่พบความแตกต่างในทางสถิติ (P-value = 0.42) สำหรับค่าเฉลี่ยของค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.74 และ 0.70 โดยไม่พบความแตกต่างในทางสถิติ (P-value = 0.62) และสำหรับค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.72 และ 0.68 โดยไม่พบความแตกต่างในทางสถิติ (P-value = 0.66) (ภาพที่ 16)

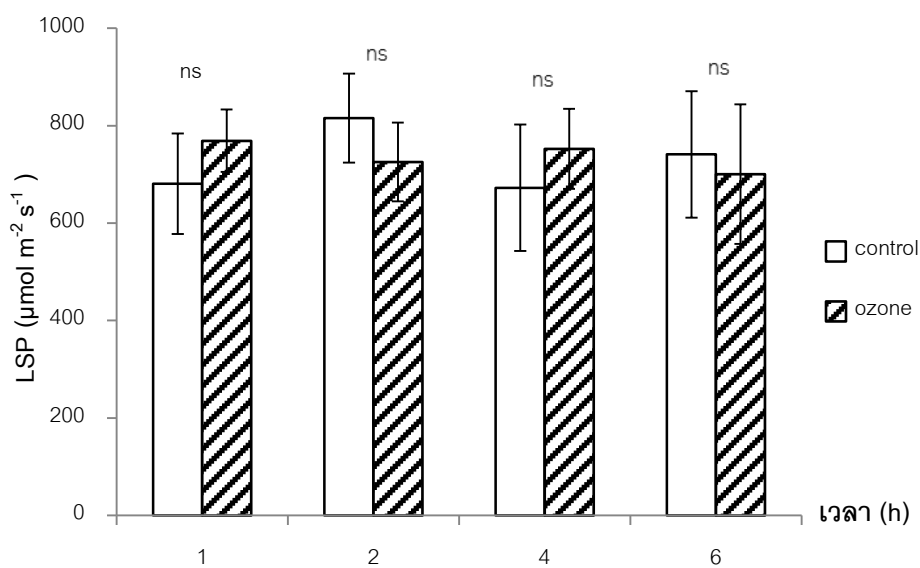
#### 4.2.6 ความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอิ่มตัว

ค่าความเข้มของแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเข้าสู่ระยะอิ่มตัว (Light saturation point ; LSP) จากการทดลองพบว่าใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติเป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่า LSP อยู่ในช่วง 296 – 1063  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และใบยางพาราที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่า LSP อยู่ในช่วง 292 - 924  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ LSP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 1 ชั่วโมงมีค่า 729 และ 720  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.50) ส่วนค่าเฉลี่ยของ LSP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ

815 และ 725  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.49) ส่วนค่าเฉลี่ยของ LSP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลานาน 4 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 672 และ 752  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.62) และค่าเฉลี่ยของ LSP ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลานาน 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 741 และ 701  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.83) (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 16 ค่าเฉลี่ยของค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ (convexity parameters,  $\theta$ ) ที่ได้จาก light response curve ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 17 ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอิ่มตัวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซน ที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

\* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

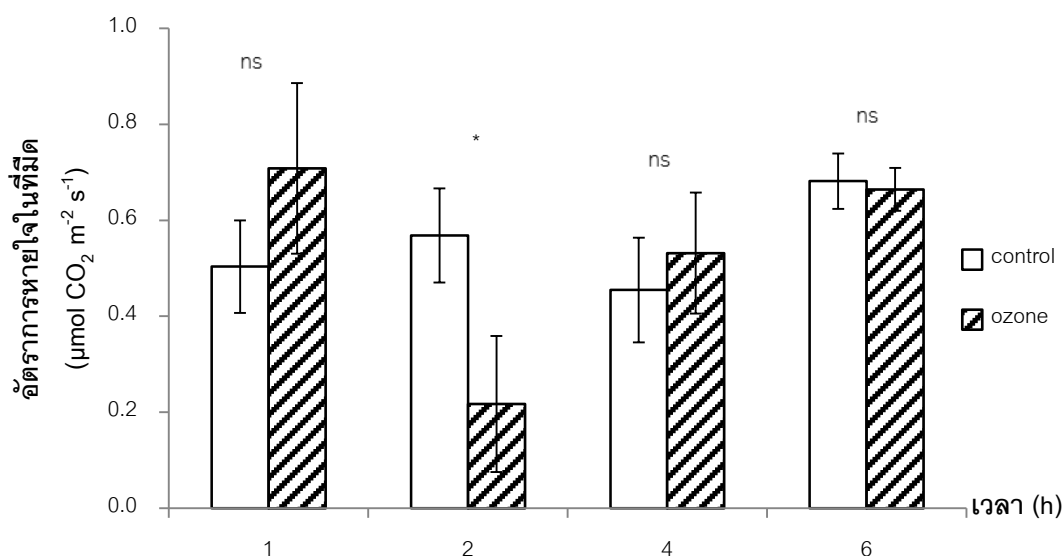


#### 4.2.7 อัตราการหายใจในที่มืด (dark respiration, $R_d$ ) ของใบยางพารา

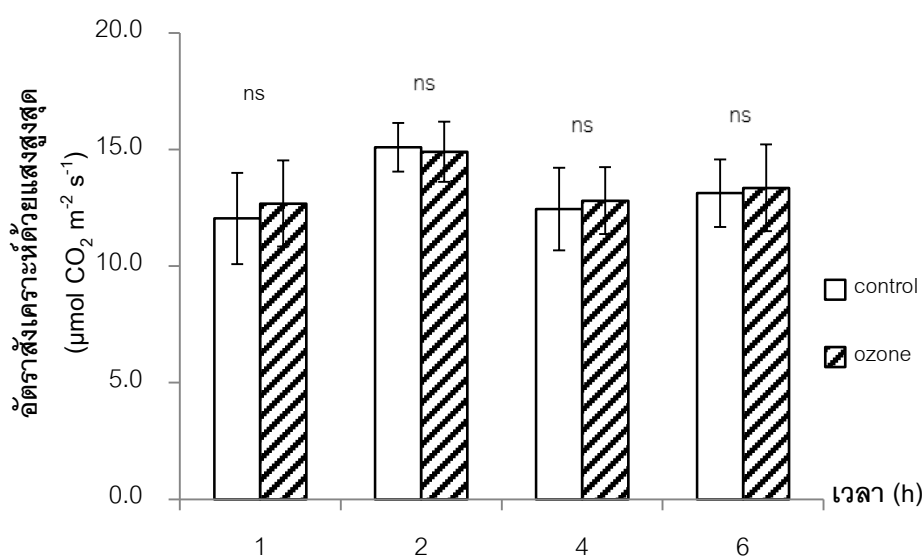
อัตราการหายใจในที่มืด เป็น ค่าที่สามารถประเมินได้จากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิในขณะที่มีความเข้มแสงมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้คำนวณอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการหายใจเท่านั้น เนื่องจากอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เกิดขึ้น เพราะค่าความเข้มแสงมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยจากการทดลองพบว่าอัตราการหายใจในที่มืดของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติที่เวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $0.14 - 0.83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และอัตราการหายใจของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $0.06 - 1.01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ  $R_d$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สไอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $0.44$  และ  $0.77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.35) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $R_d$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $0.57$  และ  $0.22 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.03) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $R_d$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $0.45$  และ  $0.53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.67) และค่าเฉลี่ยของ  $R_d$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $0.68$  และ  $0.66 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.70) (ภาพที่ 18)

#### 4.2.8 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุด ( $P_{max}$ )

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุด ( $P_{max}$ ) เป็นค่าที่ได้จากการนำเส้น light response curve มาประเมินผ่านสมการ non-rectangular hyperbola model จากการทดลองพบว่าใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติเป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่า  $P_{max}$  อยู่ในช่วง 7.5 – 18.1  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และค่า  $P_{max}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 7.8 – 17.2  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ  $P_{max}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 12.0 และ 12.6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ (P-value = 0.81) ส่วนค่าเฉลี่ยของ  $P_{max}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 15.1 และ 14.9  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P = 0.92) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $P_{max}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 12.5 และ 12.8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P = 0.87) และค่าเฉลี่ยของ  $P_{max}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 13.4 และ 13.1  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P = 0.90) ( ภาพที่ 19)



ภาพที่ 18 อัตราการหายใจในที่มีดเฉลี่ยของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดของใบยางพารา หลังจากได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

\* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

### 4.3 ผลของแก๊สไอโซนต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านใบและค่าความชื้นของใบ

#### 4.3.1 ข้อมูลทางกายภาพ

ข้อมูลทางกายภาพที่ได้ทำการบันทึกไว้ ในขณะที่ทำการรวมอากาศปกติและอากาศที่เติมแก๊สไอโซนให้กับยางพารา คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของแก๊สไอโซน และความเข้มแสง พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ถูกวัดในบรรยากาศ ภายใน chamber ที่ได้รับอากาศปกติ และภายใน chamber ที่เติมแก๊สไอโซน 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 30-38.6 องศาเซลเซียส และ 62-81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นของแก๊สไอโซนที่วัดในบรรยากาศ และภายใน chamber ที่ให้อากาศปกติ มีค่าอยู่ในช่วง 4-17 ppb และ 5-10 ppb ตามลำดับ แต่สำหรับค่าความเข้มข้นของแก๊สไอโซน ภายใน chamber ที่เติมแก๊สไอโซน เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 193-242 ppb และค่าความเข้มแสงที่ถูกวัดระหว่างภายใน chamber กับ ภายนอก chamber มีค่าอยู่ในช่วง  $32-81 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และ  $239-659 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

สำหรับข้อมูลทางกายภาพที่ถูกบันทึกไว้ ในขณะที่ทำการรวมอากาศและแก๊สไอโซนที่ความเข้มข้น 100(1) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของแก๊สไอโซน และความเข้มแสง พบว่าค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ใน chamber ที่ได้รับอากาศปกติ และใน chamber ที่เติมแก๊สไอโซนที่ความเข้มข้นต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 32.3-44.1 องศาเซลเซียส และ 46.8-71.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าความเข้มแสงภายในและภายนอก chamber มีค่าอยู่ในช่วง 61-131 และ  $239-659 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ค่าความเข้มข้นของไอโซนในบรรยากาศและภายใน chamber ที่ให้อากาศปกติ มีค่าอยู่ในช่วง 1-18 และ 7-68 ppb และค่าความเข้มข้นใน chamber ที่ได้รับไอโซน มีค่าเท่ากับ 101.7 104.6 312 623 827 และ 1200 ppb ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

**ตารางที่ 4** ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของโอโซน และความเข้มแสง ในบรรยากาศ ใน chamber ที่ให้อากาศปกติ และใน chamber ที่เติมแก๊สโอโซน

ข้อมูลทางกายภาพ	Treatment	เวลาที่พืชได้รับโอโซน (ชั่วโมง)			
		1	2	4	6
อุณหภูมิ	แก๊สโอโซน 200 ppb	32.2 ± 0.17	32.0 ± 0.15	35.8 ± 0.7	38.6 ± 0.54
	อากาศปกติ	31.1 ± 0.13	31.7 ± 0.14	34.8 ± 0.6	37.3 ± 0.54
	บรรยากาศ	30.0 ± 0.13	31.1 ± 0.08	32.4 ± 0.2	33.2 ± 0.24
ความชื้นสัมพัทธ์	แก๊สโอโซน 200 ppb	78.1 ± 0.37	75.8 ± 0.35	67.5 ± 1.5	61.7 ± 1.36
	อากาศปกติ	81.1 ± 0.20	78.7 ± 0.38	72.0 ± 1.3	67.4 ± 1.32
	บรรยากาศ	76.3 ± 0.32	66.8 ± 0.30	62.4 ± 0.76	64.3 ± 0.96
ความเข้มข้นของโอโซน	แก๊สโอโซน 200 ppb	242 ± 2.3	215 ± 4.3	220 ± 6.5	193 ± 3.9
	อากาศปกติ	8 ± 0.2	10 ± 0.1	9 ± 0.3	5 ± 1.2
	บรรยากาศ	6 ± 0.3	7 ± 0.5	4 ± 0.5	17 ± 1.9
ความเข้มแสง	ใน chamber	32 ± 2.5	34 ± 2.3	65 ± 5	81 ± 5.5
	นอก chamber	239 ± 9.9	257 ± 17	536 ± 57	659 ± 52

**หมายเหตุ**      โอโซน                      หมายถึง chamber ที่เติมแก๊สโอโซน  
                          อากาศปกติ                      หมายถึง chamber ที่ได้รับอากาศปกติ  
                          บรรยากาศ                      หมายถึง อากาศที่อยู่นอก chamber

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ของเข้มข้นของแก๊สโอโซน และ ความเข้มแสงในบรรยากาศ ใน chamber ที่ให้อากาศปกติ และใน chamber ที่เติมแก๊สโอโซน

ข้อมูลกายภาพ	Treatment	ความเข้มของโอโซน (ppb)						
		บรรยากาศ(2)	100(1)	100(2)	300(2)	600(2)	900(2)	1200(2)
อุณหภูมิ	แก๊สโอโซน	34.9 ± 0.4	38.0 ± 0.30	38.64 ± 0.44	44.1 ± 1.46	38.8 ± 0.58	40.1	45.6 ± 0.41
	อากาศปกติ	34.6 ± 0.5	38.0 ± 0.32	37.42 ± 0.38	43.8 ± 1.35	38.1 ± 0.56	39.5	43.8 ± 0.36
	บรรยากาศ	32.3 ± 0.2	33.7 ± 0.07	33.5 ± 0.19	36.0 ± 0.59	33.1 ± 0.22	35.0	35.4 ± 0.14
ความชื้นสัมพัทธ์	แก๊สโอโซน	69.2 ± 1.1	61.3 ± 0.84	59 ± 1.37	46.8 ± 2.83	60.3 ± 1.39	53.2 ± 0.49	36.6 ± 0.32
	อากาศปกติ	71.2 ± 0.9	62.8 ± 0.74	63.6 ± 1.13	50.2 ± 2.77	64.5 ± 1.36	56.8 ± 0.52	42.2 ± 0.43
	บรรยากาศ	63.9 ± 0.9	60.5 ± 0.27	63.1 ± 0.91	51.0 ± 2.01	63.5 ± 1.11	57.3 ± 0.46	38.8 ± 0.41
ความเข้มข้นของโอโซน	แก๊สโอโซน	2.3 ± 0.70	101.7 ± 13.3	104.6 ± 4.7	312 ± 11.9	623 ± 20.1	827 ± 4.7	1200 ± 9
	อากาศปกติ	2.5 ± 0.65	1.3 ± 0.8	6.3 ± 1.0	40 ± 0.7	10 ± 1.9	18 ± 2.1	24 ± 3
	บรรยากาศ	7.3 ± 1.19	10.8 ± 4.4	37.3 ± 2.2	68 ± 0.5	41 ± 2.4	58 ± 5.1	28 ± 3
ความเข้มแสง	ใน chamber	61 ± 22.2	82 ± 7.7	77 ± 4	118 ± 6	86 ± 5	82 ± 4	131 ± 2
	นอก chamber	388 ± 3.7	662 ± 63	561 ± 36	1013 ± 55	626 ± 49	687 ± 37	1101 ± 18

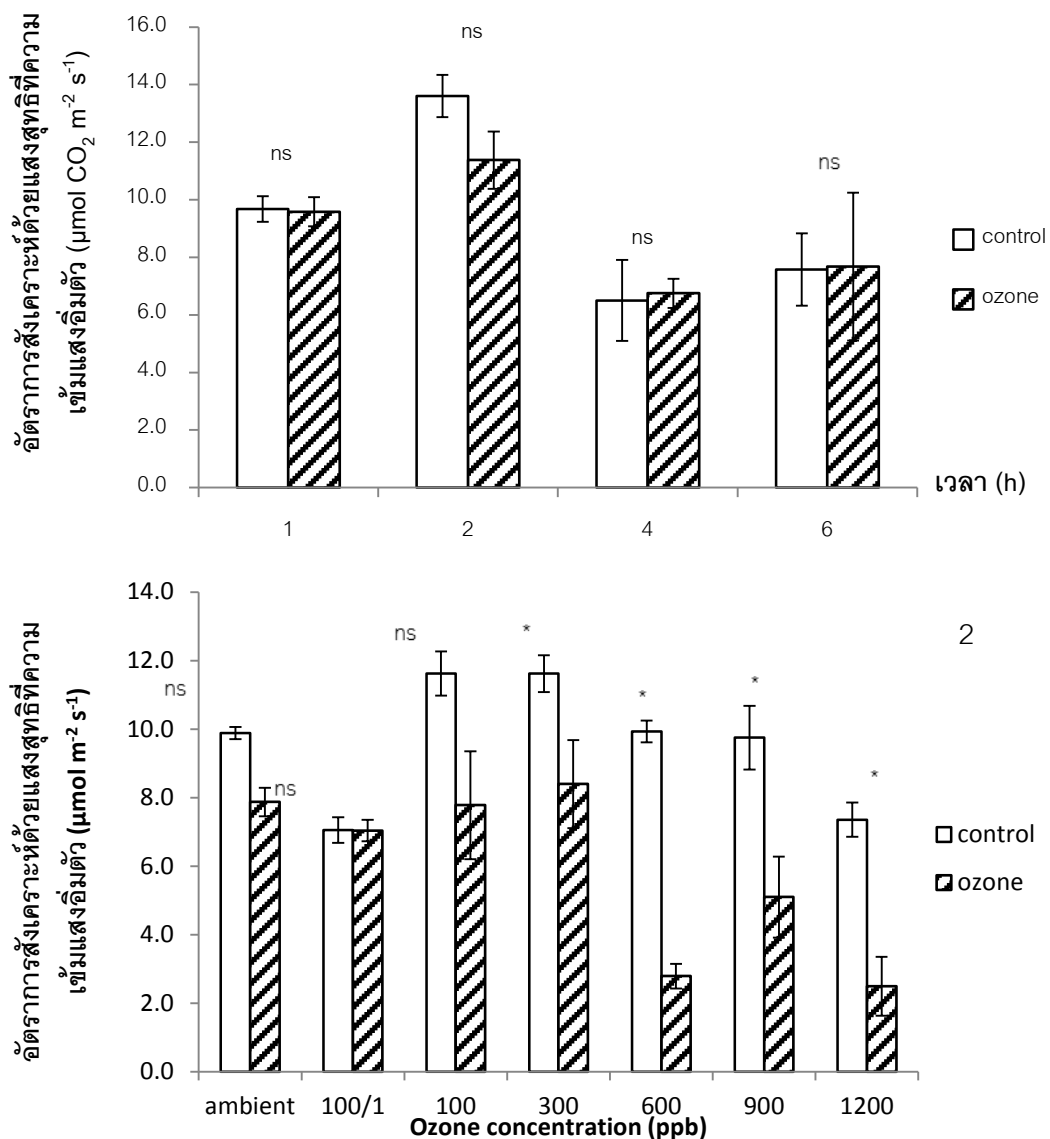
#### 4.3.2 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ )

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบที่ความเข้มแสงสูงสุด คือค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ได้จากความเข้มแสงที่เกินจุดอิ่มตัว (light saturation point ; LSP) ซึ่งหาได้จากการทำ light response curve โดยในการทดลองใช้ความเข้มแสงเท่ากับ  $1,400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  พบว่าใบของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $7.7 - 14 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ  $9.7$  และ  $9.6 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.89$ ) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $13.6$  และ  $11.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.12$ ) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $6.5$  และ  $6.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.87$ ) และค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $7.6$  และ  $7.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.96$ ) (ภาพที่ 20-1)

สำหรับค่า  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง  $5.9 - 13.1 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนที่ความเข้มข้น ambient 100 ppb 1 ชั่วโมง 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $1.3 - 12.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติของทั้ง 2 chamber มีค่าเท่ากับ  $9.9$  และ  $7.9 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.20$ ) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $7.1$  และ  $7.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติ ( $P = 0.98$ ) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $11.6$  และ  $7.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างในทางสถิติ ( $P = 0.06$ ) สำหรับค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 300 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $11.6$  และ  $8.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  มีความแตกต่างในทางสถิติ ( $P = 0.05$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 600 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $9.9$  และ  $2.8 \mu\text{mol}$

$\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.00$ ) และค่าเฉลี่ยของ  $A_{\text{sat}}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 900 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 9.8 และ  $5.1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.02$ ) และค่าเฉลี่ยของ  $A_{\text{sat}}$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 7.4 และ  $2.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.00$ ) (ภาพที่ 20-2)





**ภาพที่ 20** ค่าเฉลี่ยของ  $A_{sat}$  (1) ของใบยางพาราที่รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (2) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น ambient 100/1 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

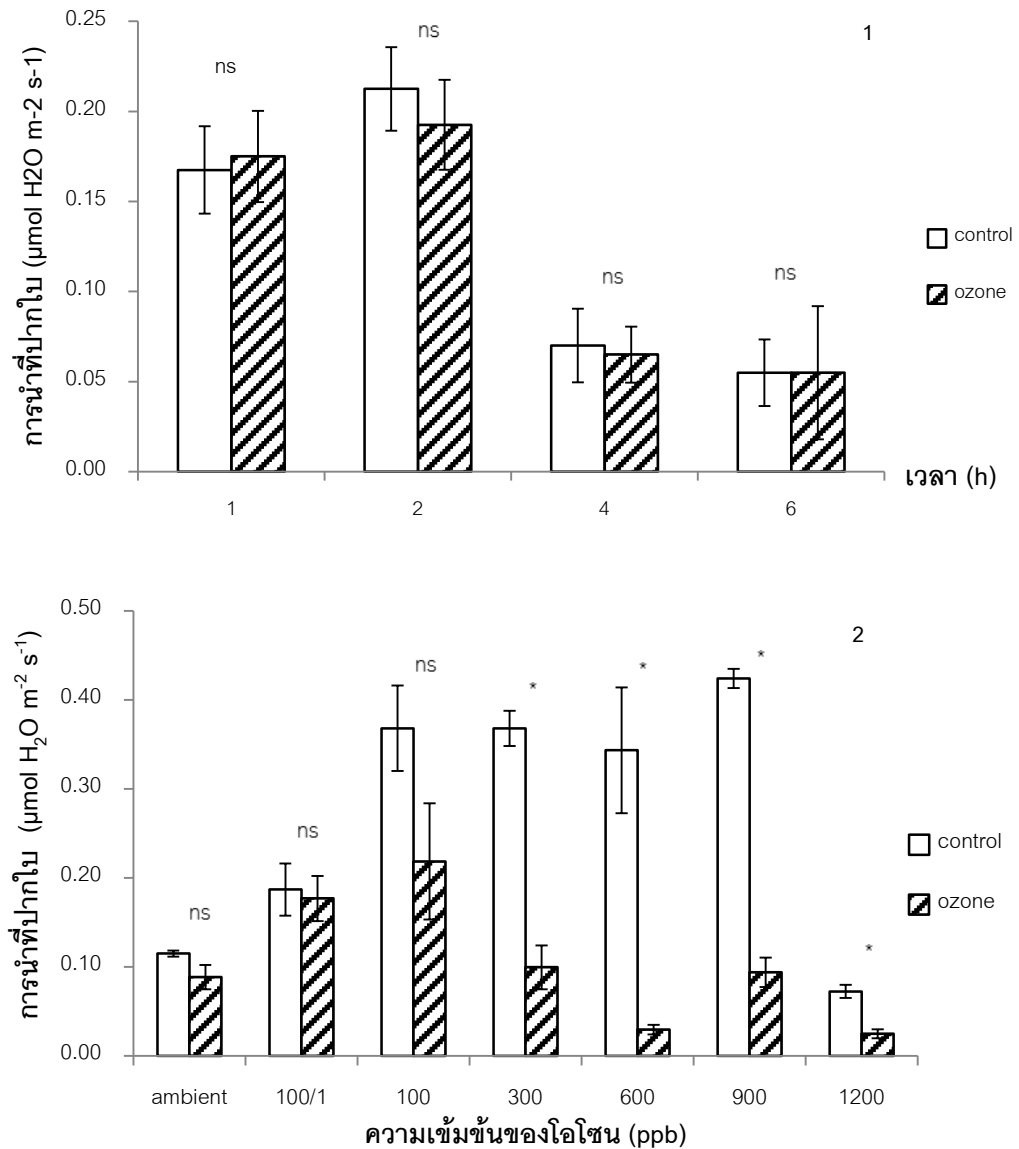
ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ  
 \* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 4.3.2 การนำที่ปากใบ (stomatal conductance, $g_s$ )

ค่าการนำที่ปากใบ (stomatal conductance,  $g_s$ ) คือค่าประเมนเป็นตัวเลขของสารที่ผ่านเข้าออกที่ปากใบ ซึ่งค่า  $g_s$  ของการทดลองนี้วัดจากการผ่านเข้าออกของน้ำ โดยพบว่าค่า  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง  $0.01 - 0.23 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และในใบยางพาราที่ได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมงมีค่าอยู่ในช่วง  $0.04 - 0.23 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ  $0.17 - 0.18 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.89$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.21 และ  $0.19 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.12$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.07 และ  $0.07 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.85$ ) และค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.06 และ  $0.06 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 1.00$ ) (ภาพที่ 21-1)

ผลของความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อค่า  $g_s$  ของใบยางพารา พบว่าค่า  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติในมีค่าอยู่ในช่วง  $0.06 - 0.47 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และค่าของ  $g_s$  ที่ได้รับแก๊สโอโซนเข้มข้น 100(1hr) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $0.02 - 0.25 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติทั้ง 2 OTCs มีค่าเท่ากับ 0.12 และ  $0.09 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.11$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.19 และ  $0.18 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.76$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.37 และ  $0.22 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.12$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 300 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.18 และ  $0.10 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.05$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 600 ppb มีค่าเท่ากับ 0.34 และ  $0.03 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  พบความแตกต่าง

ในทางสถิติ ( $P = 0.05$ ) ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 900 ppb มีค่าเท่ากับ 0.42 และ 0.10 มีความแตกต่างในทางสถิติ ( $P = 0.00$ ) และค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.72 และ  $0.25 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.00$ ) (ภาพที่ 21-2)



**ภาพที่ 21** ค่าเฉลี่ยของ  $g_s$  ของใบยางพารา (a) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (b) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมโอโซนที่ความเข้มข้น 100(1h) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

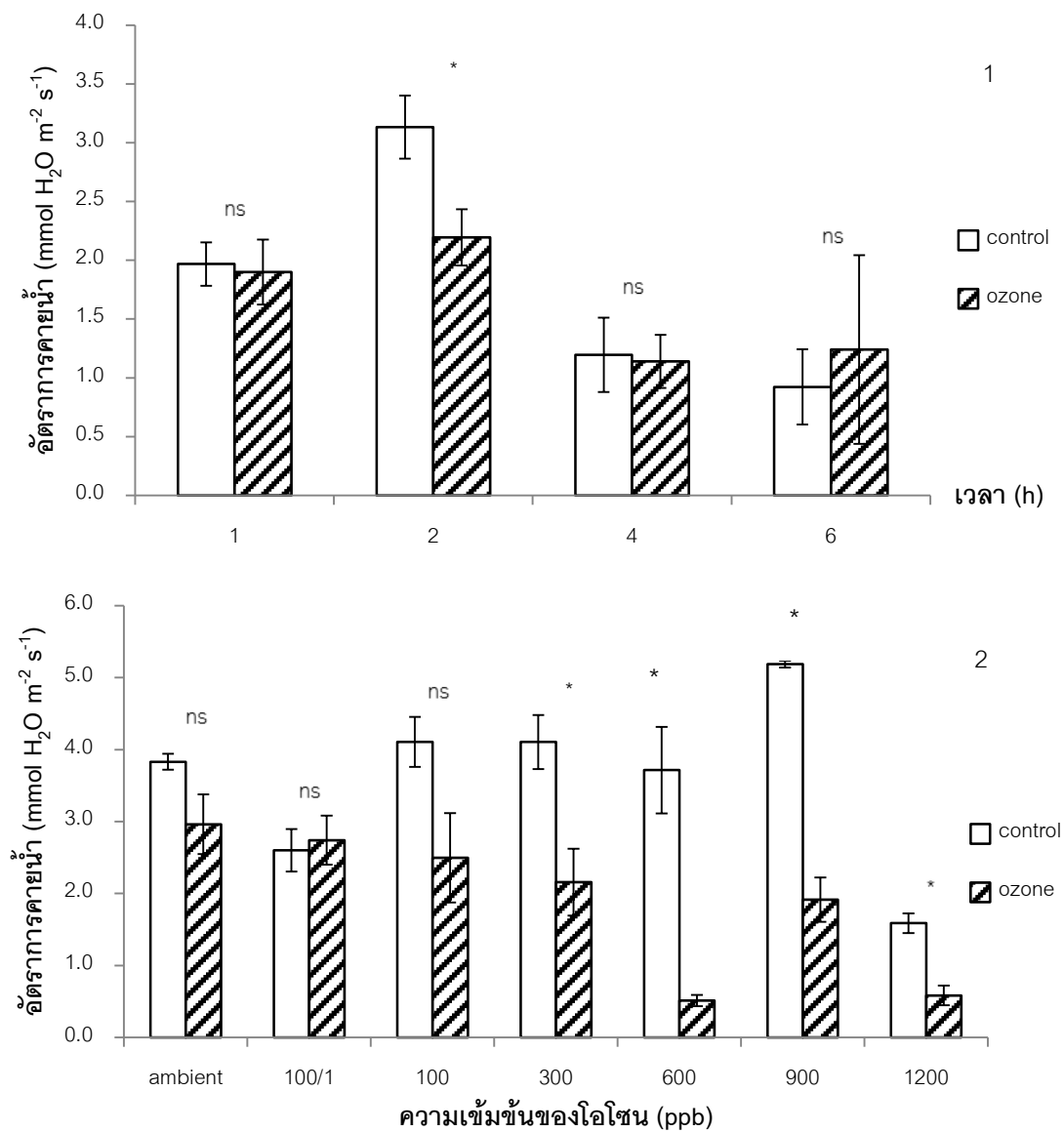
\* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 4.3.3 อัตราการคายน้ำ (T)

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุก ๆ ชนิด สำหรับพืชมีการสูญเสียน้ำส่วนใหญ่อยู่นในรูปของไอน้ำ โดยการสูญเสียน้ำของพืชมีวิธีหลายวิธีเช่น การคายน้ำทางเลนติเซล (lenticel) การนำผ่านทางผิวใบ การคายน้ำผ่านทางปากใบ เป็นต้น โดยพืชจะมีการสูญเสียน้ำผ่านการคายน้ำทางปากใบมากที่สุด โดยการคายน้ำของพืชนั้นมีส่วนช่วยในการลดอุณหภูมิของพืช เนื่องจากพืชไม่สามารถเคลื่อนได้จึงทำให้พืชจะต้องเผชิญกับความร้อนจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน และการที่พืชสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำนั้น ไอน้ำที่ถูกคายออกไปจะดึงพลังงานความร้อนจำนวนมากออกจากพืช นอกจากช่วยลดอุณหภูมิแล้วขณะที่น้ำระเหยออกจากพืชจะทำให้เกิดแรงดึงภายในพืชอีกด้วย ซึ่งแรงดึงนี้มีส่วนช่วยการลำเลียงน้ำจากดินไปยังส่วนยอดของพืชที่อยู่สูงๆ ได้อีกด้วย จากการทดลองพบว่าอัตราการคายน้ำ (T) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง  $0.5 - 3.9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และที่ได้รับแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง  $0.7 - 2.7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 2.0 และ  $1.9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.85$ ) ค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 3.1 และ  $2.2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  มีความแตกต่างในทางสถิติ ( $P = 0.04$ ) ค่าเฉลี่ยของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 1.2 และ  $1.1 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.89$ ) และค่าเฉลี่ยของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.9 และ  $1.2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.56$ ) (ภาพที่ 22-1)

สำหรับค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง  $1.3 - 4.1 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 100(1h) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงมีค่าอยู่ในช่วง  $0.4 - 3.9 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  โดยค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติทั้ง 2 chamber มีค่าเท่ากับ 3.8 และ  $3.0 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่ต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.09$ ) ค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 2.6 และ  $2.7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.76$ ) ค่าเฉลี่ยของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น

100 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4.1 และ 2.5 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ไม่ต่างกันในทางสถิติ (P = 0.65) ค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 300 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4.0 และ 2.2 5 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P = 0.02) ค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 600 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 3.7 และ 0.5 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P = 0.01) ค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 900 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 5.2 และ 1.9 5 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P = 0.00) และค่าเฉลี่ยของ T ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 1.6 และ 0.6 5 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ไม่ต่างกันในทางสถิติ (P = 0.02)(ภาพที่ 22-2)



**ภาพที่ 22** ค่าเฉลี่ยของอัตราการคายน้ำของใบยางพารา (a) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (b) ที่ได้รับอากาศปกติและที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 100(1hr) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

\* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

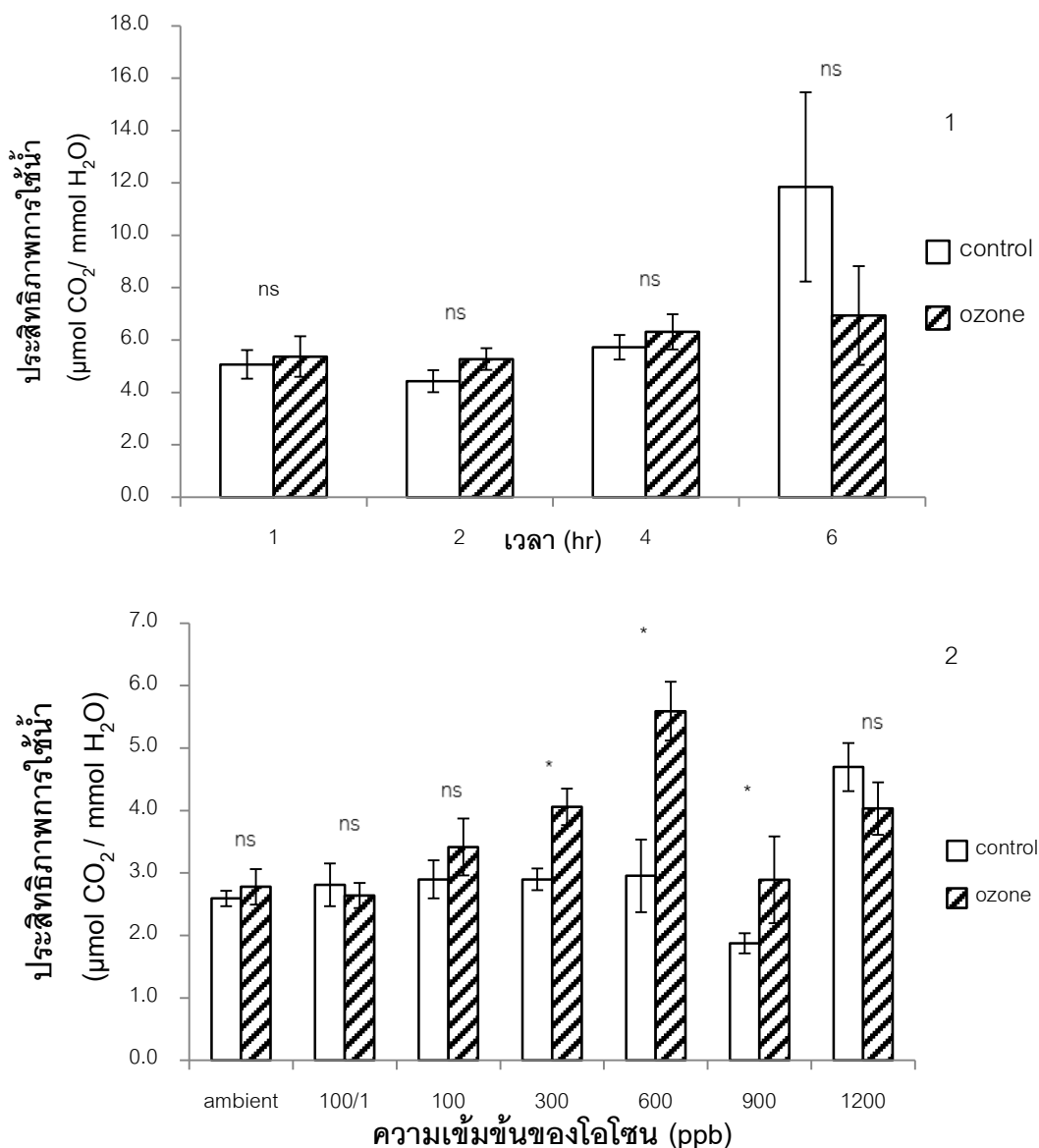
#### 4.3.4 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency, WUE)

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency, WUE) คือ ค่าที่แสดงว่าในการตรึง  $\text{CO}_2$  1 mol พืชจะสูญเสียน้ำเนื่องจากการคายน้ำปริมาณเท่าไร จากการทดลองพบว่าค่า WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง 3.6 – 21.1  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 4.0 – 8.5  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  โดยค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 5.1 และ 5.4  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  ไม่ต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.76$ ) ค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4.4 และ 5.3  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  ไม่ต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.20$ ) ค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 5.7 และ 6.3  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  ไม่ต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.50$ ) และค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 11.9 และ 6.4  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  ไม่ต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.27$ ) (รูปที่ 23-1)

สำหรับค่า WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง 1.7 – 5.8  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100(1h) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 1.2 – 5.8  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  โดยค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติทั้ง 2 chamber มีค่าเท่ากับ 3.8 และ 3.0  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.57$ ) ค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 2.8 และ 2.6  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.68$ ) ค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 2.9 และ 3.4 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.38$ ) ค่าเฉลี่ยของ WUE ใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 300 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 3.0 และ 4.1  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.03$ ) ค่าเฉลี่ยของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 600 ppb มีค่าเท่ากับ 3.0 และ 5.6  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P = 0.01$ ) ค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 900 ppb มีค่าเท่ากับ 1.9 และ 2.9  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol}$



H<sub>2</sub>O แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.00$ ) และค่าเฉลี่ยของ WUE ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซน 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4.7 และ 4.0  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$  ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P = 0.29$ ) (รูปที่ 23-2)



**ภาพที่ 23** ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency, WUE) ของใบยางพารา (1) ที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (2) ใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 100(1hr) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

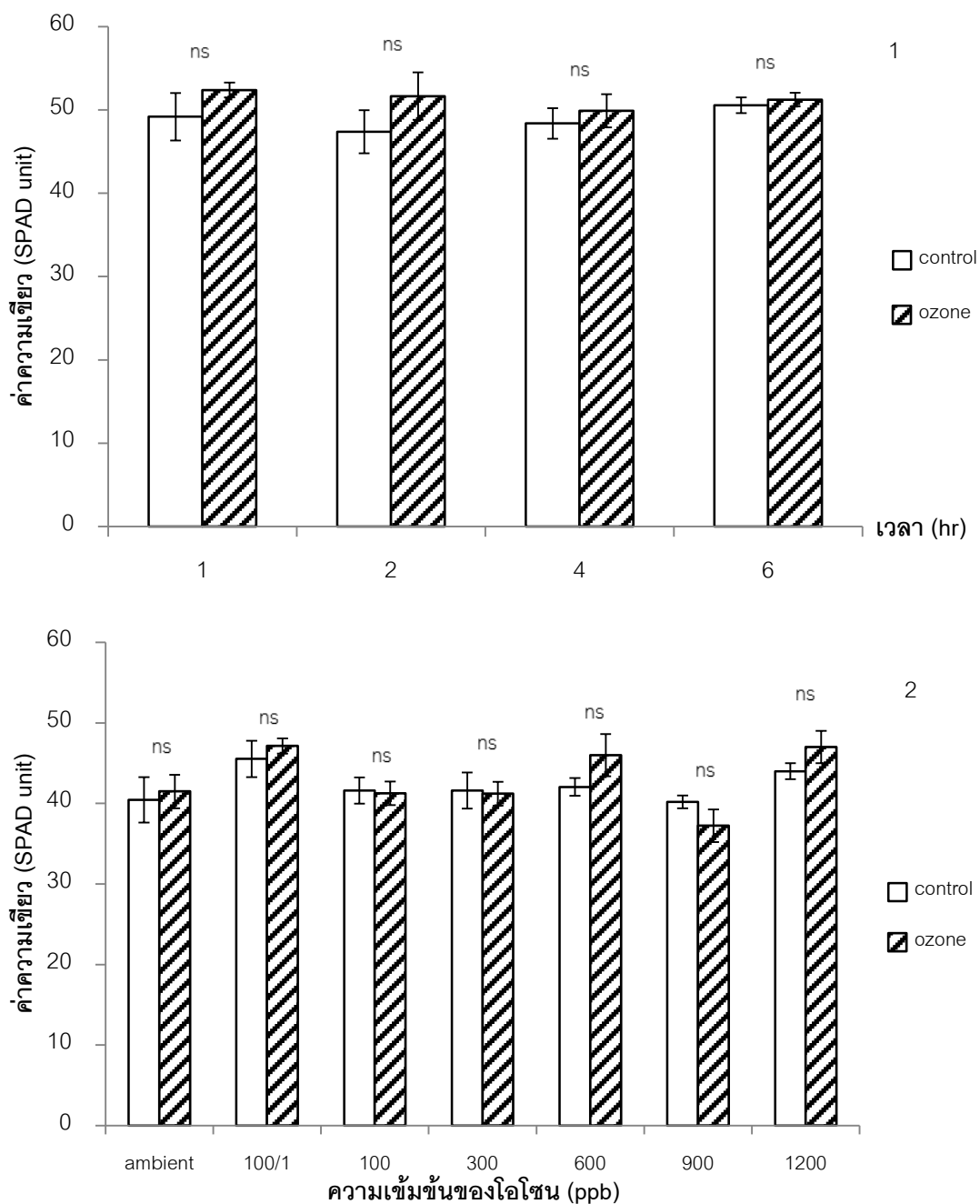
ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

\* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

#### 4.3.5 ค่าความเขียวของใบ

ค่าความเขียวของใบยางพาราภายหลังที่ได้รับอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง 37.3 - 51.2 SPAD unit และค่าความเขียวของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 33 - 51.8 SPAD unit โดยค่าเฉลี่ยของค่าความเขียวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 49 47 48 และ 51 SPAD unit ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของค่าความเขียวภายหลังได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 52 52 50 และ 51 SPAD unit ตามลำดับ เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเขียวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติเปรียบเทียบกับที่เติมแก๊สโอโซน ในทุกเวลาพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 24-1)

สำหรับค่าความเขียวของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 100(1h) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 35 - 51.2 และ 33 - 52 SPAD unit โดยค่าเฉลี่ยค่าความเขียวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติมีค่าเท่ากับ 41 46 42 44 42 40 และ 44 ตามลำดับ และเฉลี่ยความเขียวของใบยางพาราภายหลังได้รับอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้นเท่ากัน ambient 100 (1h) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 42 48 42 42 46 38 และ 37 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความเขียวของใบในทุกความเข้มข้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 24-2)



**ภาพที่ 24** ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบยางพารา (1) ภายหลังจากที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง และ (2) ภายหลังจากที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น ambient 100(1h) 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง













ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

\* แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์













#### 4.3.6 ลักษณะของใบภายหลังได้รับไอโซน

ลักษณะของหลังใบและท้องใบของยางพาราทั้งก่อนและภายหลังที่ได้รับอากาศปกติ กับอากาศที่เติมแก๊สไอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง หลังออกจาก chamber ทันทันที และหลังจากผ่านการรมเป็นเวลา 3 วัน พบว่าลักษณะของใบยางพาราไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของหลังใบและท้องใบก่อนการทดลอง(ภาพที่ 25-28)










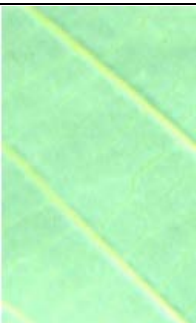


สำหรับลักษณะของหลังใบและท้องใบของยางพาราก่อนและภายหลังทำการรมอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนที่ความเข้มข้น ambient 100(1h) 100 300 และ 600 ppb และภายหลังจากผ่านการรมเป็นเวลา 3 วัน พบว่าลักษณะของหลังใบและท้องใบไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะใบก่อนเข้ารม แต่สำหรับลักษณะของหลังใบและท้องใบยางพาราภายหลังการรมและหลังจากผ่านการรมเป็นเวลา 3 วัน ที่ได้รับแก๊สไอโซนเข้มข้น 900 ppb และ 1200 ppb กลับพบว่าลักษณะของผิวใบภายหลังจากรมเสร็จหลังใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และภายหลังจากรม 3 วัน พบใบเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม โดยพบที่หลังใบมากกว่าท้องใบ (ภาพที่ 29-35)

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 200 ppb / 1 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 200 ppb / 1 ชม.			

ภาพที่ 25 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง













ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 200 ppb / 2 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 200 ppb / 2 ชม.			

ภาพที่ 26 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง













ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 200 ppb / 4 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 200 ppb / 4 ชม.			

ภาพที่ 27 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง















ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 200 ppb / 2 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 200 ppb / 2 ชม.			













ภาพที่ 28 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ Control chamber			
อากาศปกติ Treatment chamber			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ Control chamber			
อากาศปกติ Treatment chamber			













ภาพที่ 29 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ เปรียบเทียบกันระหว่าง chamber ที่ใช้สำหรับเป็นชุดควบคุม และชุดทรีตเมนต์ เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 100 ppb / 1 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 100 ppb / 2 ชม.			













ภาพที่ 30 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 100 ppb / 2 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 100 ppb / 2 ชม.			













ภาพที่ 31 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 300 ppb / 2 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 300 ppb / 2 ชม.			













ภาพที่ 32 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 300 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 600 ppb / 2 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 600 ppb / 2 ชม.			

ภาพที่ 33 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 600 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 900 ppb / 2 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส โอโซนเข้มข้น 900 ppb / 2 ชม.			

ภาพที่ 34 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 900 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

ด้านหลังใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 1200 ppb / 2 ชม.			
ด้านท้องใบ	ก่อน	หลัง	หลัง (3 วัน)
อากาศปกติ			
อากาศที่เติมแก๊ส ไอโซนเข้มข้น 1200 ppb / 2 ชม.			

ภาพที่ 35 ลักษณะของใบยางพาราทั้งก่อนและหลังได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สไอโซนเข้มข้น 1200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง



## บทที่ 5

### อภิปรายผลการศึกษา

#### 5.1 การออกแบบ chamber และระบบสำหรับบรมโอโซน

ความสูงของ chamber ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ศึกษาผลกระทบของมลพิษทางอากาศกับพืช จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายใน chamber สูง 2 และ 2.5 เมตร มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศประมาณ 4-5 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิภายใน chamber มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากแสงที่ส่องมายังพื้นโลกจะมีความยาวคลื่นหลายชนิดแตกต่างกันไป แต่เมื่อแสงเหล่านั้นเดินทางมายังพื้นโลกแล้วพลังงานแสงที่จะกลับออกไปสู่บรรยากาศจะกลับออกไปสู่บรรยากาศในรูปของรังสีอินฟราเรด ซึ่งรังสีเหล่านี้จะถูกดูดกลืนไว้จากพลาสติกที่ใช้ทำ chamber ทำให้อุณหภูมิภายใน chamber สูงกว่าภายนอก ถ้าอุณหภูมิภายใน chamber สูงกว่าบรรยากาศมากเกินไปจะทำให้พืชได้รับความเครียดจากอุณหภูมิ ทำให้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าค่าการสังเคราะห์แสงที่ลดลง เป็นผลมาจากอุณหภูมิหรือแก๊สโอโซน เนื่องจากอุณหภูมิเองก็มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งเอนไซม์ Ribulose biphosphate carboxylase oxygenase (Rubisco) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่าง ribulose1,5-biphosphate (RuBP) กับ  $\text{CO}_2$  และ RUBP กับ  $\text{O}_2$  เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น พบว่า ปฏิกิริยาของ RuBP กับ  $\text{O}_2$  จะเกิดได้ดีกว่า RuBP กับ  $\text{CO}_2$  ทำให้เกิดการสลายคาร์โบไฮเดรตมากกว่าการสังเคราะห์ด้วยแสง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า photorespiration จะเกิดมากในพืช  $\text{C}_3$  โดยทั่วไปเอนไซม์ Rubisco นี้ทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ 5-40 องศาเซลเซียส โดยพืชแต่ละชนิดจะมีค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างกันไป (Taiz and Zeiger, 2006; Lambers *et al.*, 2008) มีรายงานเกี่ยวกับผลของของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา อยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลง (Kositsup *et al.*, 2009) สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายใน chamber สูง 2 และ 2.5 เมตร และในบรรยากาศ มีค่าแตกต่างกันประมาณ 2-3 %

เนื่องจากค่าของอุณหภูมิใน chamber สูง 2 และ 2.5 เมตร แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้ chamber ที่สูง 2 เมตรในการทดลองต่อไป เพราะ chamber ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การควบคุมความเข้มข้นของแก๊สโอโซนจะทำให้ยากขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิภายใน chamber ลดต่ำลง จึงออกแบบ chamber ใหม่ โดยทำการเปิดช่องด้านบนขนาด 0.6x1.6 ตารางเมตร และ 0.2x0.2 ตารางเมตร และนำอากาศก่อนเข้าสู่ chamber มาผ่านระบบ cooling pad box ซึ่งเป็นอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านน้ำทำให้อุณหภูมิลดลง แต่ความชื้นภายใน chamber ก็สูงขึ้นด้วย โดย Dunning และ Heck ปี 1997 รายงานว่าความชื้นกับโอโซนทำให้เกิดความเสียหายใน

ถั่วพินโต และ มะเขือเทศ แต่รุนแรงน้อยกว่าผลของโอโซนร่วมกับอนุภาคสูง ๆ โดยลักษณะของอากาศภายหลังออกจาก cooling pad box พบว่าปริมาณโอโซนในอากาศต่ำกว่าปริมาณโอโซนในบรรยากาศ จากตารางที่ 4 และ 5 เพราะโอโซนสามารถสลายตัวได้เร็วในน้ำมีค่าครึ่งชีวิตเพียง 20-30 นาที แม้ว่าอากาศที่ผ่าน cooling pad box จะลดอนุภาคภายใน chamber แล้วยังทำให้ความเข้มข้นของโอโซนลดลง ให้ผลเหมือนกันการกรองอากาศด้วยคาร์บอน (Calatayud *et al.*, 2003)

สำหรับความเข้มข้นของแก๊สโอโซนทำการตรวจวัดโดยใช้ UV Photometric O<sub>3</sub> Analyzer รุ่น Thermo Model 49i ในขณะที่เครื่องทำงานจะเกิดความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของเครื่องสูงขึ้น ทำให้ความยาวของสายสู่มอากาศยาว 3 เมตร ไม่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาจริงจำเป็นต้องเพิ่มความยาวสายสู่มอากาศที่ใช้สำหรับวัดความเข้มข้นโอโซนในบริเวณที่ใช้ศึกษา จากการทดลอง พบว่าความยาวสายที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของโอโซนลดลง เพราะโอโซนสามารถสลายตัวได้ไวในบรรยากาศ เมื่อได้ลักษณะของ chamber และระบบการรมอากาศที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการตรวจสอบถึงความสม่ำเสมอในบริเวณต่างๆของแก๊สโอโซนระดับความเข้มข้นสูง ใน chamber ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่งใน chamber มีความเข้มข้นต่างกันไม่เกิน 20 ppb แสดงว่าสามารถนำระบบที่สร้างขึ้นไปใช้ในการศึกษาผลของมลพิษทางอากาศอื่นๆต่อไปได้

ถึงแม้ว่า chamber และระบบสำหรับให้โอโซน ที่ออกแบบขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ แต่ในวันที่อากาศมีอุณหภูมิและความชื้นแสงสูง พบว่าอุณหภูมิภายใน chamber กับอากาศภายนอกมีความแตกต่างกันมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าของอุณหภูมิภายใน chamber ที่ให้อากาศปกติ และที่ให้แก๊สโอโซน พบว่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาผลของโอโซนของยางพาราสามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้ เพราะสภาวะแวดล้อมภายใน chamber ทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกัน มีเพียงความเข้มข้นของโอโซนที่เป็นปัจจัยที่ใช้ศึกษาเท่านั้นที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นความแตกต่างของค่าวัดที่ได้จาก chamber ทั้งสอง น่าจะเป็นผลจากแก๊สโอโซน

## 5.2 ผลของโอโซนต่อ light response curve

ลักษณะการตอบสนองต่อแสงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับยางพาราที่ได้รับอากาศปกติในช่วงความเข้มแสงต่ำ ๆ พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิในช่วงที่นี้จะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากพืชมีกระบวนการหายใจเกิดขึ้นตลอดเวลาทำให้มีการปล่อยแก๊ส  $\text{CO}_2$  ในขณะที่ความเข้มแสงที่พืชใช้ในการตรึง  $\text{CO}_2$  ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงพบว่า  $\text{CO}_2$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่สามารถชดเชย  $\text{CO}_2$  ที่เกิดขึ้นจากการหายใจ ทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์สุทธิในช่วงนี้มีค่าต่ำกว่าศูนย์ โดยการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อความเข้มแสงนี้ จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มแสงที่พืชได้รับเพิ่มขึ้น โดยการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อความเข้มแสงในช่วง  $0-100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  พบว่ามีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง สามารถประเมินค่าความชันเริ่มต้นของกราฟ (initial slope,  $\alpha$ ) หรือ quantum yield โดยค่าตัวแปรนี้แสดงถึงประสิทธิภาพการนำแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช จากการทดลองพบว่าค่าความชันเริ่มต้นของเส้นกราฟของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับ ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 2 4 และ 6 ชั่วโมง (วิชิตดา วงษ์ประเสริฐ, 2551)

โดยที่ความเข้มแสงมีค่าเท่ากับศูนย์ พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าเป็นลบมากที่สุด เพราะในสภาวะที่ไม่มีแสงพืชจะไม่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้น ดังนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่วัดได้ในขณะที่ไม่มีแสง จะมีเพียงแต่กระบวนการหายใจเกิดขึ้นเท่านั้น จากผลการทดลองพบว่ายางพาราที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีอัตราการหายใจลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้รับอากาศปกติ เช่นเดียวกับถั่วลิสงที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้ค่า  $R_d$  ลดลง

จากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าเป็นลบในช่วงแสงน้อย และมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่ได้รับ เมื่อพิจารณาจากกราฟ light response curve จะพบจุดตัดบนแกน x ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์พอดี เรียกค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า light compensation point (LCP) จากผลการทดลองพบว่าค่า LCP ของยางพาราที่ได้รับโอโซน 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่ายางพาราที่ได้รับอากาศปกติ สอดคล้องกับ ถั่วเหลืองและถั่วลิสงที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้รับอากาศปกติ

สำหรับการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อความเข้มแสง ในช่วงที่ความเข้มแสงสูงมาก ๆ พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีค่าที่ แม้ความเข้มของแสงจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากในสภาวะที่ความเข้มแสงสูงมาก ๆ จะมีปัจจัยอื่นเป็นปัจจัยกำหนดความเข้มแสง เช่น ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการสร้าง RuBP เป็นต้น โดยก่อนที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเข้าสู่ค่าคงที่ สามารถประเมินค่าควบคุมความโค้งงอของเส้นกราฟ (convexity parameter,  $\theta$ ) ซึ่งมีรายงานว่าค่า  $\theta$  คือค่าความต้านทานฟิสิกส์ต่อความต้านทานทั้งหมดของใบ (Slack, 1974) จากการทดลองพบว่าไอโซนที่ความเข้มชั้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อค่าความต้านทานฟิสิกส์ต่อความต้านทานทั้งหมดของใบยางพารา

ในสภาวะที่มีความเข้มแสงมากจนกระทั่งทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าคงที่ ทำให้สามารถคำนวณอัตราสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ( $P_{max}$ ) จากผลการทดลองพบว่ายางพาราที่ได้รับไอโซนที่ความเข้มชั้น 200 ppb เป็นเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดของยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ เช่นเดียวกับถั่วเขียวที่ได้รับไอโซนเข้มชั้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าไอโซนก็ไม่มีผลต่ออัตราของถั่วเขียว

ค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าคงที่ เรียกว่าค่าความเข้มแสงนี้ว่า light saturation point (LSP) สามารถประเมินได้จากค่าความเข้มแสงที่ทำให้ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด โดยค่า  $P_{max}$  และ ค่า LSP มีค่าลดลงเมื่ออายุของใบเพิ่มขึ้น หรือเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียด เช่น ขาดน้ำ อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป หรือได้รับมลพิษ จากผลการทดลองพบว่าไอโซนที่ความเข้มชั้น 200 ppb ไม่มีผลต่อค่า LSP ของยางพารา ในขณะที่มะเขือเทศที่ได้รับไอโซนเข้มชั้น 300 ppb เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมงพบว่า ค่า  $P_{max}$  และ LSP ลดลง 82 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (อรอุมา ด้วงงาม, 2548)

### 5.3 ผลของแก๊สไอโซนต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านใบและค่าความเขียวของใบ

สำหรับวิธีวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีเทคนิคในการวัดได้หลายวิธี เช่น การใช้กัมมันตรังสีตรวจปริมาณ  $^{14}\text{CO}_2$  ที่หายไปในอากาศ หรือทำการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สซึ่งเกี่ยวข้องกับแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุดคือการตรวจความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ที่เปลี่ยนไป (พูนพิภพ, 2549) ซึ่งการแลกเปลี่ยนแก๊สส่วนใหญ่จะเกิดที่ปากใบ จากการทดลองพบว่าค่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{\text{sat}}$ ) การนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) อัตราการคายน้ำ ( $T$ ) และ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ ( $\text{WUE}$ ) ของยางพาราที่ได้รับไอโซนที่ความเข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ ยกเว้นอัตราการคายน้ำของยางพาราที่ได้รับไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีค่าลดลง ในขณะที่ค่า  $A_{\text{sat}}$   $g_s$  และ  $T$  ของใบยางพาราที่ได้รับไอโซนเข้มข้น 300-1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าลดลง แต่ค่า  $\text{WUE}$  กลับมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากค่า  $\text{WUE}$  เป็นสัดส่วนของค่า  $A_{\text{sat}}$  และ  $T$  ถึงแม้ว่าทั้งสองค่าจะมีความสัมพันธ์กับการนำที่ปากใบ แต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความเข้มของแสง ปริมาณของเอนไซม์ แอคทีวิตีของเอนไซม์ เป็นต้น ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่าอัตราการคายน้ำ จากผลการทดลองจะเห็นว่าอัตราการคายน้ำจะลดลงมากกว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้ค่า  $\text{WUE}$  ของพืชที่ได้รับไอโซนมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการลดลงของค่า  $g_s$   $A_{\text{sat}}$   $T$  ของยางพาราที่ได้รับแก๊สไอโซน มีผลสอดคล้องกับการทดลองของ Kleier และคณะ (2001) และ Guidi และคณะ (2002) ที่พบว่าไอโซนที่ความเข้มข้น 70-80 ppb มีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เพราะเมื่อไอโซนเข้าสู่ต้นพืชจะทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับองค์ประกอบของผนังเซลล์ทำให้เกิดสาร Reactive oxygen species (ROS) ทำให้พืชเผชิญกับสภาวะ oxidative stress (Hippeli et al., 1996) อย่างไรก็ตามพืชจะมีการปรับตัวเพื่อลดปริมาณก๊าซไอโซนที่เข้าสู่ใบ พบว่าไอโซนมีผลทำให้ค่าการนำที่ปากใบของยางพาราลดลงเช่นเดียวกับใบของ *Phaseolus vulgaris* (Guidi et al., 2000) เนื่องจากการสังเคราะห์แสงสุทธิและการคายน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการนำที่ปากใบ ดังนั้นก๊าซไอโซนมีผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและอัตราการคายน้ำลดลง โดยที่อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและอัตราการคายน้ำที่พบในใบยางพาราสอดคล้องกับที่พบในต้น *Spinacia oleracea* (Catalayud et al. 2003) และ *Brassica campestris* (Singh et al., 2009) สำหรับลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นบนใบยางพารารายหลังที่ได้รับก๊าซไอโซนความเข้มข้นสูง ๆ น่าจะเกิดจากก๊าซไอโซนเนื่องจากลักษณะที่เกิดขึ้นคล้ายกับที่เกิดขึ้นบนใบของ *Psidium guajava* (Rezende and Furlan, 2009) ผลของไอโซนทำให้เกิดความเสียหายต่อใบของพืชได้ โดยความเสียหายจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้า หรือมีความรุนแรงมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณการตายของเซลล์

(Skelly, 2000) ซึ่งเป็นทราบอยู่แล้วว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงนี้มีความเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่สำหรับผลของโอโซนต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราในสายพันธุ์อื่นต้องทำการศึกษาต่อไป เพราะปัจจัยที่ทำให้พืชอ่อนแอหรือทนทานต่อโอโซน มีความเกี่ยวข้องกับสารพันธุกรรม เช่นเดียวผลของโอโซนต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้น snab bean (*Phaseolus vulgaris* L.) ของสายพันธุ์ R123 R331 และ S156 ที่ได้รับโอโซนที่ความเข้มข้น 60 ppb (Flowers *et al.*, 2007) และในต้นยาสูบ *Nicotiana tabacum* สายพันธุ์ Bel.B และ Bel.W3 ที่ได้รับโอโซนที่ความเข้มข้น 300 ppb (Pasqualini *et al.*, 2002) โดยพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของ snab bean พันธุ์ของ S156 และต้นยาสูบพันธุ์ Bel.W3 มีค่าลดลง สำหรับวิธีการปรับตัวนอกจากลดค่าการนำที่ปากใบแล้วภายในเซลล์ของพืชเองก็มีระบบเอนไซม์ที่ช่วยกำจัด ROS ที่เกิดขึ้นในเซลล์ เช่น superoxide dismutase (SOD) catalase และ peroxidase (APX) เป็นต้น (Lyons *et al.*, 1999)

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษา

#### 6.1 การออกแบบ chamber และระบบสำหรับให้โอโซน

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติภายใน chamber ที่สูง 2 และ 2.5 เมตร มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ความสูงที่ 2.5 เมตร ทำให้ปริมาตรภายใน chamber เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การควบคุมโอโซนให้มีความเข้มข้นสูง ๆ ภายใน chamber ทำได้ยากกว่า chamber ที่สูง 2 เมตร ดังนั้นความสูงที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง chamber คือ 2 เมตร ขณะที่รูปแบบของ chamber ที่เลือกใช้ในการทดลองต่อไป คือ chamber ที่เปิดช่องขนาด 0.2x0.2 ตารางเมตร เพราะมีค่าคุณสมบัติภายใน chamber มีค่าใกล้เคียงกับบรรยากาศ เช่นเดียวกับ chamber ที่เปิดช่องขนาด 0.6x1.6 ตารางเมตร เนื่องจาก chamber ที่เปิดช่องขนาด 0.2x0.2 ตารางเมตร สามารถควบคุมแก๊สโอโซนให้มีความเข้มข้นสูง ๆ ได้ ดังนั้น chamber ที่เปิดช่องขนาด 0.2x0.2 ตารางเมตร จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้รวมแก๊สโอโซนให้กับยางพารา โดยความยาวของสายสู่อากาศที่ใช้สำหรับการสู่วัดความเข้มข้นของโอโซนในบรรยากาศ ภายใน chamber ที่ให้อากาศปกติและที่เติมแก๊สโอโซน คือ 10 เมตร เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวสายสู่อากาศยาว 3 เมตร ซึ่งเป็นความยาวมาตรฐานของเครื่อง O<sub>3</sub> Analyzer ในที่ความเข้มข้นของโอโซนที่วัดจากสายสู่อากาศยาว 14 และ 27 เมตร อ่านค่าได้น้อยกว่าสายสู่อากาศยาว 3 เมตร ดังนั้นความยาวสายสู่อากาศที่ 10 เมตร มีความเหมาะสมมากกว่าสายสู่อากาศยาว 14 และ 27 เมตร และเมื่อเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของโอโซนภายใน chamber ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ที่ระดับความสูง 0.5 1.0 และ 1.5 เมตร โดยในแต่ละตำแหน่งอ่านค่าความเข้มข้นของโอโซนได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้น chamber ที่สร้างขึ้นมานี้มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาค้นคว้าผลกระทบของโอโซนต่อยางพารา

#### 6.2 ผลของโอโซนต่อ light response curve

จากลักษณะ light response curve ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และอากาศที่เติมแก๊สโอโซน พบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ ( $P_n$ ) ของใบที่ได้รับโอโซนมีค่าน้อยกว่าใบที่ได้รับอากาศปกติ โดยค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ light response curve ถูกประเมินด้วยสมการ non-rectangular hyperbola model คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ ( $\alpha$ ) ค่าควบคุมความโค้ง ( $\theta$ ) อัตราการหายใจในที่มืด ( $R_d$ ) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ( $P_{max}$ ) light compensation point (LCP) และ light saturation point (LSP) พบว่ายางพาราที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่า LCP และ  $R_d$  ของ

ยางพาราลดลง แต่ขณะที่ตัวแปรอื่น ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับ ผลของโอโซนที่เข้มข้น 200 ppb เป็นระยะเวลา 4 และ 6 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อค่าตัวแปรเหล่านี้

### 6.3 ผลของแก๊สโอโซนต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านใบและค่าความเขียวของใบ

ยางพาราที่ได้รับโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง ไม่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ ) การนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของยางพารา แต่อัตราการคายน้ำ (T) ของยางพาราภายหลังได้รับโอโซนที่มีค่าลดลง สำหรับโอโซนที่ความเข้มข้นสูงในระดับ 300-1200 ppb มีผลทำให้ค่า  $A_{sat}$   $g_s$  และ T ของใบยางพารามีค่าลดลง แต่สำหรับค่า WUE มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ค่าความเขียวของใบภายหลังได้รับโอโซนที่ทุกระดับความเข้มข้น และทุกระยะเวลา ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะของใบภายหลังได้รับโอโซนที่ความเข้มข้นเท่ากับบรรยากาศ - 600 ppb ไม่พบความเสียหายเกิดขึ้นบนใบ แต่สำหรับยางพาราได้รับโอโซนเข้มข้น 900 และ 1200 ppb ส่งผลให้ใบได้รับความเสียหายโดยเกิดแถบสีแดงเข้มบนแผ่นใบด้านบน ซึ่งความเสียหายดังกล่าวสามารถพบเห็นได้ภายหลังจากยางพาราได้รับโอโซนแล้วเป็นเวลา 3 วัน



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง : กรมวิชาการเกษตร. 2553. ข้อมูลวิชาการของยางพารา 2553.

3000 เล่ม, ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์เกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

ควบคุมมลพิษ,กรม. 2546. โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการลดของเสียและการใช้ประโยชน์จากของเสีย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

ควบคุมมลพิษ,กรม. 2555. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2554. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ฮีธ จำกัด.

ชวนพิศ แดงสวัสดิ์ . 2544. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์พัฒนาศึกษา.

วิชุดา วงษ์ประเสริฐ. 2551. อิทธิพลของก๊าซโอโซน ต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบถั่วเขียว ถั่วเหลืองและถั่วลิสง.วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชไร่ภาควิชาพืชไร่ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงรัตน์ ศตคุณ. 2541. อิทธิพลของแสง อายุใบ และตำแหน่งใบต่อการสังเคราะห์แสงของใบฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2549. ชีววิทยา2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

ภูริพงษ์ ดำรงวุฒิ. 2547. อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สและสถานภาพของน้ำในใบของต้นปอสาพันธุ์โคโซ(Kozo) และพันธุ์ศรีสุชนาลัยในแปลงทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอุมา ดั่งวงาม. 2548. อิทธิพลของมลพิษทางอากาศจากเครื่องยนต์ดีเซล และก๊าซโอโซนต่อลักษณะทางสรีรวิทยาในการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบส้มเขียวหวาน มะเขือเทศ และคะน้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

### ภาษาอังกฤษ

- Akhtar, N., Yamaguchi, M., Inada, H., Hoshino, D., Kondo, T. and Izuta, T. 2010. Effects of ozone on growth, yield and leaf gas exchange rates of two Bangladeshi cultivars of wheat (*Triticum aestivum*L.). Environmental Pollution 158: 1763-1767.
- Barnes, J.D., Velissariou, D., Davison, A.W. and Holevas, C.D. 1990. Comparative ozone sensitivity of old and modern Greek cultivars of spring wheat. New Phytologist 116: 707-714.
- Bennett, J.P., Rassat, P., Berrang, P. and Karnosky, D.F. 1992. Relationships between leaf anatomy and ozone sensitivity of *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. And *Prunus serotina* Ehrh. Environmental and Experimental Botany 32: 33-41.
- Calatayud, A., Iglesias, D.J., Talon, M. and Barreno, E. 2003. Effects of 2-month ozone exposure in spinach leaves on photosynthesis, antioxidant systems and lipid peroxidation. Plant Physiology and Biochemistry 40 : 839-845.
- Delgado-Saborit and J.M., Esteve-Cano, V.J. 2008. Assessment of tropospheric ozone effects on citrus crops using passive samplers in a western Mediterranean area. Agriculture, Ecosystems and Environment 124: 147–153.
- Derwent, R., Collins, W., Johnson, C., and Stervenson, D. 2002. Viewpoint: global ozone concentration and regional air quality. Environmental Science and Technology 36: 379A-382A.
- Dunning, J.A. and Heck, w.w. 1977. Response of bean and tobacco to ozone: Effect of light intensity, temperature and relative humidity. Air Pollution Control Association 27: 882-886.
- Evan, J.R. and Farquhar, G.D. 1991. Modeling canopy photosynthesis from the biochemistry of the C<sub>3</sub> chloroplast, pp. 1-5. In K.J. Boote and R.S. Loomis (eds.). Modeling Crop Photosynthesis from Biochemistry to Canopy. CSSA Special Publication No. 19. Wisconsin, U.S.A.
- Farooq, M., Akbar, M. and Beg, M.U. 1988. Effect of acute exposure of sulphur dioxide on the metabolism of *Holoptelea integrifolia* plants. Environmental Pollution Series A Ecological and Biological 39 (3): 597-598.

- Flowers, M.D., Fiscus, E.L., Burkey, K.O., Booker, F.L. and Bubojs, J.B. 2007. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and yield of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes differing in sensitivity to ozone. Environmental and Experimental Botany 61: 190–198.
- Gerosa, G., Marzuoli, R., Rossini, M., Panigada, C., Meroni, M., Colombo, R., Faoro, F. and Iriti, M. 2009. A flux-based assessment of the effects of ozone on foliar injury, photosynthesis, and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Borlotto Nano Linguadi Fuoco) in open-top chambers. Environmental Pollution 157: 1727–1736.
- Guidi, L., Tonini, M. and Soldatini, G.F. 2000. Effects of high light and ozone fumigation on photosynthesis in *Phaseolus vulgaris*. Plant Physiology and Biochemistry 38: 717–725.
- Hippeli, S. and Elstner, E. 1996. Mechanisms of oxygen activation during plant stress: biochemical effects of air pollutants, Journal of Plant Physiology 148 : 249–257.
- Keutgen, N., Mierowska, A.J., Chen, K., Janssens, M.J.J. and Lenz, F. 1997. Gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of sweet potato leaves to ozone. Journal of the American Society for Horticultural Science 7: 48:50.
- Kositsup, B., Montpie, P., Kasemsap, P., Thaler, P., Amegilio, T. and Dreyer, E. 2009. Photosynthetic capacity and temperature responses of photosynthesis of rubber trees (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) acclimate to changes in ambient temperatures. Trees 23: 357-365.
- Krupa, S., McGrath, M.T., Anderson, A.H., Chevone, B.L., Pell, E.I. and Zilinskas, B.A. 2001. Ambient ozone and plant health. Plant Disease 85: 4-12.
- Lambers, H., Chapin, F. S. and Pons, T. L. 2008. Plant Physiological Ecology. Second edition. Springer Science, Business Media, LLC.
- Lyons, T., Ollerenshaw, J.H. and Barnes, J.D. 1999. Impacts of ozone on Plan-tago majorapoplastic and symplastic antioxidant status. New Phytologist 141: 253–263.

- Neufeld, H.S., Peoples, S.J., Davison, A.W., Chappelka, A.H., Somers, G.L., Thomley, J.E. and Booker, F.L. 2012. Ambient ozone effects on gas exchange and total non-structural carbohydrate levels in cutleaf coneflower (*Rudbeckia laciniata*L.) growing in Great Smoky Mountains National Park. Environmental Pollution 160: 74-81.
- Noormets, A., Kull, O., Sober, A., Kubiske, M.E. and Karnosky, D.F. 2010. Elevated CO<sub>2</sub> response of photosynthesis depends on ozone concentration in aspen. Environmental Pollution 158: 992–999.
- Pasqualini, S., Antonielli, M., Ederli, L., Piccioni, C. and Loreto, F. 2002, Ozone Uptake and Its effect on photosynthetic parameters of two tobacco cultivars with contrasting ozone sensitivity, Plant Physiology and Biochemistry 40: 599 - 603.
- Rezende, F.M. and Furlan, C.M. 2009. Anthocyanins and tannins in ozone-fumigated guava trees. Chemosphere 76: 1445–1450.
- Singh, P., Agrawal , M. and Agrawal, S.B. 2009. Evaluation of physiological, growth and yield responses of a tropical oil crop (*Brassica campestris* L. var. Kranti) under ambient ozone pollution at varying NPK levels. Environmental Pollution 157: 871–880.
- Skelly, J.M. 2000. Tropospheric ozone and its importance to forests and natural plant communities of the northeastern United States. Northeastern Naturalist 7:221-236.
- Slack, E.M. 1974. Studies of stomatal distribution on the leaves of four apple variety. Journal of Horticultural Science 49: 95-105.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant physiology. fourth edition. Sunderland, Mass: Sinauer Associates.
- Thornley, J.H.M. and Johnson, I.R. 1990. Plant and Crop Modeling. Oxford University Press, New York.
- Wittmann, C., Matyssek, R., Pfanz, H. and Humar, M. 2007. Effects of ozone impact on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of juvenile birch stems (*Betula pendula* Roth.). Environmental Pollution 150: 258-266.

Zouzoulas, D., Koutroubas, S.D., Vassiliou, G.V. and Vardavakis, E. 2009. Effects of fumigation on cotton(*Gossypium hirsutum* L.) morphology, anatomy, physiology, yield and qualitative characteristics. Environmental and Experimental Botany 67: 293-303.

ภาคผนวก

**ตารางที่ 6** ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความชันเริ่มต้นของเส้นกราฟ (initial slope,  $\alpha$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

ค่าความชันเริ่มต้นของกราฟ ( $\alpha$ )	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	0.044	6	0.22	0.83
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	0.042			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.049	6	-0.30	0.77
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	0.051			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	0.042	6	0.69	0.52
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	0.040			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	0.046	6	0.89	0.41
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	0.044			

ตารางที่ 7 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ (convexity parameter,  $\theta$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

ค่าควบคุมความโค้งของ เส้นกราฟ ( $\theta$ )	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	0.69	6	0.33	0.75
ได้รับไอโซน 200 ppb 1 ชม.	0.66			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.62	6	-0.87	0.42
ได้รับไอโซน 200 ppb 2 ชม.	0.68			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	0.74	6	0.52	0.62
ได้รับไอโซน 200 ppb 4 ชม.	0.71			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	0.72	6	0.46	0.66
ได้รับไอโซน 200 ppb 6 ชม.	0.68			



**ตารางที่ 8** ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด (maximum photosynthesis,  $P_{max}$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง สูงสุด ( $P_{max}$ )	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	12.0	6	-0.25	0.81
ได้รับไอโซน 200 ppb 1 ชม.	12.7			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	15.1	6	0.10	0.92
ได้รับไอโซน 200 ppb 2 ชม.	14.9			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	12.4	6	-1.66	0.87
ได้รับไอโซน 200 ppb 4 ชม.	12.8			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	13.4	6	0.14	0.90
ได้รับไอโซน 200 ppb 6 ชม.	13.1			

ตารางที่ 9 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการหายใจในที่มืด (dark respiration,  $R_d$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมไอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

อัตราการหายใจในที่มืด ( $R_d$ )	ค่าเฉลี่ย	Df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	0.50	6	-1.02	0.35
ได้รับไอโซน 200 ppb 1 ชม.	0.71			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.57	6	2.83	0.04
ได้รับไอโซน 200 ppb 2 ชม.	0.22			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	0.45	6	-4.51	0.67
ได้รับไอโซน 200 ppb 4 ชม.	0.53			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	0.66	6	-4.08	0.70
ได้รับไอโซน 200 ppb 6 ชม.	0.69			

ตารางที่ 10 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของ light compensation point (LCP) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

Light compensation point (LCP)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	11.4	6	-1.26	0.25
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	17.0			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	12.0	6	2.68	0.04
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	4.3			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	10.9	6	-0.60	0.57
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	13.2			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	14.6	6	-0.70	0.51
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	16.0			

ตารางที่ 11 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของ light saturation point (LSP) ของใบยางพารา ที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง

Light saturation point (LSP)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	680	6	-0.73	0.50
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	796			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	815	6	0.74	0.49
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	725			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	673	6	-0.52	0.62
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	752			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	699	6	-0.23	0.83
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	743			

ตารางที่ 12 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ )	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	9.7	6	0.24	0.89
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	9.6			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	13.6	6	1.80	0.12
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	11.4			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	6.5	6	-0.17	0.87
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	6.8			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	7.6	6	-0.56	0.96
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	7.7			

**ตารางที่ 13** ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ ) ของใบยางพารา ที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสงอิ่มตัว ( $A_{sat}$ )	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	9.9	6	2.05	0.21
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	7.9			
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	7.1	6	0.21	0.98
ได้รับโอโซน 100 ppb 1 ชม.	7.0			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	11.6	6	2.26	0.06
ได้รับโอโซน 100 ppb 2 ชม.	7.8			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	11.9	6	2.51	0.05
ได้รับโอโซน 300 ppb 2 ชม.	8.4			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	9.99	6	15.0	0.00
ได้รับโอโซน 600 ppb 2 ชม.	2.958			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	9.8	6	3.03	0.02
ได้รับโอโซน 900 ppb 2 ชม.	5.1			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	7.4	6	5.27	0.00
ได้รับโอโซน 1200 ppb 2 ชม.	2.5			

ตารางที่ 14 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) ของใบยางพารา ที่ได้รับ  
 อากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดย  
 วัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

ค่าการนำที่ปากใบ ( $g_s$ )	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	0.17	6	-0.21	0.89
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	0.18			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.21	6	0.59	0.12
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	0.19			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	0.07	6	0.20	0.85
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	0.05			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	0.05	6	0.00	1.00
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	0.05			

ตารางที่ 15 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการนำที่ปากใบ ( $g_s$ ) ของใบยางพาราที่ได้รับ  
 อากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความ  
 เข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่  
 ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

ค่าการนำที่ปากใบ ( $g_s$ )	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.12	6	1.86	0.11
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.09			
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	0.19	6	0.32	0.76
ได้รับโอโซน 100 ppb 1 ชม.	0.18			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.37	6	1.82	0.12
ได้รับโอโซน 100 ppb 2 ชม.	0.22			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.18	6	2.44	0.05
ได้รับโอโซน 300 ppb 2 ชม.	0.01			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.34	6	4.37	0.05
ได้รับโอโซน 600 ppb 2 ชม.	0.03			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.42	6	15.47	0.00
ได้รับโอโซน 900 ppb 2 ชม.	0.10			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	0.07	6	5.27	0.00
ได้รับโอโซน 1200 ppb 2 ชม.	0.03			



ตารางที่ 16 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการคายน้ำ (T) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

อัตราการคายน้ำ (T)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	1.97	6	0.20	0.85
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	1.90			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	3.13	6	2.62	0.04
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	2.20			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	1.20	6	0.14	0.89
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	1.14			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	0.90	6	-0.62	0.56
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	1.24			

ตารางที่ 17 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการคายน้ำ (T) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้นอากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

อัตราการคายน้ำ (T)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	3.83	6	2.00	0.09
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	2.96			
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	2.60	6	-0.32	0.76
ได้รับโอโซน 100 ppb 1 ชม.	2.74			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	4.11	6	2.26	0.65
ได้รับโอโซน 100 ppb 2 ชม.	2.50			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	4.04	6	3.14	0.02
ได้รับโอโซน 300 ppb 2 ชม.	2.16			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	3.71	6	5.29	0.01
ได้รับโอโซน 600 ppb 2 ชม.	0.51			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	5.19	6	10.51	0.00
ได้รับโอโซน 900 ppb 2 ชม.	1.91			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	1.59	6	5.18	0.00
ได้รับโอโซน 1200 ppb 2 ชม.	0.58			

ตารางที่ 18 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	5.06	6	-0.32	0.76
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	5.37			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	4.43	6	-1.43	0.20
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	5.27			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	5.72	6	-0.72	0.50
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	6.31			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	11.85	6	1.32	0.27
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	6.94			

ตารางที่ 19 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	2.59	6	-0.60	0.57
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	2.78			
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	2.81	6	0.44	0.68
ได้รับโอโซน 100 ppb 1 ชม.	2.64			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	2.90	6	-0.92	0.38
ได้รับโอโซน 100 ppb 2 ชม.	3.42			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	2.99	6	-3.15	0.03
ได้รับโอโซน 300 ppb 2 ชม.	4.06			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	2.96	6	5.29	0.01
ได้รับโอโซน 600 ppb 2 ชม.	5.59			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	1.88	6	10.51	0.00
ได้รับโอโซน 900 ppb 2 ชม.	2.81			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	4.70	6	1.16	0.29
ได้รับโอโซน 1200 ppb 2 ชม.	4.03			

ตารางที่ 20 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเขียวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 200 ppb เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

ค่าความเขียวของใบ (SPAD unit)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	49	6	-1.07	0.33
ได้รับโอโซน 200 ppb 1 ชม.	52			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	47	6	-1.17	0.37
ได้รับโอโซน 200 ppb 2 ชม.	52			
ได้รับอากาศปกติ 4 ชม.	48	6	-0.57	0.59
ได้รับโอโซน 200 ppb 4 ชม.	50			
ได้รับอากาศปกติ 6 ชม.	51	6	-0.65	0.54
ได้รับโอโซน 200 ppb 6 ชม.	51			

**ตารางที่ 21** ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเขียวของใบยางพาราที่ได้รับอากาศปกติ และเติมโอโซนเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น อากาศปกติ 100 300 600 900 และ 1200 ppb เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัดที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE)	ค่าเฉลี่ย	df	t-test	P-value
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	40	6	-0.29	0.78
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	41			
ได้รับอากาศปกติ 1 ชม.	46	6	-0.65	0.54
ได้รับโอโซน 100 ppb 1 ชม.	47			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	42	6	0.16	0.88
ได้รับโอโซน 100 ppb 2 ชม.	41			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	44	6	0.92	0.39
ได้รับโอโซน 300 ppb 2 ชม.	41			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	42	6	-1.38	0.22
ได้รับโอโซน 600 ppb 2 ชม.	46			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	40	6	1.36	0.23
ได้รับโอโซน 900 ppb 2 ชม.	37			
ได้รับอากาศปกติ 2 ชม.	44	6	1.40	0.21
ได้รับโอโซน 1200 ppb 2 ชม.	47			

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายครรชิต สอสิริกุล เกิดเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม พุทธศักราช 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนาคประสิทธิ์ ในปี 2547 จังหวัดนครปฐม และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรในปี 2548 โดยสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) ในปี 2551 โดยได้รับทุนพัฒนาผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) จากนั้นเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

- งานวิจัยได้รับการเผยแพร่ในงานวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 6 ปี 2555 ในหัวข้อเรื่อง ผลของไอโซนต่อการสังเคราะห์ แสงของยางพารา *Hevea brasiliensis* Muell.Arg.