

กำลังออกสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาภาคไกลการเคลื่อนที่ของต้นไมยราบ



นางสาวสุจิตราพร ชื่นอารมณี
นางสาวอัปสร นิยมลาภ

๒๗.
๕๗๕๓ก
๒๕๔๙

เลขหมู่.....**76658**.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**- 3 S.A. 2550**.....

b. 11 ๘ ๕๐๒๕๕
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา ๒๕๔๙ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study on Mimosa pudica movement mechanism



A Special Project Submitted in Partial Fullfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การศึกษากลไกการเคลื่อนที่ของดิน ไมบราบ

นักศึกษา

นางสาวสุจิตราพร ชื่นอารมณั์

นางสาวอัปสร นิยมลาภ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์

และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. อนุพงษ์ สรงประภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้
โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ กรรมการ กรรมการ กรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน อ.ภารุจ บัณฑิตาคาวิทย์ อ.กิริยอุทธิ์ ศรีนวลจันทร์ รศ. อนุพงษ์ สรงประภา

.....
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษากลไกการเคลื่อนที่ของต้นไม้ยราบ
นักศึกษา	นางสาวสุจิตราพร ชื่นอารมณ์ นางสาวอัปสร นิยมลาภ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. อนุพงษ์ สรวงประภา

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักของพืช ทำให้พืชดำรงชีวิตอยู่ได้และเป็นแหล่งพลังงานในรูปของอาหาร ต่อบรรดาสรรพสัตว์รวมทั้งมนุษย์ ซึ่งเป็นผู้ที่มีการพัฒนาสติปัญญา ปัจจุบันมนุษย์มีเทคโนโลยีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้ความร้อนสร้างความอบอุ่นภายในบ้านเรือนได้โดยตรง แต่ในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น เวลากลางคืน ในช่วงฤดูฝน หรือ แม้แต่ต้องการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนจักรกล ก็ต้องแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นเสมอระหว่างช่วงเปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่ง ไปเป็นอีกรูปหนึ่ง เป็นไปได้หรือไม่ที่จะเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับไปเป็นพลังงานเชิงกล โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการนำพืชไปย่อยสลาย ซึ่งก็คือ การบานและหุบของดอกและใบยามเช้ากับเย็น แต่เป็นการเคลื่อนไหวที่มีความเชื่องช้าเมื่อเทียบกับสัตว์ ยังมีพืชอีกกลุ่มหนึ่งที่เคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว คือ ต้นไม้ยราบ กลไกการหุบใบของไม้ยราบเป็นที่สนใจแก่นักวิจัยสาขาต่างๆมาเป็นเวลานาน แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์นักวิจัยใดศึกษาในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับการปลดปล่อยพลังงานเชิงกล และกลไกการเคลื่อนที่ที่พืชชนิดนี้ตอบสนองในสภาวะควบคุมต่างๆเมื่อถูกกระตุ้น โดยได้ทดลองหาพลังงานกับทอร์กที่ต้นไม้ยราบนั้นให้กลับมา งานวิจัยที่ได้เสนอนี้ได้เริ่มดำเนินการมาในแนวทางดังกล่าว จึงอาจไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานกับกลไกการเคลื่อนที่ในอีกรูปแบบหนึ่ง

Special Project Title A Study on *Mimosa pudica* movement mechanism
Name Miss Sujitraporn Chuenarom
 Miss Upsorn Niyomlap
Department Applied Physics Science
Program Applied Physics – Science and Industry Instrumentation
Academic Year 2006
Special Project Advisor Assoc. Prof. Anupong Srongprapa

Abstract

Solar energy is energy of plant can live and plant is food of animal and human. Present, human can technology change solar energy transform to heat energy occurred to warm. But have not sunlight example at night, rainy or machine want movement energy change solar energy transformed to electric energy. Because lose energy between transform energy. Possible or not, change solar energy transform to movement energy have not to digest. That is blossom flowers but slow movement as animal. Another plant rapid movement is *Mimosa pudica*, movement mechanism is interesting along time. But not have to research is relationship between solar energy and movement mechanism energy with response to movement mechanism in control room. Experiment find energy and torque of *Mimosa pudica*. Research to present experiment it, to develop another energy technology and movement mechanism

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จคล่องไปได้ด้วยดี นั้นเนื่องจากการได้รับการสนับสนุนจากผู้มีอุปการคุณทุกท่าน ท่านอาจารย์ รศ.อนุพงศ์ สรงประภา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยชี้แนะตลอดมา รวมทั้งคอยช่วยแก้ไขปัญหา ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณนายณรงค์ชัย ทองน้อย รุ่นพี่ฟิสิกส์ประยุกต์ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆด้าน ทั้งในด้านร่างกาย แรงใจ ทุนทรัพย์โดยมิได้หวังสิ่งตอบแทนใดๆ

ขอขอบคุณบิดามารดาที่ให้กำเนิด อบรมสั่งสอนและสนับสนุนในทุกๆเรื่อง อีกทั้งยังเป็นแรงใจให้วันนี้ได้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณท่านอาจารย์ทุกๆท่านและเพื่อนๆภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะมีประโยชน์กับผู้ที่สนใจเพื่อสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปได้

คณะผู้จัดทำ

นางสาวสุจิตราพร ชื่นอารมณ์

นางสาวอัปสร นิยมลาภ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของ โครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินการ	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 ชื่อทางวิทยาศาสตร์และลักษณะทางพฤกษศาสตร์	5
2.1.1 ไมยราบยักษ์	5
2.1.2 ไมยราบเลื้อย	6
2.1.3 ไมยราบไร้หนาม	7
2.1.4 ไมยราบ	7
2.2 ส่วนประกอบของไมยราบ	8
2.1.1.1 ส่วนที่มีผลกับการเคลื่อนไหว	9
2.1.1.2 ส่วนที่ไม่มีผลกับการเคลื่อนไหว	9
2.3 การเคลื่อนไหวของพืช	9
2.3.1 การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการเจริญเติบโต	9
2.3.2 การเคลื่อนไหวเนื่องจากความเต่ง(turgor movement)	11
2.4 การสังเคราะห์ด้วยแสง	16
2.4.1.กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	17
2.4.1.1 Light reaction	17
2.4.1.2 Dark reaction หรือ Calvin cycle	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2. ปฏิกริยาใช้แสง	17
2.4.2.1 แสง มีลักษณะเป็นทั้งคลื่น และอนุภาค	17
2.4.2.2 หน่วยรับแสง โมเลกุลที่ทำหน้าที่รับแสงจะอยู่ เป็นหน่วยหรือเป็นกลุ่มที่เรียกว่า photosystem	17
2.4.3 การคำนวณหาพื้นที่การรับแสงของใบไมยราบ	18
2.5 ทฤษฎีและหลักการเคลื่อนที่ของด้นไมยราบแบบสถิต	19
2.5.1 จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity : CG)	19
2.5.2 จุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass : CM)	19
2.5.3 พลังงานศักย์(P.E)	20
2.5.3.1. พลังงานศักย์ยึดหยุ่น(E_p)	20
2.5.3.2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง (E_p)	21
2.6 ทฤษฎีและหลักการเคลื่อนที่ของด้นไมยราบแบบพลศาสตร์	21
2.6.1 พลังงานจลน์ (k.E. - kinetic Energy)	21
2.6.2 ความเร็ว (v)	22
2.6.3 ทอร์ก	23
2.6.4 โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)	24
2.6.5 ประสิทธิภาพของพลังงาน	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1 การเตรียมตัวอย่าง	25
3.1.1 การเตรียมตัวอย่างจากการเพาะปลูก	25
3.1.2 การเตรียมตัวอย่างโดยให้แสงสว่างกับด้นไมยราบ	26
3.1.3 การเตรียมตัวอย่างในกระบะ ควบคุมแสงสว่างกับด้นไมยราบ	27
3.2 การกระตุ้นไมยราบด้วยกรณีต่างๆ	28
3.2.1 การกระตุ้นด้วยการสัมผัส	28
3.2.2 การกระตุ้นด้วยความร้อน	29
3.2.3 การกระตุ้นด้วยแรงลม	29
3.2.4 การกระตุ้นด้วยลูกเหล็ก	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.5 การกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้า	30
3.3 การทดลองแบบสถิตย์ (Static)	32
3.4 การทดลองแบบพลศาสตร์ (Dynamic)	33
3.4.1 วิธีวัดหาพลังงานและทอร์กของคันไม้ขราบ	34
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	35
3.5.1 Strain gage	35
3.5.2 transducer	35
3.5.3 Light meter	36
3.5.4 Digital Camcorder	36
3.5.5 Stroboscope	37
3.5.6 Supply high volt	37
3.5.7 Digital Oscilloscope	38
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	39
4.1 การเตรียมตัวอย่าง โดยให้แสงสว่างกับคันไม้ขราบ	40
4.2 การตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆของคันไม้ขราบ	42
4.2.1 การกระตุ้นด้วยการสัมผัส	42
4.2.2 การกระตุ้นด้วยความร้อน	42
4.2.3 การกระตุ้นด้วยแรงลม	44
4.2.4 การกระตุ้นด้วยลูกเหล็ก	45
4.2.5 การกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้า	47
4.3 วิธีการคำนวณหากระแสที่ผ่านคันไม้ขราบ	52
4.4 การคำนวณพลังงานของใบไม้ขราบที่ได้จากแสงอาทิตย์	52
4.4.1 การคำนวณพลังงานการรับแสงของใบไม้ขราบ	52
4.5 การทดลองแบบสถิตย์ (Static)	53
4.5.1 การทดลองวัดแรงของคันไม้ขราบ	54
4.5.2 การคำนวณหาพลังงานศักย์ยืดหยุ่น	60
4.6 การทดลองแบบพลศาสตร์ (Dynamic)	61
4.6.1 การทดลองวัดเทียบกับการปล่อยอิสระของใบไม้ขราบ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.2 การคำนวณพลังงานทอร์กที่ได้จากใบไมยราบ	63
4.6.3 การคำนวณพลังงานศักย์ที่ได้จากใบไมยราบ	65
4.6.4 การคำนวณความเร่งและความเร็วที่ได้จากต้นไมยราบ	66
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	67
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาในการทำงาน (Gantt chart)	3
4.1 ค่าประมาณความเข้มของแสง	39
4.2 แสดงผลทดลองการวัดแสงสว่างจากที่ต่างๆ	40
4.3 ตารางผลการทดลองการกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยความร้อน	43
4.4 ตารางผลการทดลองการกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยแรงลม	44
4.5 แสดงพลังงานของลูกเหล็กแต่ละขนาด	45
4.6 ตารางผลการทดลองวัดค่าความต้านทานของใบไม้	47
4.7 ค่าความต้านทานแต่ละตำแหน่งของไมยราบ	48
4.8 กระแสที่ใช้ในการกระตุ้นต้นไมยราบ	52
4.9 ตารางผลการทดลองแรงของต้นไมยราบ	55
4.10 ตารางผลการทดลองค่าแรงของต้นไมยราบก้านเดียวกันซ้ำอย่างต่อเนื่อง	55
4.11 ตารางผลการทดลองค่าแรงของต้นไมยราบหลังปิดกล่อง 1 ชั่วโมง	56
4.12 ตารางผลการทดลองแรงของต้นไมยราบโดยการดึงช่วงก้านด้านบน	57
4.13 ตารางผลการทดลองแรงของต้นไมยราบ โดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ไม่ซ้ำกัน	58
4.14 ตารางผลการทดลองแรงของต้นไมยราบ โดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ซ้ำกันเดียวกันก้านที่ 1	59
4.15 ตารางผลการทดลองแรงของต้นไมยราบ โดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ซ้ำกันเดียวกันก้านที่ 2	59
4.16 แสดงการวัดการตกของไมยราบโดย Stroboscope และนาฬิกาจับเวลา	63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไมยราบยักษ์	5
2.2 ไมยราบเลื้อย	6
2.3 ต้นไมยราบ	7
2.4 แสดงส่วนประกอบของต้น ไมยราบ	8
2.5 แสดงเมล็ดของต้นไมยราบ	9
2.6 แสดงการเคลื่อนที่ของไถออนในเซลล์ของไมยราบ	11
2.7 แสดงภาพตัดขวาง motor cell ของต้นไมยราบ	12
2.8 แสดงการสังเคราะห์แสงของพืช	16
2.9 ใบของไมยราบที่ใช้ในการรับแสง	18
2.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของจุดศูนย์กลางมวลเมื่อมีการเคลื่อนที่	19
2.11 แสดงการเปลี่ยนแปลง Center of Mass ของวัตถุ	20
2.12 แสดงลักษณะพลังงานศักย์ยืดหยุ่น	20
2.13 แสดงพลังงานศักย์โน้มถ่วง	21
2.14 แสดงพลังงานศักย์เปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานจลน์	22
2.15 แสดงการวัดความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่	22
2.16 แสดงวิธีการวัดค่าทอร์กของวัตถุหมุน	23
2.17 แสดงภาพโมเมนต์ความเคี้ยว	24
3.1 แสดงเมล็ดของไมยราบ	25
3.2 แสดงต้นอ่อนของไมยราบ	25
3.3 แสดงต้นของไมยราบเมื่อเติบโตเต็มที่	26
3.4 แสดงการวัดความเข้มแสงสว่างต้นกำเนิดพลังงานของไมยราบ	26
3.5 กระบวนการควบคุมการเจริญเติบโตแบบเมตริกและแสงสว่างของต้นไมยราบ	27
3.6 แสดงชุดทดลองไมยราบในกล่องปิดสว่างและมี	28
3.7 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยการสัมผัส	28
3.8 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยความร้อน	29
3.9 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยแรงลม	29
3.10 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยลูกเหล็ก	30
3.11 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 เมื่อกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยสัญญาณแล้ว ทำให้ก้านไบเกิดการหุบลง	31
3.13 วงจร Voltage to Current Converter	31
3.14 แสดงรูปภาพการทดลองแบบสถิต	32
3.15 แสดงรูปภาพการทดลองแบบพลศาสตร์	33
3.16 แสดง loadcell	34
3.17 แสดง transducer	35
3.18 แสดง Lux Meter	36
3.19 แสดง Digital Camcorder	36
3.20 แสดง Stroboscope	37
3.21แสดง Supply high volt Range 0-400 V, 0-12 A	37
3.22 แสดงแสดง Digital Oscilloscope	38
4.1 แสดงรูปการทดลองในตู้ควบคุมแสงสว่างจากหลอดไฟ	40
4.2 แสดงความยาวคลื่นที่ไบโมรราบสามารถรับแสงได้	41
4.3 วงจรควบคุมเวลาเปิดปิดหลอดไฟ	41
4.4 แสดงการทดลองกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยความร้อน	42
4.5 แสดงการทดลองกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยแรงลม	45
4.6 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยลูกเหล็ก	46
4.7 กราฟแสดงพลังงานการตอบสนองของลูกเหล็ก	46
4.8 แสดงการทดลองกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า	48
4.9 แสดงFlow chartวงจรกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า	49
4.10 แสดงแผนภาพวงจรกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า	49
4.11 แสดงรูปวงจรกระตุ้นก้านไบโมรราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า	50
4.12 แสดงรูปสัญญาณหลังกระตุ้นก้านไบโมรราบ (ครั้งที่ 1)	51
4.13 แสดงรูปสัญญาณหลังกระตุ้นก้านไบโมรราบ (ครั้งที่ 2)	51
4.14 แสดงรูปภาพการทดลองแบบสถิต	53
4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดแรงกับน้ำหนัก	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 การทดลองแรงของคันทันไมยราบ	54
4.17 การทดลองแรงของคันทันไมยราบโดยการดึงช่วงก้านด้านบน	56
4.18 แสดงการวางตำแหน่ง Load cell ในการวัดแรงของใบไม้	57
4.19 แสดงการให้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นคันทันไมยราบ	58
4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะเวอร์เนีย	60
4.21 แสดงรูปภาพการทดลองแบบพลศาสตร์	61
4.22 แสดงการปล่อยคกอิสระของก้านไมยราบ (ก่อนตก)	62
4.23 แสดงการปล่อยคกอิสระของก้านไมยราบ (หลังตก)	62
4.24 แสดงการวัดหาพลังงานและทอร์กของคันทันไมยราบ	63
4.25 แสดงองศาระหว่างใบของคันทันไมยราบ	64
4.26 แสดงรูปองศาการตกของก้านใบไมยราบ	65

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความหมายของโครงการพิเศษ วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ วิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงาน ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการพิเศษนี้ โดยจะกล่าวเป็นลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 ความหมายของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ

พลังงานแสงอาทิตย์สะสมเป็นอาหารของพืช พืชก็เป็นอาหารของสัตว์ สัตว์ก็เป็นอาหารของมนุษย์ ทำให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยการหมุนเวียนพลังงานบนโลก เพราะฉะนั้นที่มาของพลังงานก็คือ แสงอาทิตย์ ขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงพลังงานต้องผ่านกระบวนการย่อยสลาย ในกระเพาะสัตว์ หรือเชื้อเพลิงที่เกิดจากการสะสมของซากพืชซากสัตว์ แล้วเกิดการย่อยสลายเป็นการสะสมพลังงาน เกิดการเผาไหม้ภายในเพื่อเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูป โมเลกุล เมื่อมนุษย์ต้องการใช้พลังงานความร้อน ในขณะที่มีแสงอาทิตย์ก็สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง แต่นอกเหนือจากเวลาดังกล่าว ถ้าต้องการพลังงานในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ก็ต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือมีเข็มนั่นก็ใช้การเผาผลาญน้ำมันซึ่งเกิดจากฟอสซิลของกิ่งไม้ ใบหญ้าที่ทับถมกันเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการค้นลูกสูบ นั่นคือการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากรูปหนึ่งเป็นอีกรูปหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้า จากไฟฟ้าหรือความร้อนเป็นพลังงานกลเหล่านี้ ประสิทธิภาพที่ได้จะไม่เต็ม 100%

การพัฒนาที่ทำอยู่ในทุกวันนี้ เช่น ไบโอดีเซล หรือ ไบโอบนซิน ทำยที่สุดก็คือเชื้อเพลิงที่ต้องนำมาเผาไหม้ ในขณะที่มีปัญหาเรื่องนี้ ถ้ามาพิจารณาดูต้นไมยราบซึ่งเป็นพืชที่มีการเคลื่อนไหวที่รวดเร็วแตกต่างจากพืชชนิดอื่นๆทั่วไป เมื่อมีการกระตุ้นเพียงเล็กน้อยด้วยการสัมผัสหรือความร้อน โดยมีการเก็บสะสมพลังงานในช่วงเวลาหนึ่ง ก็สามารถทำการตอบสนองซ้ำๆได้ พลังงานกลนี้มีนัยสำคัญตรงที่ได้จากพืชที่มีชีวิตโดยตรง ผู้วิจัยไม่ได้คาดหวังในการทำการทดลองเพื่อนำเอาพลังงานเชิงกลจากต้นไม้มานำใช้ แต่ศึกษากลไกที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเชิงกล โดยที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งในอนาคตเราอาจเลียนแบบกลไกภายในระดับโมเลกุลที่เป็นสาเหตุของการเคลื่อนไหวถ้ามีการก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยี บางครั้งอาจใช้วิธีการของพืชชนิดนี้ในการสังเคราะห์เปลี่ยนจากพลังงานแสงเป็นพลังงานเชิงกลอย่างมีประสิทธิภาพได้มากกว่า

โดยที่ได้ทำการวิจัยและนำเสนอในโครงการงาน เกี่ยวกับการศึกษาการควบคุมปริมาณแสง แล้วสังเกตพฤติกรรมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานเชิงกลของการเคลื่อนที่ในต้นไม้ขรราบใน ความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันสำหรับปริมาณแสงที่ได้รับในตัวอย่าง(sample)ทดลองจำนวนมาก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาทฤษฎีและการเคลื่อนไหวใบ ดอก และก้านลำต้น ของไม้ขรราบ เพื่อให้เข้าใจถึง กระบวนการการเคลื่อนไหว

1.2.2 เลียนแบบกลไกการเคลื่อนไหวของไม้ขรราบเพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ (Biomimetic)

1.2.3 ศึกษาการเคลื่อนไหวของไม้ขรราบเพื่อนำพลังงานแสงมาแปลงเป็นพลังงานเชิงกล

1.2.4 ศึกษาพลังงานการเคลื่อนไหวของไม้ขรราบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการนำมาเป็น พลังงานทดแทนต่อไป

1.2.5 สร้างองค์ความรู้ใหม่ของการศึกษาด้านไม้ขรราบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการพิเศษนี้จัดทำเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานแสงเป็นพลังงาน เชิงกลของต้นไม้ขรราบ ทำการทดลองและวิจัยนำการเคลื่อนไหวของไม้ขรราบมาสร้างพลังงานใน รูปแบบใหม่ เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้พลังงาน หรือทดแทนพลังงานในรูปแบบเก่า และทำการ ทดลองหาการเคลื่อนที่แบบใหม่จากต้นไม้ขรราบ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบทฤษฎีและปัจจัยในการเคลื่อนไหวของต้นไม้ขراب

1.5.2 ทำให้ทราบและเรียนรู้การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานเชิงกล

1.5.3 ทำให้ทราบและเรียนรู้การเลียนแบบนำกลไกของต้นไม้ขرابมาใช้งาน(Biomimetic

)

1.5.4 ทำให้รู้จักคิดและหาวัสดุที่พอจะหาได้มาทดแทนถ้าวัสดุนั้นมีราคาสูงเกินไป
สามารถหาวัสดุทดแทนได้ในท้องถิ่นของประเทศไทย

1.5.5 ทำให้ทราบและเรียนรู้การทำงานสถาปัตยกรรมและการเขียน โปรแกรมของ
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล intel เบอร์ AT89c52

1.5.6 ทำให้ทราบและเรียนรู้การทำงานและการเขียน โปรแกรมของ LCD

1.5.7ทำให้ทราบและเรียนรู้ การทำงานแบบระบบและการเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุมเวลา
แบบ REAL-TIME

1.5.8 ทำให้รู้จักการวางแผนและการคิดอย่างเป็นระบบ

1.5.9 เป็นการฝึกฝนการทำงานเพื่อจะสามารถทำงานกับผู้อื่น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.10 สร้างองค์ความรู้ใหม่ของการศึกษาด้านไม้ขراب

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

พืชที่เรียกว่า "ไมยราบ" ในประเทศไทยมีทั้งหมด 4 ชนิด และทุกชนิดเป็นวัชพืชต่างถิ่นที่มีแหล่งกำเนิดในอเมริกาเหนือตอนใต้ อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ตอนเหนือทั้งสิ้น ไมยราบทั้งสิ้น 4 ชนิด คือ 1. ไมยราบยักษ์ (*Mimosa pigra*) 2. ไมยราบเลื้อยหรือไมยราบขาว (*Mimosa invisa*) เข้ามาระบาดในประเทศไทย โดยการสันนิษฐานว่าได้มีการนำเมล็ดเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย โดยผู้นำเกษตรกรชาวไต้หวัน เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2490 เพื่อใช้เป็นพืชปุ๋ยสดในไต้หวัน ที่อำเภอแม่แตง และอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ 3. ไมยราบไร้หนาม (*Mimosa invisa inermis*) ซึ่งเป็นชนิดพันธุ์ย่อยของไมยราบเลื้อยแต่ไม่มีหนาม ได้มีการนำเข้ามาปลูกเป็นพืชอาหารสัตว์ ในช่วงปี พ.ศ. 2525-2530 แต่ไม่เป็นที่รู้แน่นอนว่าผู้ใดนำเข้ามาจากที่ใด ไม่ถือว่าเป็นชนิดพันธุ์ที่รุกราน เฉพาะไมยราบยักษ์และไมยราบเลื้อยเท่านั้น ที่ถือได้ว่าเป็นชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกราน (invasive alien species) ที่รุนแรงในประเทศไทย วัชพืชทั้งสองชนิดนี้มีเขตแพร่กระจายก่อนนำเข้ามาสู่ประเทศไทย อยู่แล้วในมาเลเซีย สิงคโปร์ และอินโดนีเซีย 4. ไมยราบ (*Mimosa pudica*) ระบาดเข้ามาถึงประเทศไทยนานเท่าไรแล้วไม่ปรากฏ ซึ่งมีผู้ศึกษาเรื่องต่างๆ ของต้นไมยราบมาเป็นเวลามากกว่า 80 ปี

2.1 ชื่อทางวิทยาศาสตร์และลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.1.1 ไมยราบยักษ์

ชื่อทางวิทยาศาสตร์: *Mimosa pigra* L.

ชื่อสามัญ: Giant mimosa



รูปที่ 2.1 ไมยราบยักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้พุ่ม สูงได้ถึง 4 เมตร มีหนามทั่วไป และตามรอยต่อใบประกอบย่อย มีขนหยาบตามกิ่ง แขนก้านใบ ขอบใบและช่อดอก ใบประกอบแบบขนนก 2 ชั้น แขนกลางยาว 11-17 ซม. เป็นเหลี่ยมๆ ก้านยาว 0.8-2.8 ซม. ใบประกอบย่อยมี 10-14 ใบ ยาว 3.5-4.5 ซม. ใบย่อยมีประมาณ 45 คู่ รูปแถบแกมขอบขนาน ยาว 0.5-0.9 ซม. ช่อดอกออกเป็นคู่ตามซอกใบ ก้านช่อดอกยาวประมาณ 2 ซม. ดอกจำนวนมาก ไร่ก้าน กลีบเลี้ยงเล็กมากประมาณ 1 มม. บางและแห้ง กลีบดอกรูปแตร ยาวประมาณ 3 มม. หลอดกลีบเลี้ยง กลีบรูปรีแกมรูปไข่ ปลายแหลม ยาวประมาณ 1.2 มม. เกสรเพศผู้ 8 อัน รังไข่ยาวประมาณ 1.5 มม. มีขนกำมะหยี่หนาแน่น ฝักมีหลายฝักในแต่ละช่อดอก รูปแถบแกมรูปขอบขนาน ตรง ยาวประมาณ 6 ซม. เป็นงอ มีขนสาหนานหนาแน่น ไม้ร่าบต้นขึ้นเป็นวัชพืชไป มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้

2.1.2 ไม้ร่าบเลื้อย

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ : *Mimosa diplotricha* C. Wright ex Sauvalle

ชื่อสามัญ : *Mimosa invisa* Mart., creeping mimosa



รูปที่ 2.2 ไม้ร่าบเลื้อย

ไม้ร่าบเลื้อย หรือ ไม้ร่าบขาว ไม้พุ่มเตี้ยทอดเลื้อยตามพื้นดิน ขึ้นหนาแน่น บางครั้งสูงถึง 1 เมตร ลำต้นเป็นสี่เหลี่ยม มีหนามโค้งตามสันเหลี่ยมเป็นแถว และตามแขนก้านใบหรือตามข้อ พบประปรายตามท้องใบ มีขนปกคลุมลำต้น แขนก้านใบ ใบ และช่อดอก ใบประกอบแบบขนนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ชั้น แกนกลางยาว 6-11 ซม. ก้านยาว 3-5 ซม. ใบประกอบย่อยมี 4-7 ใบ ยาว 1-4.5 ซม. ใบย่อยมี 12-21 คู่ รูปขอบขนาน ยาวประมาณ 0.2-0.7 ซม. ช่อดอกออกเดี่ยวหรือเป็นคู่ ตามซอกใบ ก้านช่อดอกยาวประมาณ 0.5-6 ซม. ดอกจำนวนมาก ไร้ก้าน กลีบเลี้ยงเล็กมากประมาณ 0.4 มม. กลีบดอกรูปกรวยแคบ ยาวประมาณ 2 มม. กลีบดอกมน ยาวประมาณ 1 มม. เกสรเพศผู้มี 8 อัน รังไข่ยาวประมาณ 1 มม. มีขนละเอียด ฝักมีหลายฝักในแต่ละช่อดอก รูปขอบขนาน โค้งเล็กน้อย ยาวประมาณ 1.5-3.5 ซม. มีขนแข็งตามขอบ ไม้ยราบขาขึ้นเป็นวัชพืช มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ ในไทยนำเข้าโดยกรมวิชาการเกษตรเพื่อควบคุมวัชพืชอื่นๆ

2.1.3 ไม้ยราบไร้หนาม

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ : *Mimosa diplotricha* C. Wright ex Sauvalle var. *inermis*

ชื่อสามัญ : *Mimosa invisa* Mart. Var. *inermis* Adelb.

ลักษณะเหมือนกับไม้ยราบเลื้อยเพียงแต่ไม่มีหนาม

2.1.4 ไม้ยราบ

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Mimosa pudica* Linn. Var. *hispida* Bren.

วงศ์ Leguminosae – อนุวงศ์ Mimosioidae

ผู้ตั้งชื่อ Carl von Linnaeus

ชื่อสามัญ : Sensitive plant, Shame bush, sleeping grass

ชื่อพื้นเมือง : กระต๊อบยอด, หล้าใบนอยด, หล้าใบ, หนามหึ่ง, นานหม่อมะ, หงับพระพาย, หล้าจียอบ, คันรุ่ม, ไม้ยราบ (ภาคกลาง), หน่อปีเหมาะ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน), หัวใจไม้ยราบ (ภาคใต้)

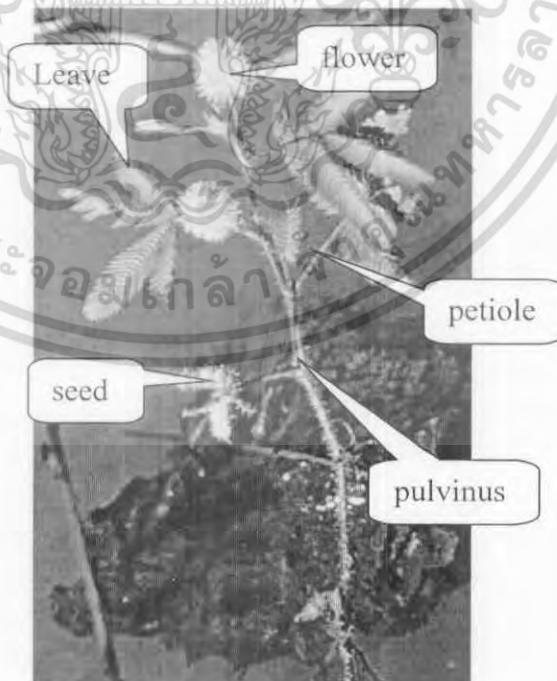


รูปที่ 2.3 ต้นไม้ยราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมยราบ เป็นไม้พุ่มหรือไม้ล้มลุกต้นสีน้ำตาลแดง พบขึ้นได้ทั่วไปในที่รกร้างว่างเปล่ามักแผ่ไปตามพื้นชูยอดขึ้นข้างบนอาจแตกกิ่งก้านสาขาสูงได้ถึง 1 เมตร ความยาวของต้นประมาณ 15-55 เซนติเมตร มีหนามสั้นปลาย โคนงอ ใบเป็นใบประกอบมีใบย่อยเล็กๆเกิดเป็นคู่ตรงกันข้าม ก้านช่อใบยาว 3-5 เซนติเมตร มีร่องตามความยาว มีขนสาปกคลุมทั้งก้าน ก้านใบย่อยมี 2 คู่ ก้านยาว 2.5-7 เซนติเมตร มีขนปกคลุมหนาแน่น ประกอบด้วยใบย่อย 12-25 คู่ในแต่ละก้านใบย่อย ใบย่อยมีขนาดยาว 5-11 เซนติเมตร กว้าง 1.3-2 มิลลิเมตร รูปไข่รี ผิวด้านบนเกลี้ยง ตามท้องใบและขอบใบ ก้านใบและใบย่อยไวต่อการสัมผัส ดอกสีชมพูเกิดเป็นช่อกระจุกเดี่ยวหรือเป็นคู่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร แตกจากโคนใบก้านช่อดอกยาว 2.5-3.8 เซนติเมตร มีขนปกคลุมหนาแน่น กลีบเลี้ยงสั้นมากประมาณ 0.1 มิลลิเมตร กลีบดอกรูปทรงระฆังติดกันเป็นหลอด ปลายแยกเป็น 4 กลีบ ขนาดยาว 1.9-2.3 มิลลิเมตร แต่ละกลีบรูปไข่กลับ ส่วนปลายกลีบป้านมน หรือกลม มีเกสรเพศผู้จำนวน 4 อัน รังไข่ยาว 0.3-0.6 มิลลิเมตร ผิวเกลี้ยง ผลเป็นฝักอยู่เป็นกลุ่มรูปฝักยาวเรียวขอบโค้งเว้าเข้าหากันทั้งสองด้าน มีจำนวนมากที่พัฒนามาจากดอกช่อกระจุก ฝักยาว 1.5-1.8 เซนติเมตร กว้าง 0.4 เซนติเมตร รูปขอบขนาน แบน ยาว และมีขนแข็งปกคลุมตามขอบฝัก เมล็ดแบนกลม หรือรี มีจำนวน 4-10 เมล็ด

2.2 ส่วนประกอบของไมยราบ



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของต้นไมยราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงเมล็ดของต้นไมยราบ

2.2.1 ส่วนที่มีผลกับการเคลื่อนไหว

Leaf = ใบ

Petiole = ก้านใบ

Pulvinus = กลุ่มเซลล์ที่อยู่ตรงโคนก้านใบของพวงไมยราบซึ่งเร็วต่อสิ่งเร้าที่มากกระตุ้น ถ้าถูกกระตุ้นจะเสียน้ำไป เป็นเหตุให้ใบหุบ

2.2.2 ส่วนที่ไม่มีผลกับการเคลื่อนไหว

Seed = เมล็ด

Flower = ดอก

2.3 การเคลื่อนไหวของพืช

การเคลื่อนไหวของพืชส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และต้องใช้เวลา เพราะพืชไม่มีการเคลื่อนไหวจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง แต่เป็นการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆ โดยมีสาเหตุ 2 ประการคือ

2.3.1 การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการเจริญเติบโต เกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากฮอร์โมนพืช (auxin) เช่น การเจริญเติบโตของปลายยอด ปลายรากของพืช การหุบบานของดอกไม้ การพันหลักของไม้เลื้อยแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) การเคลื่อนไหวอัตโนมัติ (autonomic movement) เป็นการเคลื่อนไหวของพืชอันเนื่องมาจากสิ่งเร้าภายในพืชเอง ทำให้การเจริญของลำต้นทั้งสองด้านไม่เท่ากัน สิ่งเร้าภายในที่มากกระตุ้นคือ ฮอร์โมนพืช หรือ auxin ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1) *nutation* หมายถึง การเคลื่อนไหวแบบอัดโนมัดซึ่งมักเกิดที่ปลายยอดโดยการเคลื่อนไหวของพืชพวกนี้ จะมีปลายยอดโยกหรือสั่นไปมาขณะที่ปลายยอดกำลังเจริญเติบโต (ปลายยอดไม่เจริญพุ่งสูงขึ้นอย่างเดียว แต่จะส่ายโยกไปมาด้วย)

1.2) *spiral movement* หรือ *circumnutation* หมายถึง การเคลื่อนไหวของพืช โดยมีการบิดเป็นเกลียวที่ปลายยอด เช่น ถั่ว เถาวัลย์ (พืชพันหลักหรือพืชพวกไม้เลื้อย)

2) การเคลื่อนไหวที่เกิดจากสิ่งเร้าภายนอก (stimulus movement หรือ paratonic movement) สิ่งเร้าภายนอกไปกระตุ้น auxin จากนั้น auxin จึงไปกระตุ้นให้พืชมีการเคลื่อนไหวอีกทีหนึ่ง มี 2 แบบ คือ

2.1) *nastic movement* หรือ *nasty* หมายถึง การเคลื่อนไหวของพืช โดยมีทิศทางไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า กล่าวคือ สิ่งเร้าภายนอกจะมากระตุ้นส่วนต่างๆ ของพืชเท่าๆ กัน แต่การตอบสนองของพืชกลับมีไม่เท่ากัน เช่น การหุบ-บาน ของดอก และการกางของใบ

(1) *epinasty* หมายถึง กลุ่มเซลล์ด้านใน (ด้านบน) ขยายขนาดหรือเจริญมากกว่าด้านนอก (ด้านล่าง) ทำให้ดอกไม้บานออก

(2) *hyponasty* หมายถึง กลุ่มเซลล์ด้านนอก (ด้านล่าง) ขยายขนาดหรือเจริญมากกว่ากลุ่มเซลล์ด้านใน (ด้านบน) ทำให้ดอกไม้หุบ

สิ่งเร้าที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบนาสติก อาจเกิดจากแสงสว่างหรืออุณหภูมิก็ได้ ตัวอย่างการเกิด *nastic movement* เช่น

(3) *photonasty* หมายถึง การหุบ-บานของดอกหรือใบเนื่องจากแสงสว่างเป็นสิ่งเร้า เช่น ดอกบัว (บานในเวลากลางวัน หุบในเวลากลางคืน) ดอกกระบองเพชร (บานในเวลากลางคืน หุบในเวลากลางวัน)

(4) *thermonasty* หมายถึง การหุบ-บานของดอกหรือใบเนื่องจากอุณหภูมิเป็นสิ่งเร้า เช่น การบานของดอกบัวสวรรค์และทิวลิปเมื่ออุณหภูมิสูงและหุบเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

2.2) *tropic movement* หรือ *tropism* หมายถึง การเคลื่อนไหวของพืช โดยมีทิศทางเกี่ยวข้องกับทิศของสิ่งเร้า การเคลื่อนไหวแบบนี้จะทำให้ส่วนของพืชโค้งเข้าหาหรือหนีสิ่งเร้าที่มากระตุ้นนั้น ถ้าโค้งเข้าหาเป็น *positive tropism* แต่ถ้าโค้งหนีเป็น *negative tropism* จำแนกออกเป็นหลายชนิดตามสิ่งเร้า คือ

(1) *geotropism* การเจริญของราก หรือลำต้นต่อแรงดึงดูดของโลก ลำต้นเจริญหนีแรงดึงดูดของโลก เรียกว่า เจริญแบบ *negative geotropism* ส่วนรากเจริญเข้าหาแรงดึงดูดของโลก เรียกว่า เจริญแบบ *positive geotropism*

(2) *chemotropism* การเจริญเข้าหาหรือหนีจากสารเคมีเมื่อสารเคมีเป็นสิ่งเร้า เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การงอกของหลอดละอองเรณู (pollen tube) เข้าหาเกสรตัวเมีย หรือกรดมัลลิกในรังไข่

(3) hydrotropism การเจริญของพืช เช่น รากหรือลำต้น เมื่อมีน้ำเป็นสิ่งเร้า

(4) thigmotropism การเจริญของพืชโดยมีการสัมผัสเป็นสิ่งเร้า เช่น มือเกาะของ
ตำลึง ฯลฯ

(5) heliotropism การเจริญเติบโตของพืช เมื่อมีแสงอาทิตย์เป็นสิ่งเร้า

(6) phototropism การเจริญของราก หรือลำต้นเมื่อมีแสงสว่างเป็นสิ่งเร้า ลำต้น
การโค้งงอของลำต้นและใบเข้าหาแสงเรียกว่า Positive Phototropism ซึ่งเกิดจากการยืดของเซลล์
ทางด้านที่ไม่ได้รับแสงเร็วกว่าทางด้านที่ได้รับแสง การโค้งงอของลำต้นจะทำให้ระบบยอดของต้น
ได้รับแสงเต็มที่เพื่อการสังเคราะห์แสง ส่วนการตอบสนองของรากตามปกติจะเจริญออกจาก
แสง เรียกว่า Negative Phototropism

2.3.2 การเคลื่อนไหวเนื่องจากความตึง (turgor movement)

เป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของปริมาณน้ำ
ภายในเซลล์ซึ่งเป็นไปอย่างรวดเร็วแต่เป็นไปอย่างชั่วคราวเท่านั้น การที่น้ำเคลื่อนที่ได้เป็นเพราะว่า
กลุ่มเซลล์พัลวินัสมีปริมาณ K^+ อยู่สูง เมื่อ K^+ เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ด้าน Ventral และเซลล์ด้าน
Dorsal จะรับ K^+ เข้าไปทำให้เกิดอาการ "หุบ" ของใบ การเคลื่อนที่ของน้ำจึงเกี่ยวข้องกับพลังงาน
ที่สามารถทำงานได้ของน้ำ และมีกลไกเหมือนกับการปิดเปิดของปากใบ

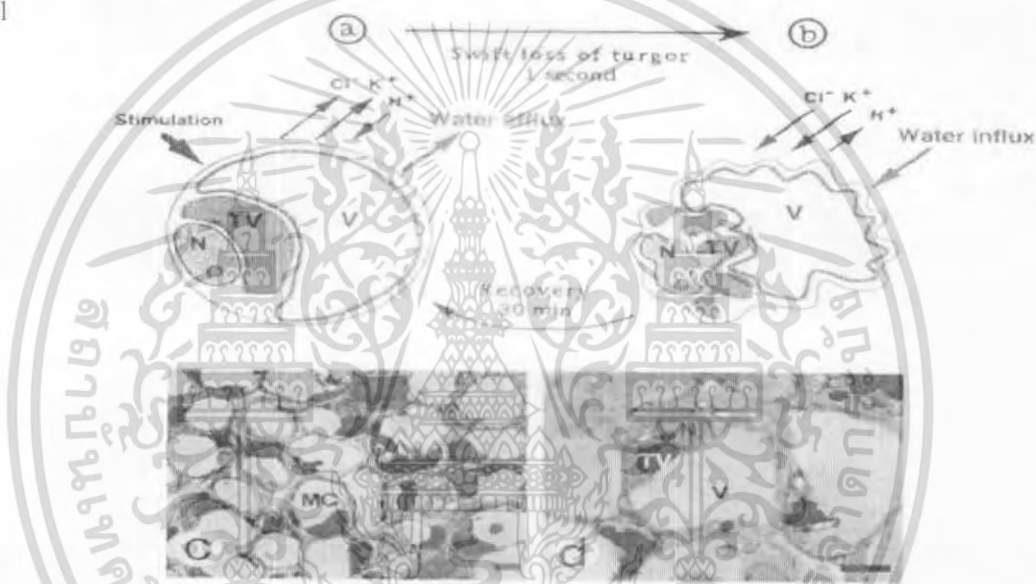


รูปที่ 2.6 แสดงการเคลื่อนที่ของไอออนในเซลล์ของไมมรบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.7 เป็นภาพตัดขวางของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ motor cell เซลล์ที่เหล็จะขยายใหญ่ขึ้นเมื่อ Pulvini เคลื่อนที่จาก (a) ไป (b) โดยจะหดตัวหลังจาก Pulvini คอบสนอง(ที่ b) motor cell มี 2 vacuoles , 1 rannin-rich(TV) อยู่ใกล้ๆกับ nucleus (N) และ central (V)

ซึ่งการทำงานคือเมื่อ motor cell ได้รับการกระตุ้นจาก pulvini จะทำให้เซลล์นั้นหดตัวลง ทำให้น้ำไหลออกมา Cl^- , K^+ ก็ไหลออกมาด้วยส่วน H^+ นั้นไหลเข้ามาในเซลล์ ซึ่งการสูญเสียน้ำนั้นใช้เวลาเพียง 1 วินาที หลังจากนั้นน้ำจะเริ่มไหลเข้ามาในเซลล์พร้อมกับ Cl^- , K^+ ส่วน H^+ ไหลออกมา ในการกลับสู่สภาวะเมื่อนั้นใช้เวลา 30 นาที ภาพ c แสดง motor cell และ ภาพ d ขยายส่วน motor cell



รูปที่ 2.7 แสดงภาพตัดขวาง motor cell ของต้นไมยราบ

การเคลื่อนไหวของพืชเนื่องจากความต่ง แบ่งออกเป็น

1) *nyctinastic movement or sleep movement* หมายถึง การเคลื่อนไหวของพืชตระกูลถั่ว (leguminosae) เช่น ใบของไมยราบ ใบก้ามปู ใบผักกระเฉด ใบกระถิน ใบแค ใบมะขาม เป็นต้น โดยใบจะหุบ ก้านใบจะห้อยและงอ เนื่องจากแสงสว่างลดลง พืชบางชนิดจะมีการเคลื่อนที่ของใบให้อยู่ในแนวตั้ง ในตอนกลางคืนและในตอนกลางวันใบจะอยู่ในแนวระนาบ ซึ่งการเคลื่อนที่ของใบดังกล่าวนี้ มีเม็ดสีซึ่งเรียกว่า ไฟโตโครม (Phytochrome) เข้ามาเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ชนิดนี้ของพืชยังเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อสิ่งเร้าด้วย แต่ทิศทางของการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของส่วนนั้นๆ ของพืชมากกว่าที่จะเป็นธรรมชาติหรือทิศทางของสิ่งเร้า การเคลื่อนที่นี้จะเกี่ยวพันกับการยืดหยุ่น(Elastic Change) ของผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อที่เคลื่อนที่ แต่อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่แบบนี้จะต้องผันกลับได้ และเกิดซ้ำได้อีก (Reversible และ Repeatable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตรให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของพืชแบบนี้มี 2 ลักษณะ คือ

1. Oscillatory movement ซึ่งเป็นการเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงลงมา จนถึงระยะ 2-3 นาที เช่น การเคลื่อนที่ของใบ Albizzia Mimosa และ Trifolium เป็นต้น
2. Single event movement เป็นการเคลื่อนที่ซึ่งเกิดขึ้นในระยะเวลา 2-3 นาที ถึง 2-3 milliseconds แต่การผันกลับจะเกิดอย่างช้า ๆ เช่น ใบ Mimosa บางชนิด

2) *seismonastic movement or contact movement* หมายถึง การเคลื่อนไหวของพืชโดยใบจะหุบลงอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับการสัมผัสหรือการกระเทือน (การเคลื่อนไหวแบบนี้จะเกิดขึ้นรวดเร็วกว่า sleep movement แต่เกิดขึ้นชั่วคราวเช่นเดียวกันและเกิดขึ้นจากความต่งเช่นเดียวกัน เช่น ใบของไมยราบ เมื่อหุบแล้วประมาณ 10 นาที จะกางใหม่) เช่น การหุบของใบผักกระเฉด ใบไมยราบ การจับแมลงของพืชพวกกาบหอยแครง หม้อข้าวหม้อแกงลิง สาหร่ายข้าวเหนียว และใบของพวกหยาดน้ำค้าง ใบของพืชพวกนี้จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างมาเพื่อจับแมลง ภายในมีขนเล็ก ๆ (hair) ที่ไวต่อการสัมผัสมากเมื่อแมลงถูกเข้าจะเกิดการสูญเสียน้ำ จึงจับแมลงไว้ได้ จากนั้นจะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยโปรตีนของแมลงให้เป็นกรดอะมิโนแล้วจึงดูดซึมที่ผิวด้านในของใบ

3) *guard cell movement* เป็นการปิดเปิดของปากใบ (stomata) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต่งของ guard cell ปัจจุบันเชื่อกันว่าการปิดเปิดของปากใบไม่ได้เกิดจากความต่งของ guard cell เท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น

แสงควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชโดยการดูดซับแสง โดยตัวรับแสงซึ่งเรียกว่า Photoreceptor ซึ่งในปัจจุบันมีตัวรับแสงซึ่งเกี่ยวข้องกับ Photomorphogenesis อยู่ 4 ชนิด คือ

1. ไฟโตโครม (Phytochrome) เป็นรงควัตถุซึ่งดูดซับแสงสีแดงและแสง Far Red เป็นตัวรับแสงซึ่งรู้จักมากที่สุดในจำนวนทั้งหมด ไฟโตโครมดูดซับแสงสีน้ำเงินได้ด้วย ในปัจจุบันมีไฟโตโครมอย่างน้อยสองชนิดซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

2. คริปโตโครม (Cryptochrome) เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ยังไม่ได้รับการจำแนกชัด สามารถดูดซับแสงสีน้ำเงิน และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีช่วงคลื่นยาว(UV-A ซึ่งมีความยาวคลื่น 320-400 nm)

3. UV-B photoreceptor เป็นสารประกอบหนึ่งชนิดหรือมากกว่าที่ยังไม่ได้รับการจำแนก เป็นสารที่ไม่ใช่รงควัตถุ ดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงคลื่น 280-320 nm

4. โปรโตคลอโรฟิลล์ เอ (Protochlorophyllide a) เป็นรงควัตถุซึ่งดูดซับแสงสีแดงและน้ำเงิน แล้วถูกรีดิวซ์กลายเป็นคลอโรฟิลล์ เอ

ไฟโตโครม

ไฟโตโครม เป็นระบบของรงควัตถุ ซึ่งพบทั่วไปในพืชชั้นสูงและสาหร่ายมีมวลประมาณ 120,000 คัลตัน พบในปริมาณที่น้อยมากประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด ประกอบด้วยโปรตีนที่มีกลุ่มพรอสทีติก (Prosthetic Group) 1 กลุ่ม ซึ่งเป็นเตตราไพโรลที่เป็นลูกโซ่เปิด (Open-chain tetrapyrrole type) ซึ่งเป็นส่วนที่ดูดแสงได้ ส่วนของ Tetrapyrrole chromophore จะเกาะอยู่กับ Apoprotein ด้วย Covalent bond ไฟโตโครมนั้นสามารถละลายน้ำได้ ตำแหน่งของไฟโตโครมในเซลล์นั้น เข้าใจว่าอยู่ระหว่างไซโทพลาสต์กับผนังเซลล์ และอาจจะอยู่ร่วมกับเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นไฟโตโครมจึงสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ในการยอมให้สารเข้าออกได้

ไฟโตโครมเป็นรงควัตถุซึ่งมองไม่เห็น แต่ Hendricks พบว่ามีกระบวนการ Photomorphogenesis เป็นจำนวนมาก ซึ่งเกิดเมื่อพืชได้รับแสงช่วงคลื่นของแสงสีแดง จึงทำให้ศึกษาหารงควัตถุชนิดนี้จนพบรงควัตถุชนิดนี้ และทราบคุณสมบัติว่าเป็น Chromoprotein ซึ่งในการศึกษาหารงควัตถุชนิดนี้มักจะศึกษาในพืชซึ่งเจริญในที่มืด (Etiolate seeding) เพราะไม่มีปริมาณของรงควัตถุคลอโรฟิลล์มารบกวน

เมื่อไฟโตโครมได้รับแสงสีแดงและแสง Far Red คาดว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุล นอกจากนั้นอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลง Conformation และ Configuration ของโปรตีนในระหว่างการรับแสงที่ต่างกันด้วย แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างทางเคมีของไฟโตโครมซึ่งได้รับแสงสีแดง (Pfr) นั้นยังสรุปไม่ได้แน่ชัดนัก อาจจะเป็นไอโซเมอร์ (Isomer) ของ Pr ซึ่งมี Conformation และ Configuration ซึ่งใกล้เคียงกันมาก และอาจจะมีปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นที่วงแหวน A การสังเคราะห์ไฟโตโครมนั้นยังไม่ทราบแน่ชัดนักว่าสังเคราะห์อย่างไร แต่ในเบื้องต้นคาดว่าเกิดจากการสังเคราะห์ Porphyrin ไฟโตโครมที่สามารถดูดแสงสีแดงซึ่งมีความยาวคลื่น 660 nm อยู่ในรูป Pr ซึ่งเป็นรูปที่สังเคราะห์โดยพืช เมื่อได้รับแสงสีแดง Pr จะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเป็น Pfr ซึ่งจะดูดซับแสง Far Red ซึ่งมีความยาวคลื่น 730 nm รูป Pr ของไฟโตโครมเป็นรูปที่ค่อนข้างอยู่ตัว ส่วน Pfr นั้นสลายตัวง่าย ในพืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด เช่น กะหล่ำดอก Pfr จะสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็น Pr ได้ในขณะที่อยู่ในที่มืดเรียกว่าเกิด "Dark Reversion" แต่ปรากฏการณ์นี้ยังไม่พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และกระบวนการนี้อาจจะถูกระงับโดยอุณหภูมิต่ำและอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นกับความเป็นกรดด่างของเซลล์

Pfr นั้นเมื่อได้รับแสง Far Red จะเปลี่ยนกลับเป็น Pr อย่างรวดเร็วภายในเวลา 20-30 มิลลิวินาที (milliseconds) ส่วน Pr จะกลับเป็น Pfr เมื่อได้รับแสงสีแดงเป็นเวลาหลายวินาที

ความสมดุลของไฟโตโครมทั้งสองรูปคือ Pr และ Pfr จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแสง และไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานจากแสง โดยทั่วไปแสงสีแดงจะทำให้เกิด Pfr ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และ Pr 20 เปอร์เซ็นต์

Pfr เป็นรูปที่ทำให้พืชเกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้ และเป็นรูปที่สามารถถูกเมตาโบไลซ์ให้เปลี่ยนรูปหรือถูกทำลายได้และไม่อยู่ตัว การทำลาย Pfr คือ กระบวนการที่เกิดการสลายของ Pfr โดยไม่มีการสร้าง Pr ใหม่ ขณะที่ Pfr หายไปนี้ ทำให้ปริมาณของไฟโตโครมรวมลดลงไประยะหนึ่ง แล้วจึงมีปริมาณเพิ่มเท่าเดิมเมื่อมีการสังเคราะห์ขึ้นใหม่

Pfr จึงเป็นรูปที่ทำให้เกิดกิจกรรมได้ ในขณะที่ Pr ไม่มีคุณสมบัตินี้ หรือถ้าพิจารณาในอีกด้านหนึ่ง Pr จะทำหน้าที่เป็นสารชะงักกิจกรรมซึ่งถูกทำลายได้โดยการเปลี่ยนเป็น Pfr Pr จะอยู่ตัวในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง (Thermodynamic Stable)

เนื่องจากไฟโตโครมที่สังเคราะห์ในพืชจะสังเคราะห์ขึ้นมาในรูปของ Pr ดังนั้น Pr จึงปรากฏอยู่ในพืชเสมอ และ Pfr จะปรากฏขึ้นเมื่อพืชได้รับแสงสีแดงเท่านั้น

การค้นพบไฟโตโครมนี้เกิดขึ้นเมื่อมีการศึกษาการงอกของเมล็ดผักกาด ซึ่งมีความไวต่อแสง เมล็ดเหล่านี้จะงอกได้ดีที่ 25 องศาเซลเซียส โดยที่ได้รับแสงเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ในขณะนั้น โดยพบว่าแสงสีแดงซึ่งมีความยาวคลื่น 660 nm จะกระตุ้นการงอกได้สูงที่สุด ส่วนแสง Far Red จะระงับการงอกของเมล็ด เมื่อให้แสงสีแดงสลับกับ Far Red จะพบว่าแสงที่ได้รับครั้งสุดท้ายเท่านั้นที่มีผลกระทบต่อกรงอกของเมล็ด และผลข้างเคียงของแสงที่ได้รับก่อนหน้านั้นได้ต่อมาพบว่าไฟโตโครมยังทำให้เกิดปรากฏการณ์อีกหลายชนิดขึ้นในพืช ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งหมดจะเกิดจากแสงสีแดงและแสง Far Red จะให้ผลในทางตรงกันข้าม ปรากฏการณ์ที่เกิดจากแสงสีแดงและแสง Far Red นั้นเกี่ยวข้องกับไฟโตโครมดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นการเจริญเติบโตที่เกี่ยวข้องกับไฟโตโครมจึงเรียกว่า Photomorphogenesis

กลไกการทำงานของไฟโตโครม

การควบคุมของไฟโตโครมต่อการเกิดกระบวนการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดเกี่ยวข้องกับยีนส์ซึ่งเมื่อยังไม่ได้รับแสงจะไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูล ตัวอย่าง เช่น การปรากฏของขนที่เซลล์ผิว และการเกิดแอนโทไซยานินขึ้นในส่วนใต้ใบเลี้ยงของมัสตาดนั้น ควบคุมโดยไฟโตโครมและเกี่ยวข้องกับยีนส์ซึ่งจะไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูล หากดินอ่อนของมัสตาดไม่ได้รับแสงยิ่งไปกว่านั้น การถ่ายทอดข้อมูลของยีนส์ยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์เอนไซม์และกิจกรรมของเอนไซม์ซึ่งจากการศึกษาพบว่าไฟโตโครมควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนได้ทั้งในช่วง Transcription และ Translationหรืออาจจะควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ซึ่งปรากฏอยู่ในเซลล์แล้วก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่อไฟโตโครมของพืชจะเกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการยอมให้สารผ่านเข้าออกของเยื่อหุ้มเซลล์ (Change in Membrane Permeability)

ในใบของพืชหลายชนิด เช่น *Mimosa pudica* และ *Albizia julibrissin* แสดงอาการเคลื่อนไหวให้เกิดการหลับของใบได้ การเคลื่อนไหวดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนความต่งภายในเซลล์ การเคลื่อนไหวดังกล่าวควบคุมโดยไฟโตโครมโดยแสง Far Red จะระงับการเคลื่อนไหวของใบ และแสงสีแดงจะให้ผลในทางกลับกัน โดยผลของแสง Far Red จะแสดงให้เห็นภายใน 10 นาที การเปลี่ยนแปลงความต่งภายในเซลล์เกิดจากการเคลื่อนที่ของ K^+ เข้าและออกจากเซลล์ นั่นก็คือ มีการเปลี่ยนคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ การได้รับแสงสีแดงของปลายรากกล้วยไม้ และข้าวบาร์เลย์จะทำให้เกิดประจุมากขึ้นที่ผิวของรากและปรากฏการณ์นี้จะกลับสู่ปกติเมื่อได้รับแสง Far Red ตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว ข้างนี้เห็นว่าทรดตอบสนองต่อไฟโตโครมของพืชเกิดในเวลาสั้นมากภายในเวลา 2-3 นาทีเท่านั้น ซึ่งเป็นระยะเวลาซึ่งสั้นเกินกว่าจะสังเคราะห์โปรตีนได้ ดังนั้นจึงมักกล่าวกันว่ากลไกในการทำงานของไฟโตโครมในขั้นต้นคือการเปลี่ยนคุณสมบัติในการยอมให้สารเข้าออกของเยื่อหุ้มเซลล์ อย่างไรก็ตามแม้ว่ากลไกการทำงานขั้นต้นของไฟโตโครมคือการเปลี่ยนคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ แต่ก็มีหลักฐานเด่นชัดว่าผลิตภัณฑ์ที่สองของไฟโตโครม คือ การควบคุมระบบเอนไซม์ เช่น การที่ตั้ผลของของข้าวโอ๊ตได้รับแสงสีแดงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ADP ให้เป็น ATP และในเนื้อเยื่อชนิดอื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับของ NADP ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะถูกกระตุ้นโดยแสง Far Red ยิ่งไปกว่านั้นแสงสีแดงจะกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เพิ่มระดับของเอนไซม์ ฟีนีลอะลานีน แอมโมเนียไลเอส (Phenylalanine Ammonia Lyase) ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์เอ็นไอโซซานีนในต้นอ่อนของ มีสตาดีนกรณีนีแสงสีแดงกระตุ้นให้เอ็นไอโซซานีนที่มีอยู่เดิมเกิดมีกิจกรรมที่มากกว่าที่จะสังเคราะห์เอ็นไอโซซานีนใหม่

2.4 การสังเคราะห์ด้วยแสง



รูปที่ 2.8 แสดงการสังเคราะห์แสงของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการสร้างอาหารโดยอาศัยพลังงานจากแสง สิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารเองได้ เรียกว่า Autotrophs ได้แก่ พืช สาหร่าย และแบคทีเรียบางชนิด ส่วนสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ เรียกว่า Heterotrophs ซึ่งต้องกินพืชเป็นอาหาร

2.4.1. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

สมการของการสังเคราะห์ด้วยแสง



ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

2.4.1.1 Light reaction ขั้นตอนนี้จะใช้ H_2O เป็นวัตถุดิบ และให้ผลผลิตคือ ATP, NADPH H^+ , O_2 เกิดขึ้นที่ thylakoid หรือ grana ของคลอโรพลาสต์ เนื่องจากมีระบบรับแสง (photosystem I และ II) และตัวรับอิเล็กตรอนอื่นๆ อยู่

2.4.1.2 Dark reaction หรือ Calvin cycle (ค้นพบโดยนาย Calvin) ขั้นตอนนี้มีการตรึง CO_2 จึงเรียกว่า CO_2 fixation ผลผลิตที่ได้ คือ น้ำตาล เกิดขึ้นที่ stroma ของคลอโรพลาสต์ โดยผลผลิตจาก light reaction คือ ATP กับ NADPH + H^+ จะถูกนำมาใช้ใน Calvin cycle

2.4.2. ปฏิกริยาใช้แสง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานเคมี ในรูปของ ATP กับ NADPH

2.4.2.1 แสง มีลักษณะเป็นทั้งคลื่น และอนุภาคที่เรียกว่า photon แต่ละ photon จะมีพลังงาน ผกผันกับความยาวช่วงคลื่น (wavelength) ที่ช่วงคลื่นสั้น จะมีพลังงานมากกว่าที่ช่วงคลื่นยาว แสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (visible light) มีความยาวช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 380 - 750 nanometer

เมื่อโมเลกุลที่สามารถดูดซับแสง เช่น คลอโรฟิลล์ เมื่อได้รับแสง อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นจาก ground state ไปสู่ excited state ที่ระดับนี้อิเล็กตรอนอยู่ไม่นานก็จะกลับมากี ground state โดยจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อน รูปการเปล่งแสง fluorescence หรืออาจมีการถ่ายทอดพลังงานไปยังรงควัตถุอื่นๆ เพื่อจะส่งผ่านไปยังโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (photochemical reaction) หรือ reaction center ซึ่งเป็นโมเลกุลที่สามารถส่งอิเล็กตรอนของมัน ไปยังตัวรับตัวแรกได้ (primary e- acceptor)

2.4.2.2 หน่วยรับแสง โมเลกุลที่ทำหน้าที่รับแสงจะอยู่เป็นหน่วยหรือเป็นกลุ่มที่เรียกว่า photosystem ซึ่งมี 2 ระบบ คือ PS I และ PS II ทั้งสองระบบประกอบด้วย 200 - 300 โมเลกุลของ

คลอโรฟิลและคาโรทีนอยด์ ซึ่งเรียกว่า antenna pigment ซึ่งจะทำหน้าที่รับพลังงานแสง และส่งต่อไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง จนกระทั่งถึง reaction center ซึ่งเป็นโมเลกุลของคลอโรฟิลเอ 2 โมเลกุล นอกจากนี้ในระบบแสงยังมีตัวรับอิเล็กตรอนตัวแรกอยู่ด้วย

PS I จะมี reaction center เป็น โมเลกุลคลอโรฟิล เอ ที่เรียกว่า P700 เนื่องจากดูดแสงที่มีความยาวช่วงคลื่น 700 nm. ได้ดีที่สุด ขณะที่ PS II จะเรียกว่า P680 เนื่องจากดูดแสงที่มีความยาวช่วงคลื่น 680 nm. ได้ดีที่สุด การที่ P700 แตกต่างกับ P680 เพราะคลอโรฟิล เอ ทั้งสองระบบจับกับโปรตีนที่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้มีการดูดแสงได้ต่างกัน

คลอโรฟิล	เอ	จะรับแสงได้ดีในช่วงคลื่น	420	,	660	nm.
คลอโรฟิล	บี	จะรับแสงได้ดีในช่วงคลื่น	435	,	642	nm.
คาโรทีนอยด์		จะรับแสงได้ดีในช่วงคลื่น	425	,	470	nm.

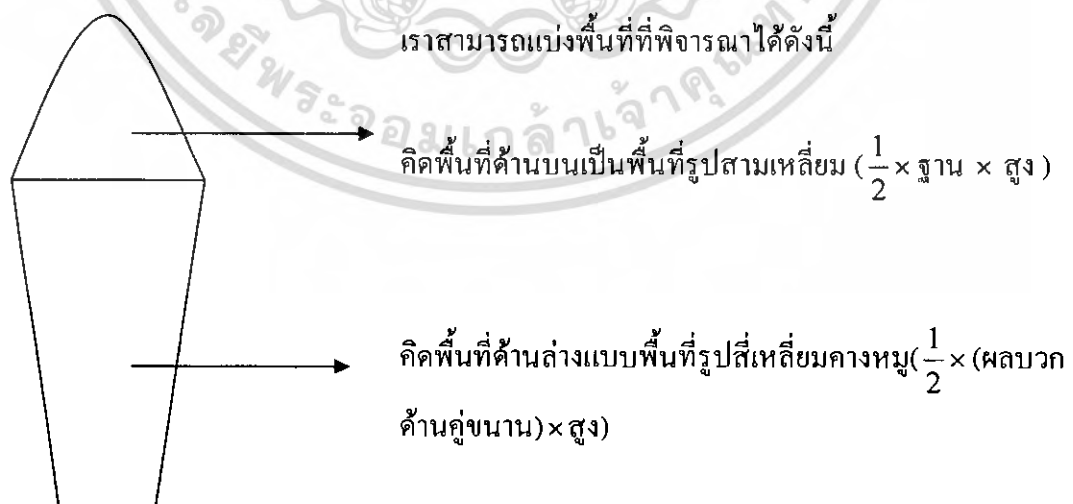
พลังงานแสงอาทิตย์ มี หน่วยเป็น ลูเมน(lumen) แต่ถ้ามีพื้นที่ในการรับแสง ได้หน่วยใหม่เป็น ลักซ์(lux)มีสูตรว่า

$$\text{Lux} \sim \text{Watt} / \text{m}^2$$

แต่เนื่องจาก ใบของไมยราบมีขนาดเล็ก เราจึงเปลี่ยนหน่วย จาก Watt / m^2 เป็น $\text{Watt} / \text{mm}^2$ แทน และสามารถนำมาหาค่าพลังงานในการรับแสงต่อพื้นที่ได้ว่า

$$\text{Joule} \sim \text{Watt} * \text{second}$$

2.4.3 การคำนวณหาพื้นที่การรับแสงของใบไมยราบ



รูปที่ 2.9 ใบของไมยราบที่ใช้ในการรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีและหลักการเคลื่อนที่ของต้นไม้ราบแบบสถิต

เนื่องจากต้นไม้ราบเมื่อถูกกระตุ้น ก้านและใบจะมีการเคลื่อนไหวหักก้านลง ซึ่งจะมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.5.1 จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity : CG)

หากสังเกตวัตถุต่าง ๆ ที่เป็นของแข็งและมีรูปทรง การวางวัตถุบนพื้นระนาบจะมีลักษณะสมดุลได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและแนวของจุดศูนย์กลางถ่วง จุดศูนย์กลางถ่วง คือจุดที่เหมือนตำแหน่งที่รวมของน้ำหนักของวัตถุทั้งก้อน



รูปที่ 2.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของจุดศูนย์กลางถ่วงเมื่อมีการเคลื่อนที่

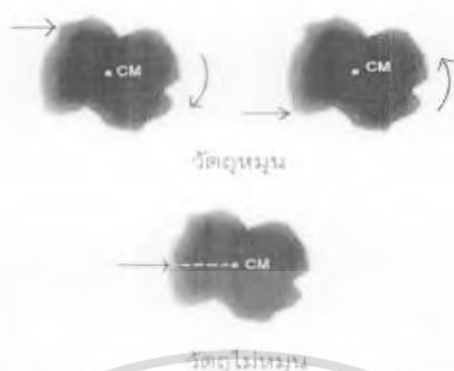
วัตถุในรูป A วางอยู่ในลักษณะสมดุล เพราะแนวของ CG ที่ตั้งตั้งลงสู่พื้นโลก อยู่ในกรอบฐาน ถ้าโยกวัตถุรูป A ให้อยู่ในตำแหน่ง B มีแนวของจุดศูนย์กลางถ่วง CG ยังอยู่ในฐาน วัตถุจะกลับมามีตำแหน่งเดิมตามรูป A ถ้าโยกวัตถุรูป A ให้อยู่ในตำแหน่ง C มีแนวจุดศูนย์กลางถ่วง CG เลยออกจากฐานวัตถุจะล้ม

สรุปได้ว่าวัตถุรูปร่างใดก็ตาม ถ้าเขย่งแล้ววัตถุหยุดนิ่งสมดุลย์ของวัตถุนั้นจะเกิดขึ้นได้ต้องให้แนว CG อยู่ในแนวเดียวกับเชือก

2.5.2 จุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass : CM)

เป็นจุดที่เสมือนเป็นที่รวมมวลของวัตถุทั้งก้อนนั้น โดยที่ CM อาจอยู่นอกเนื้อวัตถุนั้นได้ เช่น รูปโดนัท โดยปกติวัตถุบางชนิดมีมวลภายในหนาแน่นไม่เท่ากันตลอดทั้งเนื้อสาร CM จึงเป็นเสมือนที่เป็นจุดรวมมวลของวัตถุทั้งก้อน ถ้าหากใช้แรงกระทำต่อวัตถุ โดยให้แนวตรงผ่านจุด CM จะทำให้วัตถุนั้นไม่หมุน แต่ถ้าหากแรงที่กระทำไม่ผ่าน CM วัตถุจะหมุนในทิศทางตามแรงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงการเปลี่ยนแปลง Center of Mass ของวัตถุ

2.5.3 พลังงานศักย์ (P.E.)

เนื่องจากต้องการประสิทธิภาพของพลังงานในรูปแบบสถิตและพลศาสตร์ จึงทำการศึกษา ทฤษฎีของพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการหุบของดิน ไมยราบ

2.5.3.1. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (E_p) เป็นพลังงานที่มีอยู่ในวัตถุที่มีความยืดหยุ่น เช่น หนังสติ๊ก สปริง ฯลฯ

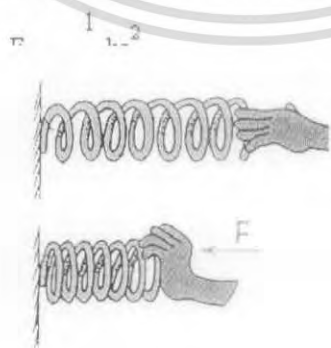
$$\text{แรงยืดหยุ่น } F = ks$$

F = แรงยืดหยุ่นสปริง

k = ค่าคงตัวของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตัน/เมตร

s = ระยะยืดของสปริง มีหน่วยเป็น เมตร

E_p = พลังงานศักย์ยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น จูล



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะพลังงานศักย์ยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง (E_p) มีขนาดเท่ากับงานที่ใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งความสูงของวัตถุจากพื้นล่าง

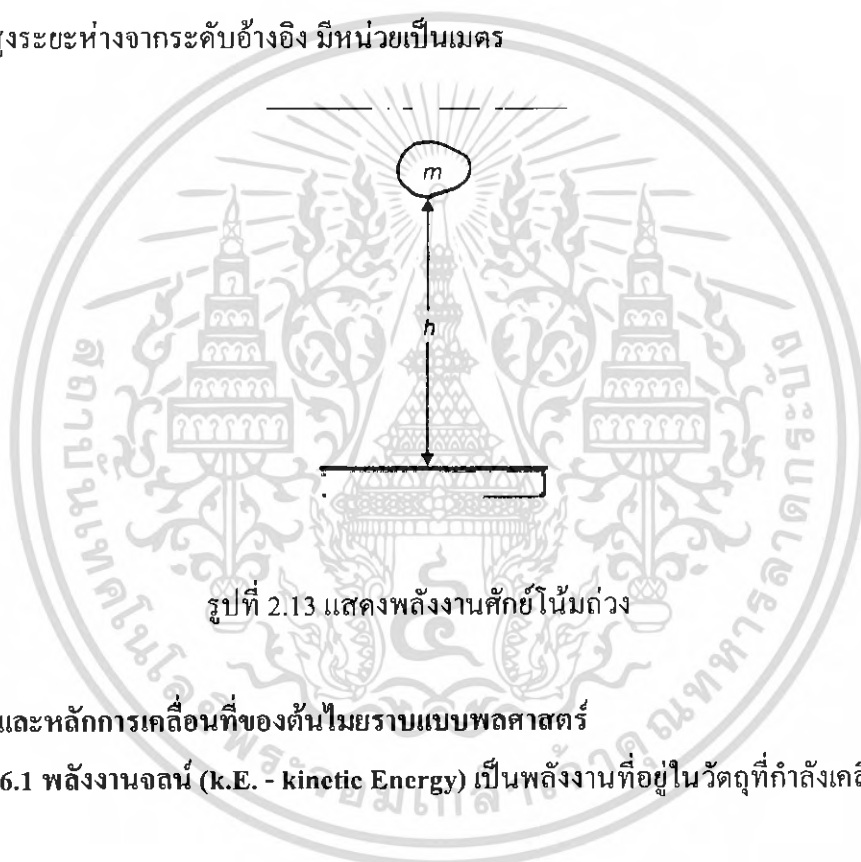
$$E_p = mgh$$

E_p = พลังงานศักย์โน้มถ่วง มีหน่วยเป็นจูล

m = มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

g = ค่าแรงโน้มถ่วง

h = ความสูงระยะห่างจากระดับอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตร



รูปที่ 2.13 แสดงพลังงานศักย์โน้มถ่วง

2.6 ทฤษฎีและหลักการเคลื่อนที่ของด้นไมยราบแบบพลศาสตร์

2.6.1 พลังงานจลน์ (k.E. - kinetic Energy) เป็นพลังงานที่อยู่ในวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่

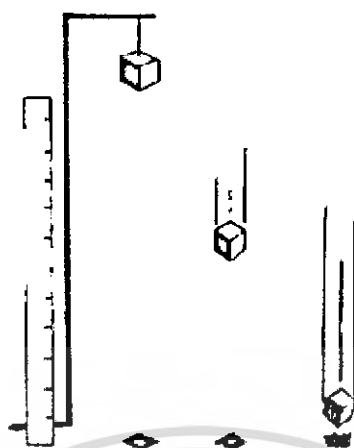
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

E_k = พลังงานจลน์ที่เปลี่ยนไปมีหน่วยเป็น จูล (ตอนปลาย - ตอนต้น)

m = มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

v = ความเร็วของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

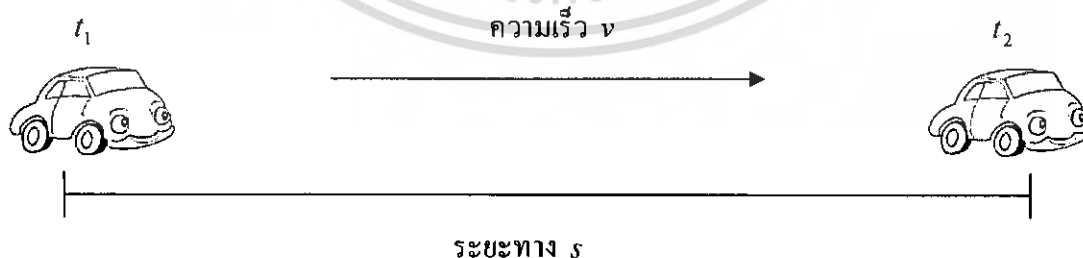


รูปที่ 2.14 แสดงพลังงานศักย์เปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานจลน์

2.6.2 ความเร็ว (v)

คืออัตราของการเคลื่อนไหวนเทียบเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง แสดงโดยค่าของระยะทาง (d) เคลื่อนที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (t)

ความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์ ขณะที่ อัตราเร็วที่เป็นปริมาณสเกลาร์ซึ่งมีปริมาณเท่ากันแต่มีทิศทางของการเคลื่อนไหวนเพิ่มเข้ามา ความเร็วจึงกล่าวได้ว่าเป็นส่วนประกอบในด้านขนาดของอัตราเร็ว ความเร็วนิยมใช้เครื่องวัดความเร็ว หรือ สปีดมิเตอร์ ในการวัด สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วจะเรียกว่าความเร่ง หน่วยของการวัดความเร็ว เมตรต่อวินาที (สัญลักษณ์นิยมเขียนภาษาอังกฤษว่า m/s นิยมใช้ในฟิสิกส์ เป็นหนึ่งในหน่วย เอสไอ(S.I.unit)ซึ่งชื่อเต็มคือ International System of Unit)ซึ่งใช้ในปัจจุบัน กิโลเมตรต่อชั่วโมง (สัญลักษณ์ km/h หรือ $กม./ชม.$) ไมล์ต่อชั่วโมง (สัญลักษณ์ mph)



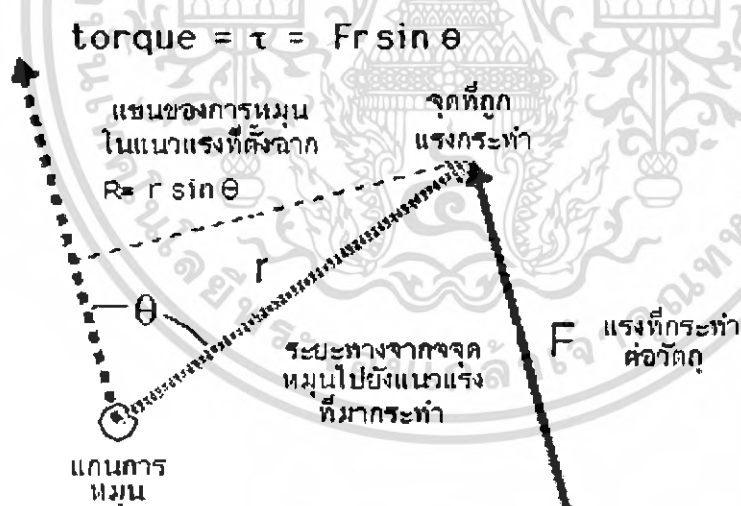
รูปที่ 2.15 แสดงการวัดความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ทอร์ก

โมเมนต์ของแรง หรือโมเมนต์ ถือได้ว่าเป็นชื่อที่เรียกปริมาณเดียวกัน คือ ปริมาณที่วัดแนวโน้มที่จะทำให้วัตถุหมุนรอบจุด (หรือรอบแกน ถ้าคิดเฉพาะองค์ประกอบ) ทอร์กเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยคำจำกัดความของทอร์ก คือ ผลคูณเวกเตอร์ระหว่าง เวกเตอร์ชี้ตำแหน่ง ของจุดที่ถูกแรงถูกกระทำ (พิจารณาจากจุดหมุนไปยังจุดดังกล่าว) และแรงที่กระทำ ($= R \times F$). ตามคำจำกัดความของการครอสเวกเตอร์ ขนาดของทอร์กเท่ากับขนาดของ R คูณกับขนาดของ F คูณด้วยค่า $\sin\theta$, θ คือมุมระหว่างเวกเตอร์ R กับ F ($= R F \sin\theta$). $R \sin\theta$ เท่ากับขนาดของระยะทาง d ซึ่งเป็นระยะระหว่างแกนหมุนกับแนวแรงกระทำ ($R \sin\theta = d$ ตามรูป). ระยะทาง d นี้ถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "แขนของแรง." ตอนนี้ทอร์กสามารถเขียนเป็นสูตรได้ว่า $\tau = Fd$ (ทอร์กเท่ากับผลคูณระหว่างแรงกับแขนของแรง) ทอร์กสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "แรงบิด" เนื่องจากมันเป็นผลของการบิดหมุนของวัตถุเพราะแรงภายนอก

โดยนิยามแล้ว ปริมาณนี้เป็นปริมาณเวกเตอร์ $T = R \times F$ (ผลคูณเวกเตอร์)



รูปที่ 2.16 แสดงวิธีการวัดค่าทอร์กของวัตถุหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

เป็นปริมาณที่ต่อต้านการหมุนของวัตถุ นั่นคือ ถ้า โมเมนต์ความเฉื่อยมาก ก็ต้องใช้ทอร์คมากในการทำให้วัตถุหมุนมีขนาดเท่ากับผลคูณของมวลกับระยะทางกำลังสองจากจุดหมุนถึงมวล โมเมนต์ความเฉื่อย (I) คือปริมาณที่บอกสมบัติในการต้านการเปลี่ยนสภาพการหมุนของวัตถุ มีหน่วย(kg.m^2) โมเมนต์ความเฉื่อย $I = \Sigma mr^2$

$$I = mr^2$$


The diagram shows a horizontal line representing a distance r from a pivot point (indicated by a small circle) to a mass m (represented by a larger circle). The text 'แกนหมุน' (pivot) is written below the pivot point.

รูปที่ 2.17 แสดงภาพ โมเมนต์ความเฉื่อย

2.6.5 ประสิทธิภาพของพลังงาน

การหาพลังงานจะต้องหาประสิทธิภาพเพื่อทราบว่าระบบมีคุณภาพมากแค่ไหน โดยหาพลังงานของเอาต์พุตเทียบกับอินพุตนั้นคือพลังงานรับแสงสว่างกับพลังงานเชิงกลที่ให้ออกมา ซึ่งจะได้ว่า

$$\frac{\text{พลังงานเชิงกล}}{\text{พลังงานรับแสง}} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับงานในเบื้องต้นได้มีขั้นตอนเป็นลำดับดังนี้ คือ

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างจากการเพาะปลูก

ทำการเพาะปลูกต้นไมยราบจากเมล็ด

ใส่เมล็ดเพาะลงในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยเพาะปลูกให้เป็นระเบียบแบบเมตริกให้มีระยะห่างเท่าๆ กันเพื่อให้ต้นมีลักษณะที่เหมือนกัน



รูปที่ 3.2 แสดงต้นอ่อนของไมยราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงต้นของไมยราบเมื่อเติบโตเต็มที่

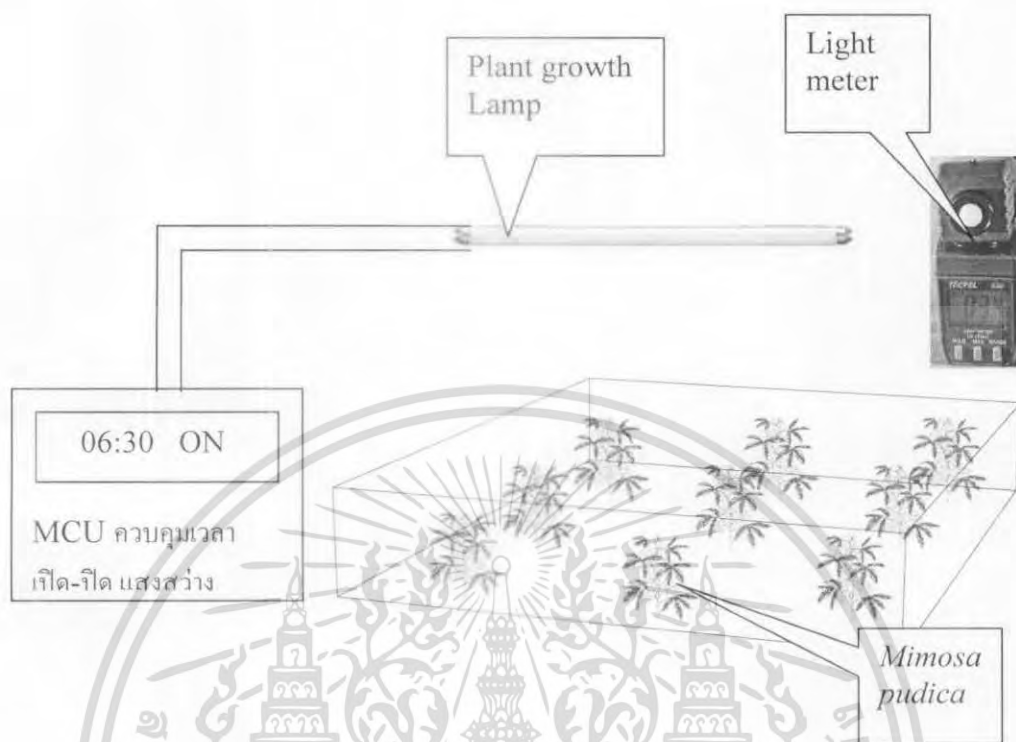
3.1.2 การเตรียมตัวอย่างโดยให้แสงสว่างกับต้นไมยราบ

นำมาปลูกในภาชนะปิดที่มีการควบคุมปริมาณแสงเท่ากับค่าควบคุมเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์ในตอนเช้าและปิดในตอนกลางคืน โดยเลือกความเข้มแสงที่เหมาะสมที่จะทำให้ต้นไมยราบจากการวัดความเข้มแสงเทียบเท่ากับแสงอาทิตย์จาก Light Meter มีหน่วยเป็น lux ให้มีค่าของความเข้มแสงเพียงพอกับความต้องการของไมยราบ และทำซ้ำๆ หลายครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย ต่อมาทำการควบคุมปริมาณน้ำกับความชื้น ให้ต้นไมยราบสามารถเติบโตได้อย่างเต็มที่



รูปที่ 3.4 แสดงการวัดความเข้มแสงสว่างต้นกำเนิดพลังงานของไมยราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

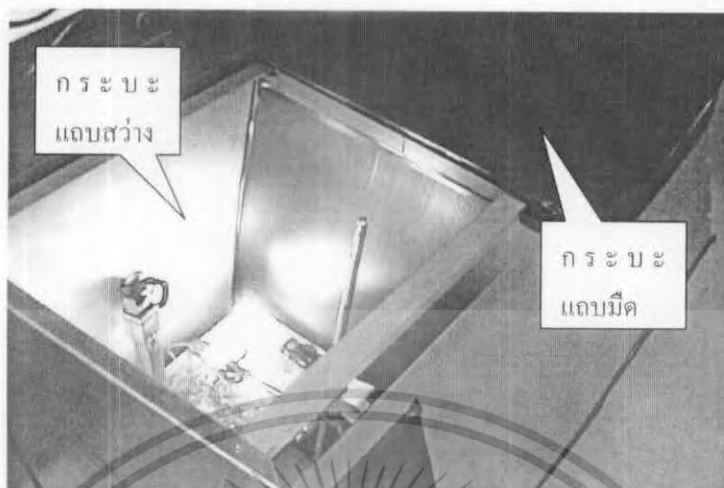


รูปที่ 3.5 กระบวนการควบคุมการเจริญเติบโตแบบอัตโนมัติและแสงสว่างของต้นไมยราบ

3.1.3 การเตรียมตัวอย่างในกระบอกควบคุมแสงสว่างกับต้นไมยราบ

ในการเตรียมตัวอย่างนี้จะทำการทดลองโดยทำการกระตุ้นไมยราบในแบบสว่างและมีด เนื่องจากต้องการทราบว่าแสงมีผลอย่างไรกับต้นไมยราบ โดยการแบ่งกระบอกออกเป็น 2 ข้าง ข้างหนึ่งเป็นการทดลองแบบสว่าง อีกข้างเป็นการทดลองแบบมืด ซึ่งในขณะยังไม่ทำการทดลองจะให้มีการควบคุมปริมาณแสงเท่ากันทั้งสองด้วยตัวควบคุมเวลา ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตอนเช้า และปิดในตอนกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงชุดทดลองโม่ขยาบในกล่องเปิดสว่างและมืด

3.2 การกระตุ้นโม่ขยาบด้วยกรณีต่างๆ

3.2.1 การกระตุ้นด้วยการสัมผัส

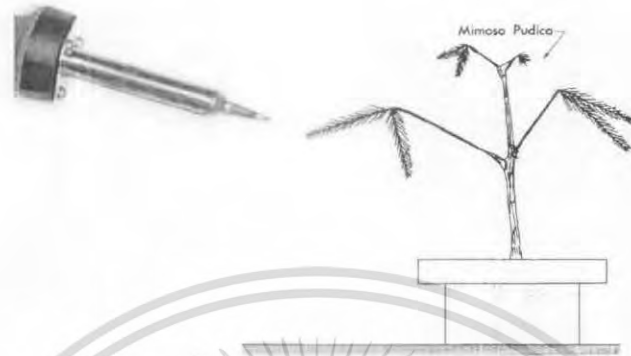


รูปที่ 3.7 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบโม่ขยาบด้วยการสัมผัส

ทำการทดลองโดยการสัมผัสต้น โม่ขยาบด้วยนิ้วมือหรือปลายปากกาแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การกระตุ้นโดยใช้ความร้อน



รูปที่ 3.8 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยความร้อน

ทำการทดลองโดยนำหัวแร้งมาจ่อที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของ pulvinus และบริเวณด้านบนและด้านล่างของ petiole โดยจ่อให้ใกล้กับต้นไมยราบมากที่สุด สังเกตผลการทดลองที่ได้และบันทึกเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น

3.2.3 การกระตุ้นด้วยแรงลม



รูปที่ 3.9 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยแรงลม

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องเป่าลมให้ลมพัดและลมเป่าที่ตำแหน่งต่างๆของต้นไมยราบโดยไม่ให้ท่อลมสัมผัสกับส่วนใดๆของต้นไมยราบ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การกระตุ้นด้วยลูกเหล็ก

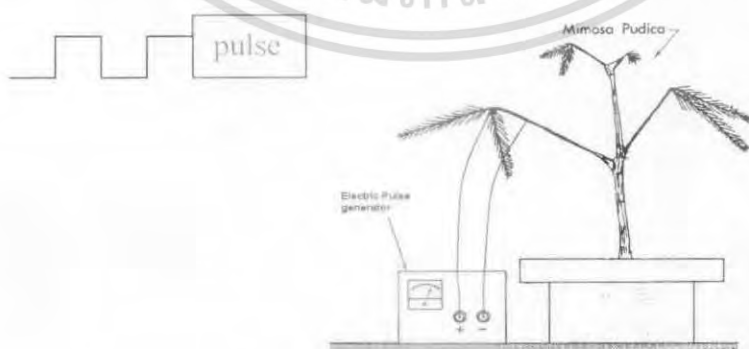


รูปที่ 3.10 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยลูกเหล็ก

เนื่องจากเราต้องการทราบแรงที่กระทำกับต้นไมยราบโดยละเอียด จึงต้องทำการทดสอบใช้ลูกเหล็กเล็กๆ โดยให้ลูกเหล็กหล่นบนใบ ที่ละใบเพื่อทดสอบการใช้แรง ว่าแรงแค่นั้นบ้างที่สามารถทำให้ใบหุบได้เต็มที่ และ บริเวณที่โดนลูกเหล็กบริเวณใดที่ทำให้ใบไมยราบหุบลงแบบเต็มที่และไมยราบเองยังนำแรงไปหุบก้านลงด้วยทำให้ได้พลังงานอย่างเต็มที่ แล้วทำการทดลองหลายๆครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์

ทำการทดลองโดยใช้ลูกตุ้มเหล็กขนาดเล็กน้อยให้ตกลงที่ใบของต้นไมยราบเพื่อหาแรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้ก้านใบไมยราบหักลงโดยใช้ Load cell ในการวัดแรง โดยชุดทดลองมีการวัดค่าของแสงที่ให้กับต้นไมยราบด้วย

3.2.5 การกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 3.11 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 เมื่อกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยสัญญาณแล้วทำให้ก้านใบเกิดการหุบลง

เนื่องจากต้องการกระตุ้นด้วยค่าที่แม่นยำต้องใช้วิธีการที่สามารถสร้างแรงให้คงที่ได้จึงใช้การกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้าแทน

และเนื่องจากต้นไม้มีความต้านทานสูงจึงต้องคำนวณหาค่าความต้านทานโดยวัดค่าความต้านทานของใบไม้แต่ละชนิด

ทำการป้อนสัญญาณกระแสให้กับช่วงก้าน(Petiole)ของไมยราบ โดยทำการกระตุ้นบริเวณช่วงบนของก้านจุดเดียวกันในทุกๆต้นทำการกระตุ้นซ้ำๆ ด้วยการเปลี่ยนค่าแรงดันเพื่อหาค่าแรงดันที่น้อยที่สุดที่สามารถกระตุ้นให้ก้านใบไมยราบหุบลงได้ ซึ่งการกระตุ้นด้วยสัญญาณนั้นเนื่องจากไม่ต้องการให้แรงดันทำให้ไอออนในดินไมยราบเคลื่อนที่ เพราะจะทำให้ก้านหุบลงก่อนที่เราจะให้สัญญาณ จึงต้องใช้วงจร Voltage to Current Converter เพื่อกระตุ้นที่ก้านเป็นสัญญาณส่งออกไปได้

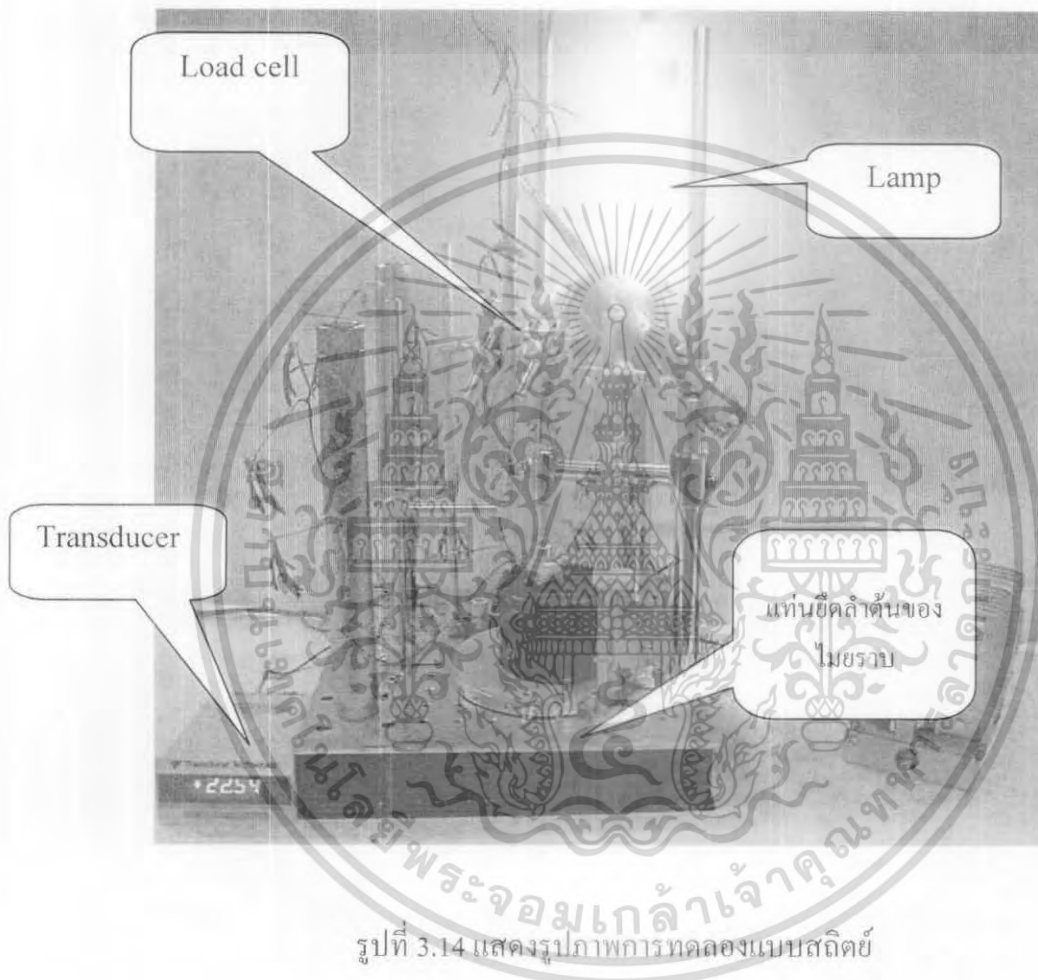


รูปที่ 3.13 วงจร Voltage to Current Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลองแบบสถิตย์ (Static)

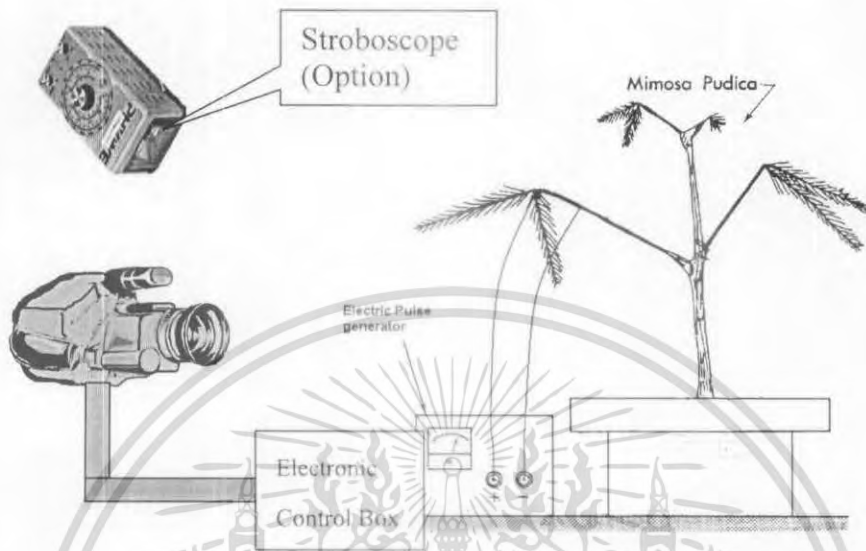
การทดลองแบบสถิตย์จะนำต้นไมยราบที่สมบูรณ์ มาทดลอง ทำการป้อนสัญญาณ (Electric Pulse generator) เข้าไปที่บริเวณก้านช่วงบนของต้นไมยراب ขณะที่ก้านหุบตัวลงทำการวัดค่าที่ได้จาก transducer และ เก็บค่าไว้ใน Microcontroller



รูปที่ 3.14 แสดงรูปภาพการทดลองแบบสถิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดลองแบบพลศาสตร์ (Dynamic)

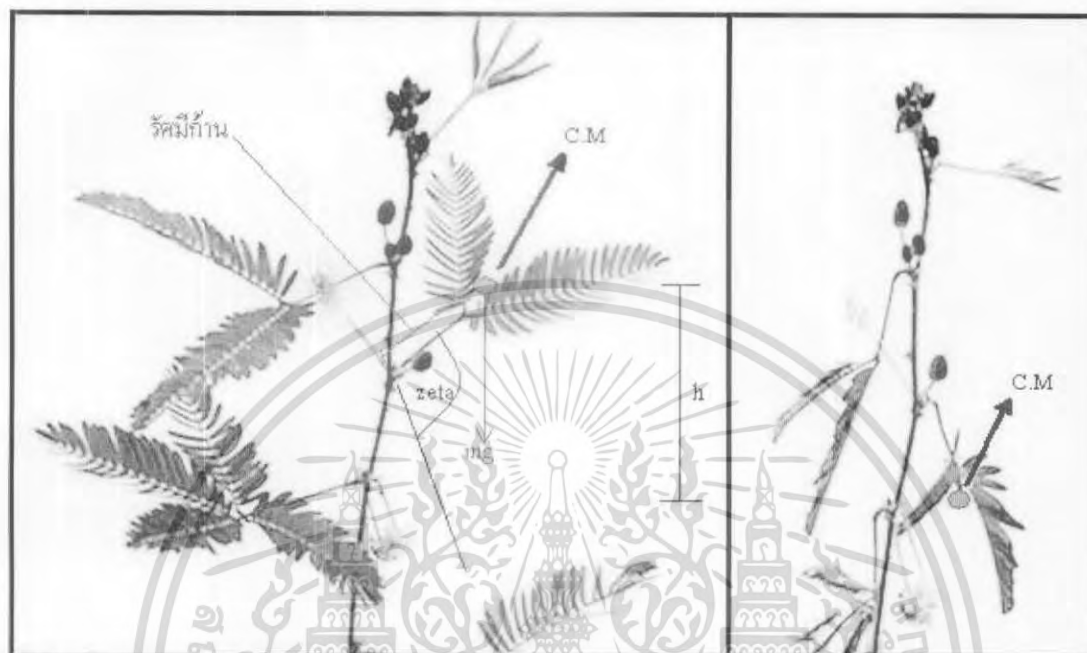


รูปที่ 3.15 แสดงรูปภาพการทดลองแบบพลศาสตร์

การทดลองแบบจลน์จะนำต้นไมยราบที่สมบูรณ์ มาทดลอง ทำการป้อนสัญญาณ (Electric Pulse generator) เข้าไปที่บริเวณก้านช่วงบนของต้นไมยราบ ขณะก้านไมยราบทำการหุบตัวลงแล้ว ก็ถ่ายภาพที่ก้านกำลังหุบลงเพื่อบันทึกค่าความเร็วของก้านไมยราบ และเทียบกับความเร็วที่วัดได้จากเครื่อง Stroboscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 วิธีวัดหาพลังงานและทอร์กของต้นไมยราบ



รูปที่ 3.16 แสดงการวัดหาพลังงานและทอร์กของต้นไมยราบ

การวัดหาพลังงานจากแรงของก้านใบไมยราบที่ตกลงมาจากการกระตุ้นโดยก้านใบจะตกลงมาตามน้ำหนัก mg ของก้านใบไมยราบ กับความสูงของการตกลงมาเป็นพลังงานศักย์

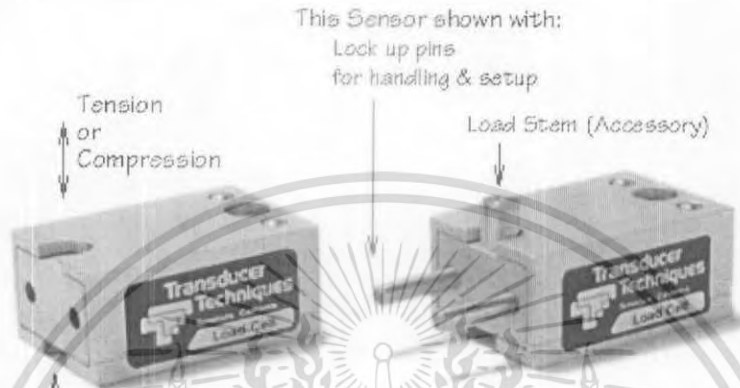
สำหรับการวัดหาทอร์กจะวัดจาก น้ำหนัก mg กับจุดหมุนของก้านใบบริเวณ pulvinus ถึง center of mass ได้รัศมี R ในการคำนวณ $T = R \times mg$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 Load cell

Load cell สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด 30 g (0-30 g) รองรับทั้งการกดและ ดึง หัววัดมี output แบบ linear



รูปที่ 3.17 แสดง Load cell

3.5.2 transducer

อ่านค่าที่ได้จากหัววัดออกมาเป็นในหน่วย โวลต์ ใช้กราฟสอนเทียบกับหัววัด



รูปที่ 3.18 แสดง transducer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 Lux meter

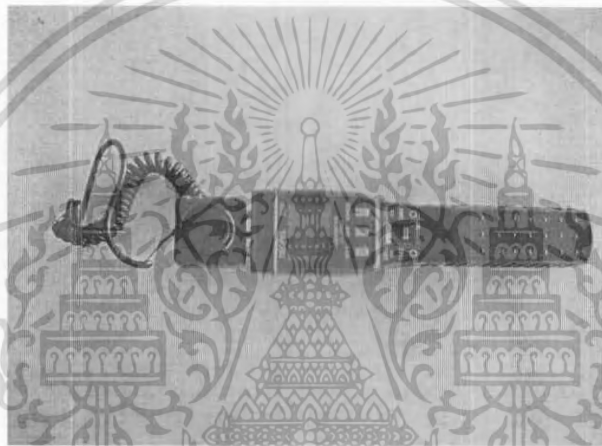
สามารถวัดค่า ในย่านสูงสุด 2 ย่าน

1. ย่าน 20,000 lux
2. ย่านสูงสุด 200,000 lux

สามารถเก็บค่าได้ชั่วขณะจากปุ่ม Hold

เปลี่ยนย่านการวัดแบบ manual จอแสดงผลเป็น digital

มีความไวต่อแสงอาทิตย์ ที่ 2 second



รูปที่ 3.19 แสดง Lux-Meter

3.5.4 Digital Camcorder

มีความไว 25 เฟรมต่อวินาที สามารถถ่ายภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวได้



รูปที่ 3.20 แสดง Digital Camcorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 Stroboscope



รูปที่ 3.21 แสดง Stroboscope

3.5.6 Supply high volt

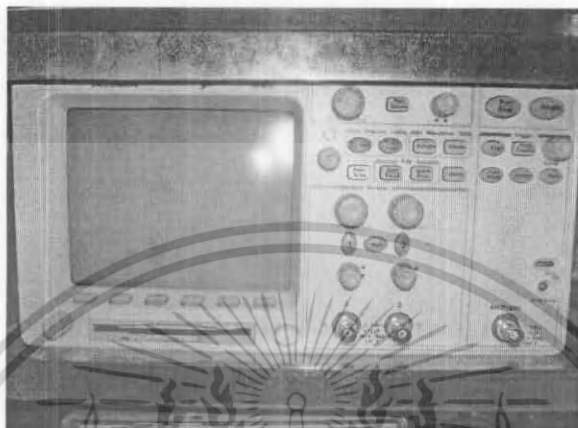


รูปที่ 3.22 แสดง Supply high volt

Range 0-400 V, 0-12 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7 Digital Oscilloscope



รูปที่ 3.23 แสดง Digital Oscilloscope

บันทึกรูปภาพใส่เครื่องและ Floppy ได้

- ความไว 400 MSa/s
- ใช้ได้ 2 Channel input
- มี function math สามารถผสม 2 สัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

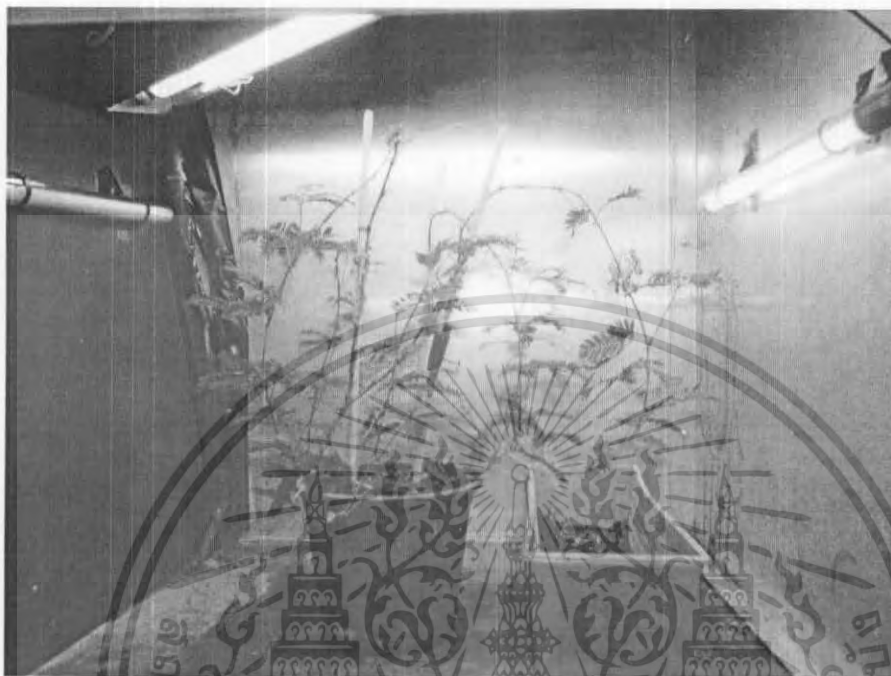
ในการทดลองกับต้นไม้ขรานั้นมีภาวะบังจ้ย หลากหลายประการที่ต้องคำนึงถึงก่อน เพราะความเป็นสิ่งที่ธรรมชาติสร้างมาไม่มีความเป็นระเบียบและมีบังจ้ยที่เป็นตัวแปรหลายชนิด ที่สำคัญกับการเติบโตและการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น แสงสว่าง น้ำ ฯลฯ เมื่อต้องการใช้ไม้ขรานได้โดยไม่จำกัดแสงอาทิตย์ จึงต้องมีการให้แสงสว่างจากหลอดไฟที่ใช้กับพืชได้นำ มาแทน

พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตนั้นจะแปรผันตรงกับพลังงานของแสงที่ส่องกระทบมัน (ส่วนประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์) สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ตัวเดียวกัน ถ้าพลังงานแสงเข้าเพิ่ม (ลด) เป็น 2 เท่าพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเพิ่ม (ลด) 2 เท่า ในช่วงกลางวันที่อากาศโปร่งใส ความเข้มของพลังงานของแสงอาทิตย์จะเป็นประมาณ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยถ้าพูดเป็นหน่วยของความสว่างก็จะเท่ากับ 100,000 - 120,000 ลักซ์ (lux) ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์ในกรณีต่างๆ รวมทั้งแสงจากไฟนีออนตามที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลทั่วไปด้วยจะเห็นว่าในวันที่มีเมฆพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์จะตกอยู่ระดับ 1/10 - ครึ่งหนึ่งของวันที่อากาศดีถ้าหากฝนตกก็จะตกอยู่ระดับ 1/20 - 1/5 ของวัน ตารางที่ 4.1 ค่าประมาณความเข้มของแสง

แหล่งแสง	สภาพอากาศ/ สถานที่	ความสว่าง(lux)
แสงอาทิตย์ (กลางวัน)	อากาศดีมาก	120,000 - 100,000
	อากาศดี	100,000 - 50,000
	มีเมฆ	50,000 - 10,000
	ฝนตก	20,000 - 5,000
หลอดไฟนีออน	โต๊ะเขียนแบบ	- 1,000
	สำนักงาน	300 - 600
	ห้องอาหาร, ทางเดิน	ต่ำกว่า 200
	บันได	ต่ำกว่า 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การเตรียมตัวอย่างโดยให้แสงสว่างกับต้นไมยราบ



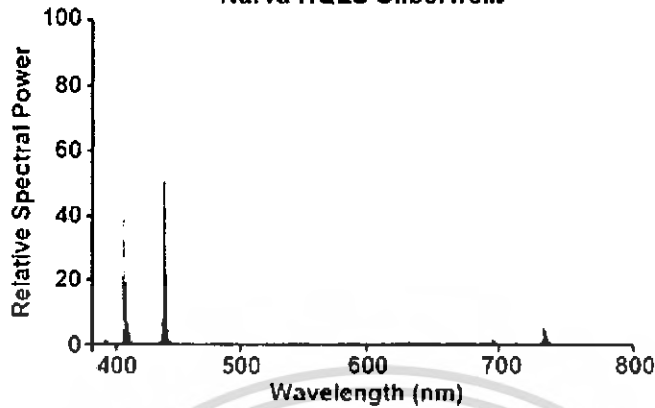
รูปที่ 4.1 แสดงรูปการทดลองในตู้ควบคุมแสงสว่างจากหลอดไฟ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลทดลองการวัดแสงสว่างจากที่ต่างๆ

ความสว่างของแสงอาทิตย์ (Lux)	ความสว่างแสงอาทิตย์ในร่ม (Lux)	ความสว่างของหลอดไฟ (Lux)
75000	6170	530
86800	6210	580
91700	6190	560
91400	5110	540
เฉลี่ย 86225	5920	552.5

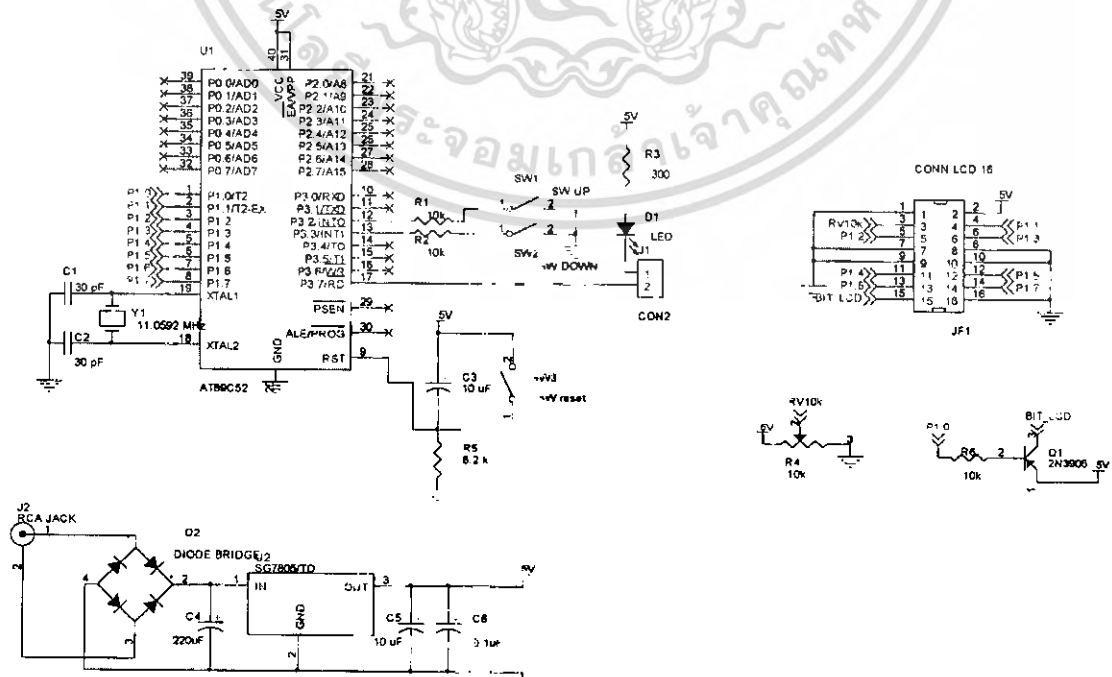
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Narva HQLS Silberweiß



รูปที่ 4.2 แสดงความยาวคลื่นที่ใช้คำนวณการรับแสงของต้นไมยราบ

เนื่องจากต้นไมยราบต้องการแสงสว่างในการเจริญเติบโต ซึ่งในตอนกลางวันมีแสงอาทิตย์และหลักในเวลากลางวัน แต่การที่ต้องการควบคุมการเจริญเติบโตของต้นไมยราบโดยไม่ให้สัมพันธ์กับเวลา เพื่อให้สามารถใช้พลังงานจากไมยราบได้ตลอดเวลา จึงให้แสงสว่างจากหลอดไฟที่ใช้กับพืชได้นำมาประยุกต์ใช้ (เพราะสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย) ในทฤษฎีของไมยราบนั้นต้องการแสงสว่างในช่วงที่ตามองเห็นได้ จึงใช้หลอดไฟสีแดงและน้ำเงินเพิ่มและกระตุ้นการเจริญเติบโตของไมยราบ ซึ่งจากการทดลองเข้าตู้ควบคุมแสงสว่างตั้งแต่ประมาณกลางเดือนมกราคม ก็ได้ข้อสรุปว่าไมยราบมีการเจริญเติบโตกับแสงไฟในตัวเป็นอย่างดี แต่การตอบสนองต่อสิ่งเร้าต้องมีการติดตั้งให้หลอดไฟเพิ่มมากขึ้นจึงจะตอบสนองเป็นปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมเวลาเปิดปิดหลอดไฟ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆของต้นไม้ยราบ

4.2.1 การกระตุ้นด้วยการสัมผัส

จากการกระตุ้นด้วยการสัมผัสโดยใช้นิ้วมือและปลายปากกา ผลจากการทดลองพบว่า ไมยราบมีการหุบก้านและใบในทันทีที่สัมผัส แต่เนื่องจาก ไมยราบแรงที่ใช้กระตุ้นในแต่ละครั้ง ผลที่ได้จึงไม่แน่นอน จึงเปลี่ยนวิธีการทดลองให้มีความแน่นอนขึ้น





4.2.2 การกระตุ้นด้วยความร้อน



รูปที่ 4.4 แสดงการทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองการกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยความร้อน

ครั้งที่	ตำแหน่งที่กระตุ้น	ผลที่ได้	เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น(วินาที)	เวลาเฉลี่ย(วินาที)
1		ก้านใบไม่หักลงและใบหุบ	51	42
2		ก้านใบหักลงและใบหุบ	45	
3		ก้านใบหักลงและใบหุบ	30	
1		ก้านใบหักลงและใบหุบ	14	11.33
2		ก้านใบหักลงและใบหุบ	11	
3		ก้านใบหักลงและใบหุบ	9	
1		ก้านใบหักลงและใบหุบ	10	14
2		ก้านใบหักลงและใบหุบ	15	
3		ก้านใบหักลงและใบหุบ	17	
1		ก้านใบหักลงและใบหุบ	6	5
2		ก้านใบหักลงและใบหุบ	4	
3		ก้านใบหักลงและใบหุบ	5	

จากผลการทดลองใช้ความร้อนให้ความร้อนด้านบนของ pulvinus โดยที่ไม่สัมผัสกับต้นไมยราบจะสังเกตได้ว่าใช้ระยะเวลาในการหักของก้านไมยราบ ซึ่งจากการสังเกตใบนั้นมีการตอบสนองต่อความร้อนอย่างเห็นได้ชัด แต่ใช้เวลาในการหักของก้านใบนาน ซึ่งบางครั้งก็ไม่หักลงมาแต่ใบมีการหุบ เวลาเฉลี่ยในการหักของก้าน 42 วินาที

การกระตุ้นที่ด้านล่างของ pulvinus มีการตอบสนองของใบและก้านเร็วกว่าด้านบนของ pulvinus และใช้เวลาเฉลี่ย 11.3 วินาที

เมื่อกระตุ้นด้วยความร้อนที่ด้านบนของ petiole คือช่วงก้านด้านบนมีการตอบสนองของใบและมีการหักของก้านใบ เวลาเฉลี่ย 14 วินาที

ส่วนการกระตุ้นที่ด้านล่างของ petiole มีการตอบสนองเร็วทั้งใบและก้าน ซึ่งก้านใช้เวลาหักลงมาเพียงไม่กี่วินาทีเท่านั้น เวลาเฉลี่ย 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การกระตุ้นด้วยแรงลม



รูปที่ 4.5 แสดงการทดลองกระตุ้นก้านใบ ไมยราบด้วยแรงลม

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองการกระตุ้นก้านใบ ไมยราบด้วยแรงลม

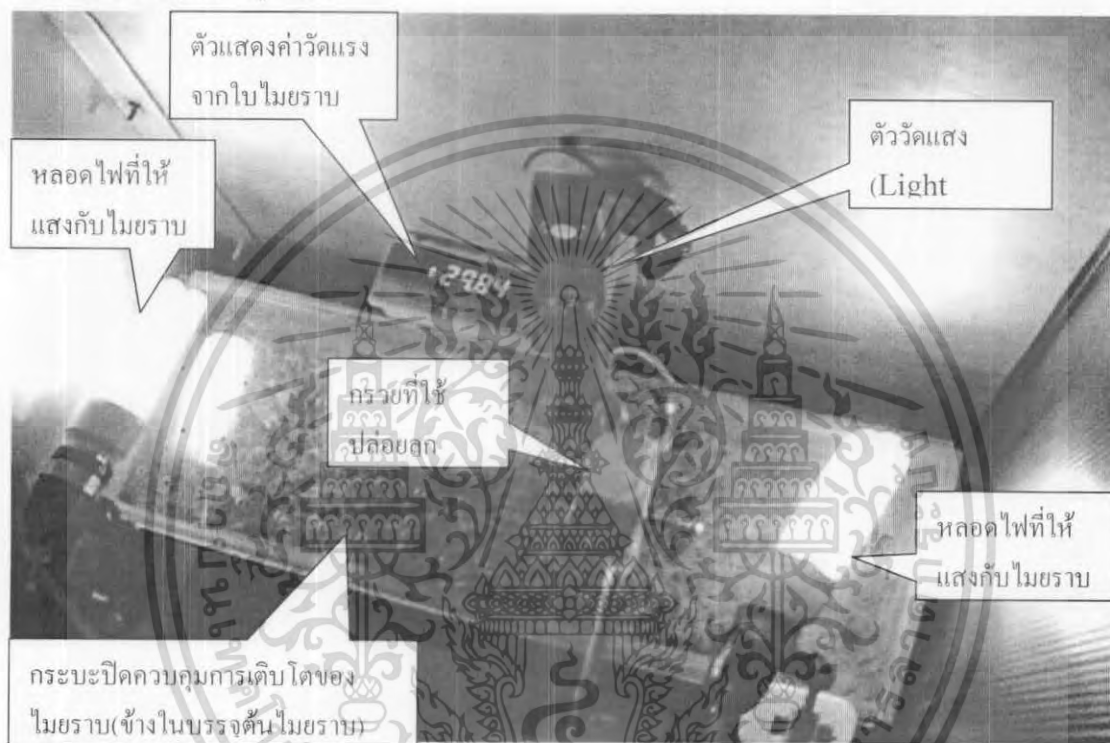
ครั้งที่	ตำแหน่งทดลอง	ลักษณะของลม	
		ลมดูด	ลมเป่า
1		ก้านไม่หักงอ	ก้านไม่หักงอ
2		ก้านไม่หักงอ	ก้านหักงอ
3		ก้านไม่หักงอ	ก้านไม่หักงอ
1		ใบหุบ	ใบหุบ
2		ใบหุบ	ใบหุบ
3		ใบหุบ	ใบหุบ

จากการทดลองพบว่า เมื่อให้ลมดูด ที่ petiole ก้านใบจะไม่หักงอลง (การทดลองต้องเอาท่อลมใกล้ไมยราบเกินไปอาจทำให้มีแรงกระแทกกันแล้วหักงอได้บางครั้ง แต่จากการทดลองแล้วหลายครั้งนั้นก้านไม่หักงอ) เมื่อให้ลมดูดที่ใบของไมยราบ ด้านบนนั้นจะดูดได้หุบไม่ดี นั่นคือมีการหุบบ้างไม่หุบบ้างของใบ ส่วนด้านล่างเมื่อให้ลมดูดสามารถทำให้ใบหุบได้ดีกว่า ซึ่งจากการทดลองลมดูดมีผลกับไมยราบค่อนข้างน้อยกว่าลมเป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ลมเป่ากับส่วน petiole ของต้นไมยราบไม่หิ้งงอ มีการหักงอด้วยแต่น้อยครั้ง จากการทดลองคาดว่าแรงลมเป่าไม่พอที่จะทำให้ก้านใบหิ้งงอได้ดี ส่วนที่ใบของต้นไมยราบใช้ลมเป่าไม่นานเท่าไรหรือนักใบก็หุบลงซึ่งการ sensitive ที่ใบของลมเป่ามากกว่าลมดูด

4.2.4 การกระตุ้นด้วยลูกเหล็ก



รูปที่ 4.6 แสดงชุดทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยลูกเหล็ก

จากการทดลองแรงที่ใช้ในการทริกใบของต้นไมยราบ กำหนดโดยมวลของลูกเหล็ก
หลายๆ ขนาด

สามารถหาพลังงานของลูกเหล็กได้จากการปล่อยลูกเหล็กมีสมการคำนวณว่า

$$E = mgh \text{ เช่น ขนาด A มวล คือ } m = 0.00217 \text{ g}$$

$$\text{ความเร่ง โลกคือ } g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{ความสูง คือ } h = 1 \text{ cm}$$

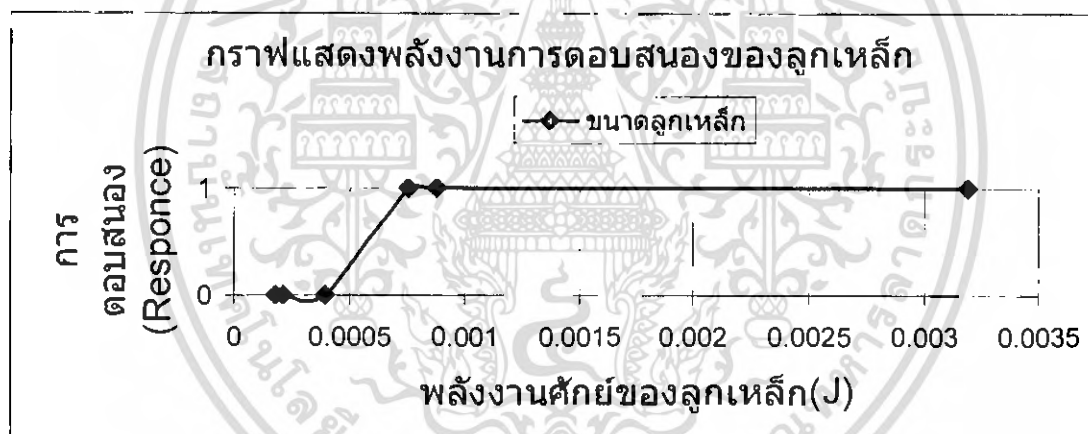
$$\text{พลังงานของลูกเหล็ก} = 0.00217\text{g} \cdot 9.8\text{m/s}^2 \cdot 1\text{cm}$$

$$= 0.0002126 \text{ J}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงพลังงานของลูกเหล็กแต่ละขนาด

ขนาดลูกเหล็ก	มวลของลูกเหล็ก(g)	พลังงานของลูกเหล็ก(J)
1	0.00185	0.0001813
2	0.00217	0.00021266
3	0.00402	0.00039396
4	0.00773	0.00075754
5	0.00898	0.00088004
6	0.03252	0.00318696



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงพลังงานการตอบสนองของลูกเหล็ก





จากการทดลองพบว่า ต้องใช้พลังงานให้พอดีกับช่วงโบของไมยราบ จึงจะทำให้โบหุบลงได้ เนื่องจากลูกเหล็กขนาด 1,2 และ 3 มีขนาดเล็กมาก ทำให้ไม่ค่อยมีผลกับโบของต้นไมยราบ พอเปลี่ยนเป็นลูกเหล็กขนาด 4 พบว่ามีแรงทำให้โบของไมยราบหุบลงอย่างเต็มที่ ทีละโบ นั่นคือแรงที่ทำให้ไมยราบสามารถหุบโบได้ ตรงบริเวณก้านโบนั้นไม่สามารถใช้ลูกเหล็กขนาด 4,5 และ 6 ได้ เพราะอาจเกิดจากการที่พลังงานไม่พอ ตรงก้านโบนั้นอาจต้องใช้พลังงานมากกว่านี้ในการทำให้ก้านหุบลงมาด้วย บริเวณก้านโบสามารถถูกช่วงโคนหรือปลายก้านก็ได้ ทำให้ช่วงก้านสามารถงอลงได้แต่จะงอตรงบริเวณข้อต่อเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้า

เนื่องจากต้นไม้มีความต้านทานที่สูง จึงต้องคำนวณหาค่าความต้านทานที่วงจรกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการ โดยวัดค่าความต้านทานของใบไม้แต่ละชนิดเพื่อเปรียบเทียบได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการทดลองวัดค่าความต้านทานของใบไม้

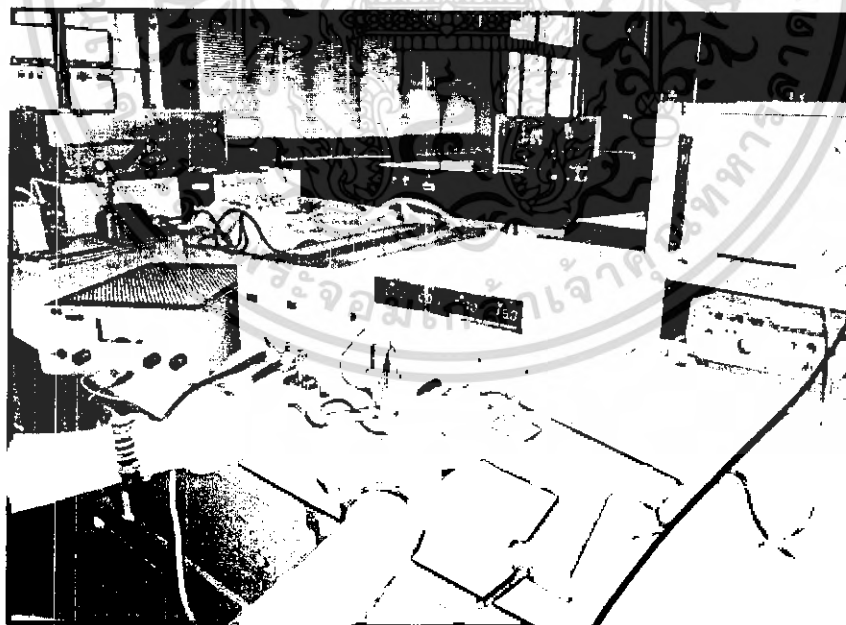
ค่าความต้านทานแต่ละบริเวณที่วัดค่าความต้านทาน (x100กิโลโอห์ม)			
ลักษณะ ใบไม้	ก้าน-ก้าน	ก้าน-ใบ	ใบ-ใบ
	200	180	100
	200	150	135
	150	150	120
เฉลี่ย	183.33	160	118.33
	250	80	80
	180	100	50
	180	80	75
เฉลี่ย	203.33	86.6	68.33
	90	32	30
	100	25	40
	80	32	36
เฉลี่ย	90	29.66	35.33
	200	70	50
	100	50	70
	120	80	60
เฉลี่ย	140	66.67	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าความต้านทานแต่ละตำแหน่งของไมยราบ

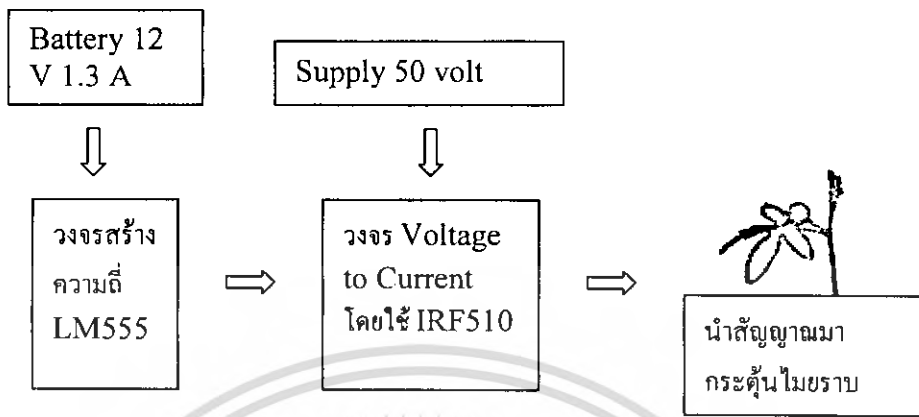
ระยะห่าง (cm.)	ความต้านทาน (MOhm)
0.2	6.56
0.5	7.1
0.8	7.56
1	8.2
2	10.47
4	12.25

จากการที่ก้านใบไมยราบมีความต้านทานสูงจึงจำเป็นต้องสร้างวงจรแบบ Voltage to Current ขึ้น เพื่อทำหน้าที่เป็น Current Source ที่สามารถปรับค่าได้(ระยะห่างช่วงก้านที่ให้กระแสประมาณ 0.5 cm.)

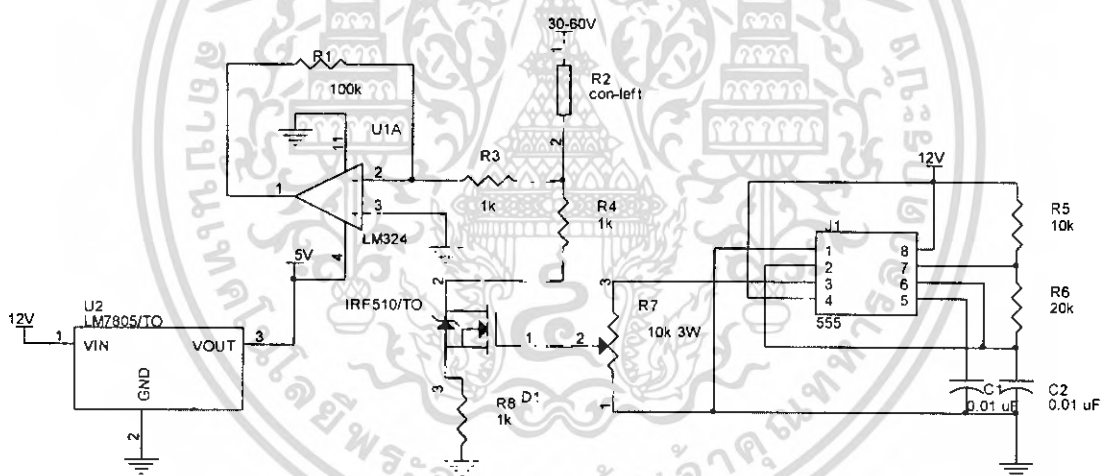


รูปที่ 4.8 แสดงการทดลองกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

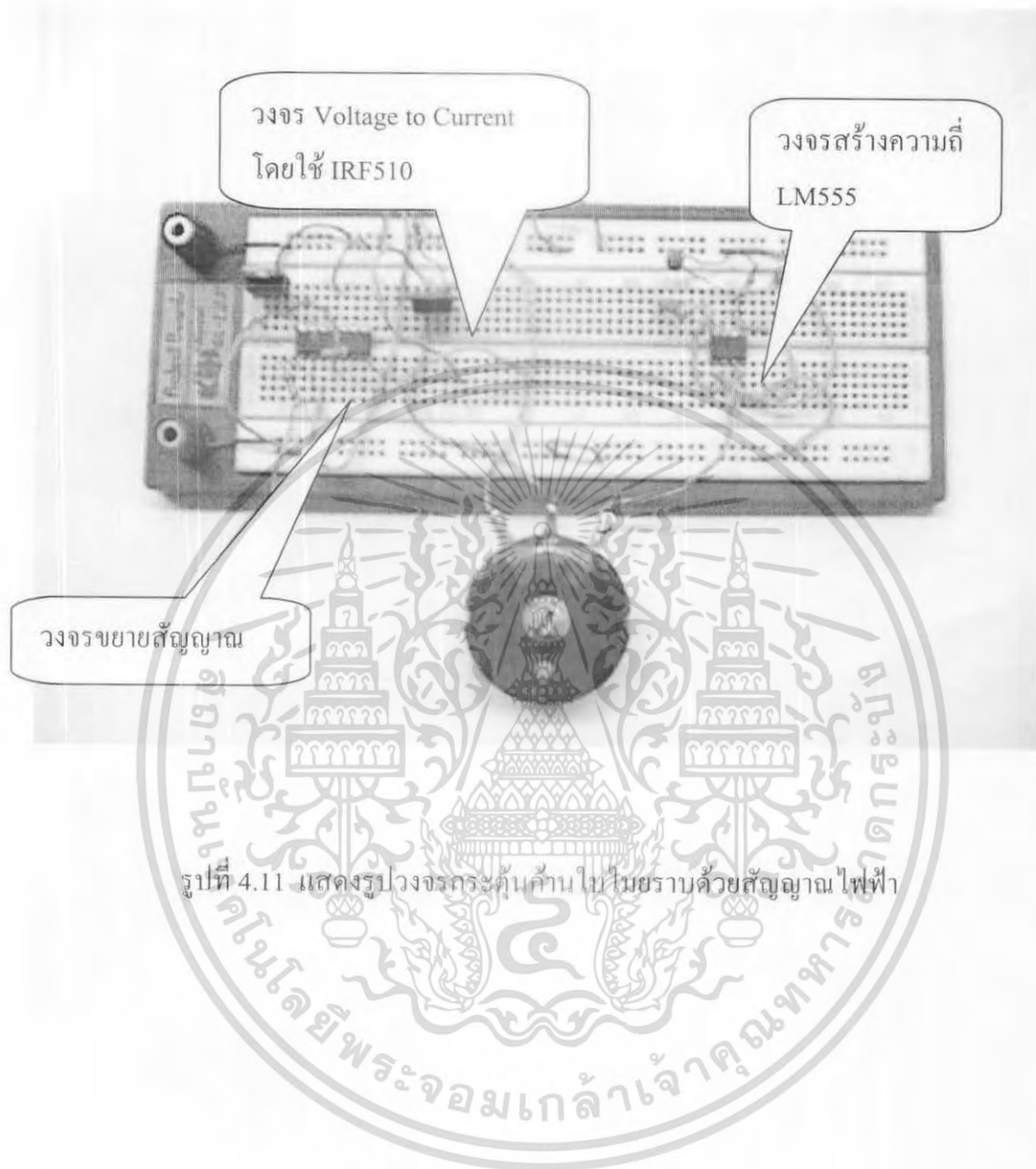


รูปที่ 4.9 แสดงผังการทำงานกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า

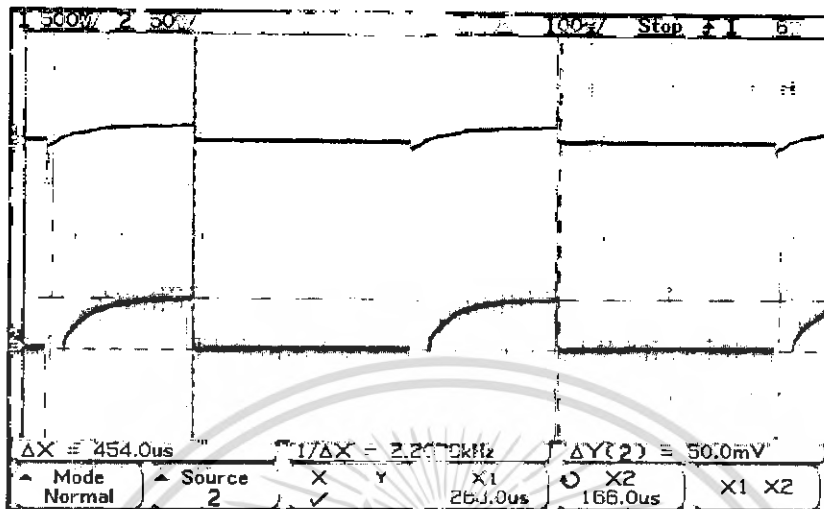


รูปที่ 4.10 แสดงแผนภาพวงจรกระตุ้นก้านใบไมยราบด้วยสัญญาณไฟฟ้า

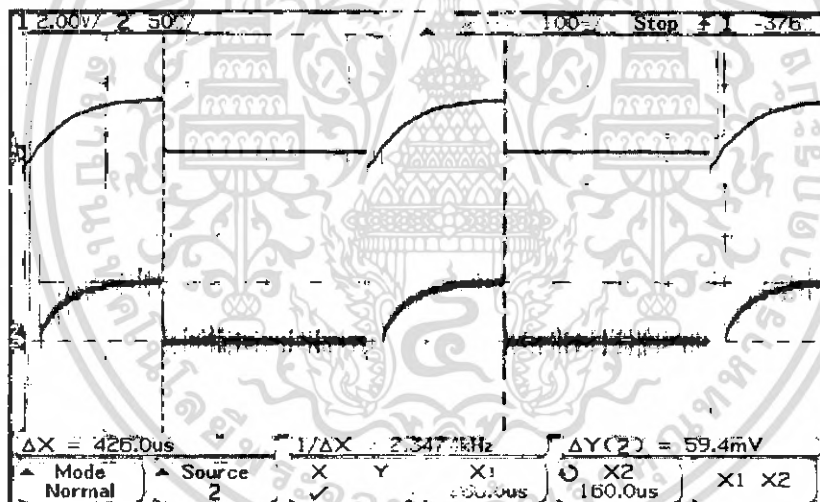
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงรูปสัญญาณหลังกระตุ้นก้อนใบไมยราบ (ครั้งที่ 1)



รูปที่ 4.13 แสดงรูปสัญญาณหลังกระตุ้นก้อนใบไมยราบ (ครั้งที่ 2)

จากกราฟ ให้ Channel 1 เป็นแรงดันที่ตกคร่อม MOSFET และ Channel 2 เป็น แรงดันที่ตกคร่อมผ่านใบไม้ เมื่อมีการขยายจาก Op Amp นำแรงดันที่ได้จาก Channel 2 มาคำนวณหากระแสที่ไหลผ่านใบไม้ จากรูป ได้สัญญาณความถี่ประมาณ 2.275 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการคำนวณหากระแสที่ไหลผ่านต้นไม้ยราบ

แรงดันที่ V_{out} ของ Op Amp เฉลี่ย = 56.25mV

จากสูตรของ Op Amp มีค่า $V_{in} = V_{out}/100$

ดังนั้น แรงดันที่ V_{in} ของ Op Amp = 56.25 mV/100

ได้เท่ากับ 0.5625 mV และจากรูป กระแสที่ไหลผ่านต้นไม้ยราบมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลผ่าน R 2k ทำให้ได้ว่า

กระแสไม้ยราบ = $0.5625 \text{ mV} / 2\text{k Ohm} = 0.28 \mu\text{A}$

ตารางที่ 4.8 กระแสที่ใช้ในการกระตุ้นต้นไม้ยราบ

ครั้งที่	แรงดัน dc(Volt)	กระแส dc (μA)	เวลาในการหุบ(s)	การเปลี่ยนแปลงของไม้ยราบ
1	20	2.85	-	ไม่มีอะไรเกิดขึ้น
2	30	4.28	13	กิ่งเล็กๆหรือยอดหุบเล็กน้อย
3	40	5.71	14	ก้านใบหุบได้ไม่เต็มที
4	50	7.14	10	ก้านใบหุบ
5	60	8.47	10	ก้านใบหุบ
6	70	10.00	8	ก้านใบหุบ ตอบสนองช้าลง
7	80	11.42	6	ก้านใบหุบ ตอบสนองช้าลง
8	100	14.28	4	ก้านใบหุบ มีการไหม้และหักงอ

4.4 การคำนวณพลังงานของใบไม้ยราบที่ได้จากแสงอาทิตย์

4.4.1 การคำนวณพลังงานการรับแสงของใบไม้ยราบ

โดยที่ $1 \text{ lux} = 0.001496 \text{ watt/m}^2$

แสงอาทิตย์มีความสว่าง 86225 lux แต่ตอนที่วัดขณะทำการทดลองได้ 650 lux

จากข้อมูลทำให้ทราบว่า ไม้ยราบ รับแสงเฉพาะบางความยาวคลื่นเท่านั้น(สีม่วง เขียว และ เหลือง)

คำนวณหาได้ประมาณ 130 lux

ดังนั้น แสงอาทิตย์มีค่า $130.33 \times 0.001496 = 0.19497 \text{ watt/m}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่รับแสงของใบไมยราบ (ก้านใบ 4 ก้าน) มีค่าเท่ากับ $559.75 \times 4 = 2,239 \text{ mm}^2$
 เนื่องจากพื้นที่รับแสงของใบไมยราบมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร จึงต้องแปลงหน่วย ได้ว่า

$$\text{แสงอาทิตย์ } 0.19497 \text{ watt/m}^2 = 1.9497 \times 10^{-7} \text{ watt/mm}^2$$

ใบไมยราบมีพื้นที่ $2,239 \text{ mm}^2$

หาค่าพลังงานในการรับแสงของใบ โดยมีสูตรว่า $\text{Joule} = \text{watt} \times \text{second}$

$$\text{ดังนั้น } 1.9497 \times 10^{-7} \text{ watt/mm}^2 \times 2,239 \text{ mm}^2 = 4.365 \times 10^{-4} \text{ watt}$$

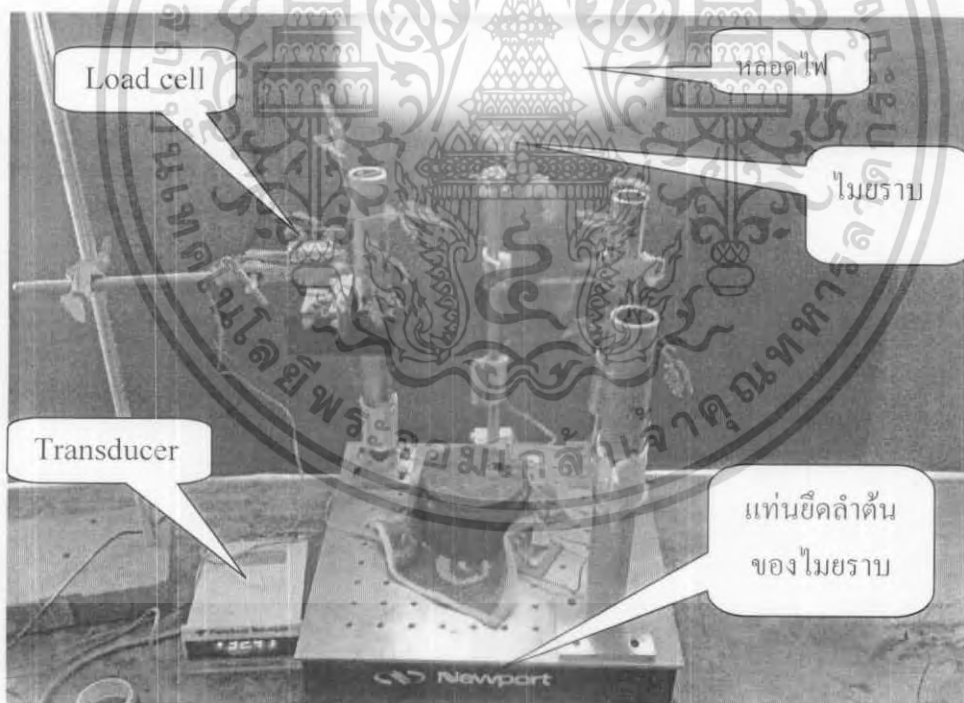
$$= 0.4365 \text{ milliwatt}$$

เวลารับแสง 5 นาที = $5 \times 60 = 300$ วินาที

$$(4.365 \times 10^{-4}) \times 300 = 0.13 \text{ จูล}$$

จากการคำนวณได้ว่า พลังงานในการรับแสงของใบไมยราบ 1 ใบ (ก้านใบ 4 ก้าน) เท่ากับ 0.13 จูล

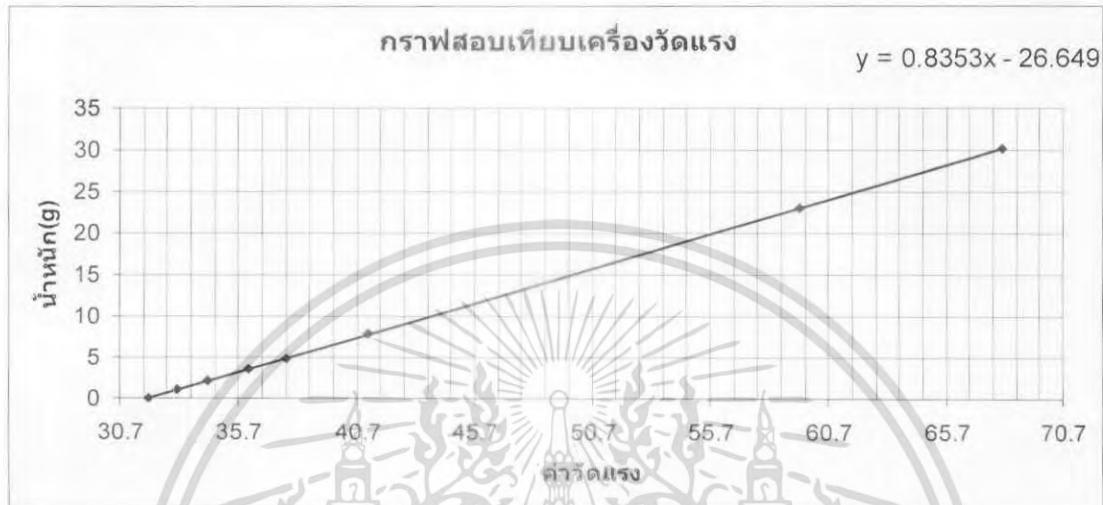
4.5 การทดลองแบบสถิต (Static)



รูปที่ 4.14 แสดงรูปภาพการทดลองแบบสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองแบบสถิตต้องใช้ Load cell และ transducer แปลงค่าจาก volt ที่ได้มาเป็นแรงกระทำจากก้านใบไมยราบ ดังนั้นจึงทำการสร้างกราฟสอบเทียบเครื่องวัดแรงขึ้นมา เพื่อสะดวกในการวัดค่า



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดแรงกับน้ำหนัก

4.5.1 การทดลองวัดแรงของต้นไมยราบ

จากการทดลองเรื่องแรงของต้นไมยราบ นักการทดลอง ได้ดังนี้

4.5.1.1 วัดแรงและเวลาคืนตัวของต้นไมยราบของแต่ละต้นไม่ซ้ำกันโดยมีแสงแดด โดยสอบเทียบกับกราฟสอบเทียบ ผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยแรงคือ 0.0075998 N และเวลาคืนตัวแต่ละต้นนั้น คือ 11.8 นาที



รูปที่ 4.16 การทดลองแรงของต้นไมยราบ(ในวงกลมสีแดงคือต้นไมยราบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดลองแรงของดินไมยราบ

การทดลองแรงของไมยราบขณะมีแสงแดด				
ครั้งที่	ก่อน(V)	หลัง(V)	เวลาดึงตัว(นาท)	มวล(g)
1	30.7	31.5	14.85	0.66075
2	30.7	31.45	10.01	0.61902
3	30.7	31.85	12.25	0.95283
4	30.7	31.75	10.09	0.86937
เฉลี่ย	30.7	31.6375	11.8	0.77549

4.5.1.2 วัดแรงและเวลาดึงตัวของดินไมยราบที่ก้านเดียวกันซ้ำอย่างต่อเนื่อง โดยมีแสงแดด พบว่าเวลาในการดึงตัวของดินไมยราบจะช้าลงเรื่อยๆเนื่องจากพลังงานสะสมลดลง

ตารางที่ 4.10 ตารางผลการทดลองค่าแรงของดินไมยราบก้านเดียวกันซ้ำอย่างต่อเนื่อง

การทดลองก้านไมยราบแบบก้านเดียวกันซ้ำอย่างต่อเนื่อง				
ครั้งที่	ก่อน(V)	หลัง(V)	เวลาดึงตัว(นาท)	มวล(g)
1	30.7	31.93	11.53	1.01959
2	30.7	31.87	12.51	0.96952
3	30.7	31.76	10.14	0.87772
4	30.7	31.85	15.03	0.95283
5	30.7	31.35	16.06	0.53558

นำกล่องปิดที่ครอบดินไมยราบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดแรงและเวลาในการดึงตัวของไมยราบที่ก้านเดียวกันซ้ำอย่างต่อเนื่อง พบว่า เมื่อเปิดกล่องเวลาในการดึงตัวมีค่าสูงขึ้นมาจากประมาณ 10นาทเป็น 30 นาทเนื่องจากไม่มีการสะสมพลังงานจากแสงแดด ต่อมาจะได้ผลของการวัดแรงเฉลี่ยคือ 0.00438991 N และเวลาดึงตัวคือ 12.79 นาทเหมือนกับที่มีแสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.11 ตารางผลการทดลองค่าแรงของดินไมยราบหลังปิดกล่อง 1 ชั่วโมง

การทดลองแรงไมยราบหลังปิดกล่องประมาณ 1 ชม. ที่ก้านเดียวกันซ้ำอย่างต่อเนื่อง				
ครั้งที่	ก่อน(V)	หลัง(V)	เวลาดึงตัว(นาทิจ)	มวล(g)
1	30.7	31.6	28.24	0.7442
2	30.7	31.18	11.08	0.39371
3	30.7	31.05	13.06	0.28523
4	30.7	31.15	14.23	0.36868
ค่าเฉลี่ย	30.7	31.245	12.79	0.44795

และเมื่อทดลองปิดกล่องไมยราบพบว่าถ้าไม่โดนแสงไมยราบจะ ไม่มีการกินตัว

4.5.1.3 ดึงช่วงก้านด้านบนของดินไมยราบเพื่อหาแรงค่าสุดท้ายที่ทำให้ดินไมยราบมีการหักงอ
ก้านใบ พบว่าเมื่อดึงแรงค่าหนึ่งคือ 0.04121596 N จะสามารถทำให้ดินไมยราบหุบลงได้



รูปที่ 4.17 การทดลองแรงของดินไมยราบ โดยการดึงช่วงก้านด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการทดลองแรงของต้นไมยราบโดยการดึงช่วงก้านด้านบน

การทดลองดึงช่วงก้านด้านบนของไมยราบ			
ครั้งที่	ก่อน(V)	หลัง(V)	มวล(g)
1	30.7	35.52	4.01544
2	30.7	37.2	5.4174
3	30.7	36.8	5.0836
4	30.7	33.31	2.171195
5	30.7	35.91	4.340895
\bar{x}	30.7	35.748	4.205706

4.5.1.4 ทำการทดลองแรงของต้นไมยราบโดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า โดยที่วาง Load cell ดังรูป



รูปที่ 4.18 แสดงการวางตำแหน่ง Load cell ในการวัดแรงของใบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงการให้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นดินไมยราบ

ตารางที่ 4.13 ตารางผลการทดลองแรงของดินไมยราบ โดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ไม่ซ้ำกัน การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้านั้นให้ซ้ำๆกันจะทำให้ใบไหม้และใช้ไม่ได้

ครั้งที่	ระดับโวลต์ที่ให้ (Vdc)	ก่อน(V)	หลัง(V)	มวล(g)	เวลาในการคืนตัว(นาท)
1	51.2	31.9	32.63	0.6068	11
2	52.6	31.9	32.02	0.1063	14
3	53.1	31.72	31.99	0.0723	12
4	52.5	31.69	32.1	0.1641	10
5	52.9	31.74	32.41	0.4231	14
เฉลี่ย	52.46	31.79	32.23	0.27452	12.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ตารางผลการทดลองแรงของดินไมยราบโดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ซ้ำกันเดียวกัน
ก้านที่ 1

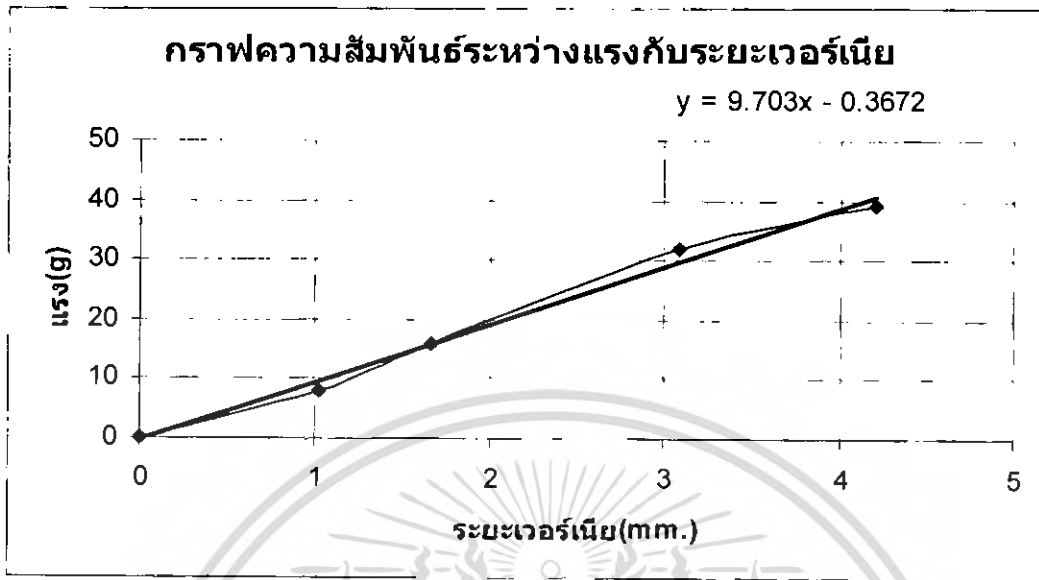
ครั้งที่	ระดับโวลต์ที่ให้(Vdc)	ก่อน(V)	หลัง(V)	ผลต่าง	มวล(g)	เวลาในการคืนตัว(นาท)
1	52.1	31.77	31.82	0.05	0.039	12
2	60.2	31.83	31.91	0.08	0.064	13
3	50.3	31.83	31.87	0.04	0.03	16
เฉลี่ย	54.2	31.81	31.86	0.05	0.039	13.67

ตารางที่ 4.15 ตารางผลการทดลองแรงของดินไมยราบโดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ซ้ำกันเดียวกัน
ก้านที่ 2

ครั้งที่	ระดับโวลต์ที่ให้(Vdc)	ก่อน(V)	หลัง(V)	ผลต่าง	มวล(g)	เวลาในการคืนตัว(นาท)
1	50.6	32.18	32.50	0.32	0.264	11
2	53	32.19	32.48	0.29	0.239	13
3	52.8	32.19	32.6	0.41	0.339	15
4	52.8	32.19	32.43	0.24	0.198	20
เฉลี่ย	52.3	32.19	32.50	0.31	0.256	14.7

พบว่าในการทดลองแบบกระตุ้นด้วยไฟฟ้าซ้ำกันเดียวกันนั้น เวลาในการคืนตัวของดินไมยราบจะช้าลงเรื่อยๆเนื่องจากพลังงานสะสมลดลง

เนื่องจากต้องการพลังงานที่ได้จากเครื่องวัดแรง แต่หัววัดแรงมีการยืดหยุ่นแบบสปริง จึงต้องมีการคำนวณพลังงานศักย์แบบยืดหยุ่น ดังนั้นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะเวรเ์เนียบที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการกดหัววัดแรง



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะเวอร์เนีย

4.5.2 การคำนวณหาพลังงานศักย์ยืดหยุ่น

การคำนวณหาพลังงานศักย์ยืดหยุ่นได้จาก $E_{pe} = \frac{1}{2} kx^2$

4.5.2.1. จากการกระตุ้นโดยการสัมผัส

จากค่าแรง 0.77549 ได้ $x = 0.1177$ mm

$$E_{pe} = \frac{1}{2} \times (97.03) \times (0.1177)^2 = 0.67 \mu J$$

ประสิทธิภาพของพลังงาน = $0.00000067/0.13 = 5.15 \mu J$

ประสิทธิภาพของพลังงานศักย์ยืดหยุ่นโดยการสัมผัส

$$\text{สูตร } Q = (\text{พลังงานจากใบ}/\text{พลังงานรับแสง}) \times 100$$

$$Q = (5.15 \times 10^{-6}) \times 100 = 0.000515 \%$$

4.5.2.2. จากการกระตุ้นโดยกระแสไฟฟ้า

จากค่าแรง 0.2745 ได้ $x = 0.066$ mm

$$E_{pe} = \frac{1}{2} \times (97.03) \times (0.066)^2 = 0.211 \mu J$$

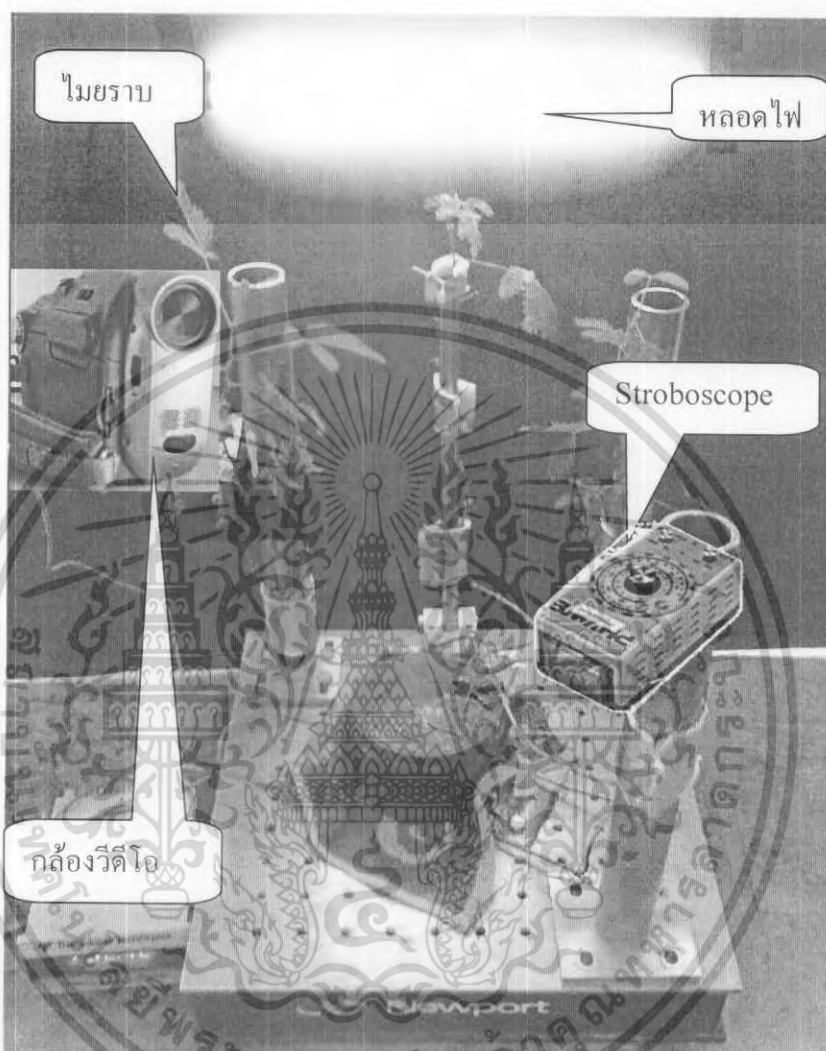
ประสิทธิภาพของพลังงาน = $0.000000211/0.13 = 1.62 \mu J$

ประสิทธิภาพของพลังงานศักย์ยืดหยุ่นโดยกระแสไฟฟ้า

$$Q = (1.62 \times 10^{-6}) \times 100 = 0.000162 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

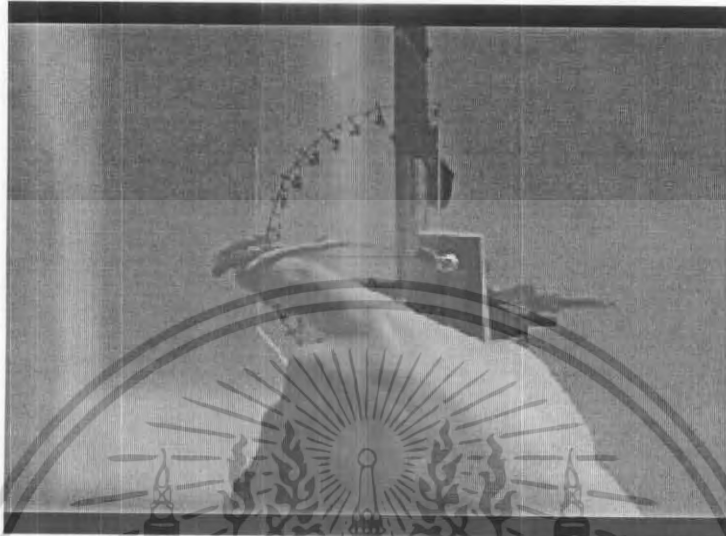
4.6 การทดลองแบบพลศาสตร์ (Dynamic)



รูปที่ 4.21 แสดงรูปภาพการทดลองแบบพลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 การทดลองวัดเทียบกับการปล่อยอิสระของใบไมยราบ



รูปที่ 4.22 แสดงการปล่อยตกอิสระของก้านไมยราบ (ก่อนตก)



รูปที่ 4.23 แสดงการปล่อยตกอิสระของก้านไมยราบ (หลังตก)

หลังจากการทดลองการปล่อยอิสระของใบไมยราบหลายครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงการวัดการตกของไมยราบโดย Stroboscope และนาฬิกาจับเวลา

ระยะเวลาในการหักลง ของก้าน(วินาที)	ความเร็วของ Stroboscope ที่ 150 รอบต่อนาที (ครั้ง)
3	4
3	5
5	7
2	3
เฉลี่ย 3.25	4.75

4.6.2 การคำนวณพลังงานทอร์กที่ได้จากใบไมยราบ



รูปที่ 4.24 แสดงการวัดหาพลังงานทอร์กของต้นไมยราบ

เนื่องจาก CM ของต้นไมยราบประมาณได้ว่าอยู่ตรงบริเวณ 1 ใน 3 ของแต่ละใบ (เนื่องจากใบมีน้ำหนักมากกว่า) ความยาวของใบเท่ากับ 2.5 cm ได้ว่า CM แต่ละใบ เท่ากับ $2.5 \times \frac{1}{3} = 0.83$ cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงองศาระหว่างใบของต้นไมยราบ

จาก 2 ใบแรกที่ติดกันมีองศาภายในระหว่างกันเท่ากับ $100-65 = 35$ องศา ได้ระยะ CM เท่ากับ $0.83 \times \sin 72.5 = 0.792$

จาก 2 ใบถัดมาที่ติดกันมีองศาภายในระหว่างกันเท่ากับ $160-25 = 135$ องศา ได้ระยะ CM เท่ากับ $0.83 \times \sin 22.5 = 0.317$

ดังนั้น ได้ ระยะ CM ใบ ทั้งหมดเท่ากับ $(0.792+0.317)/2 = 0.5545$

ระยะ CM ทั้งหมดเท่ากับ $3 \times 0.5545 = 3.5545$ cm. นั่นก็คือระยะรัศมีของทอร์ค

เปลี่ยนเป็น เมตร ได้ 0.035545 m

ซึ่งน้ำหนักใบกับก้านเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.38165 g. แปลงเป็น kg ได้เท่ากับ 0.00018465 kg

ดังนั้นจากสูตร ทอร์ค = $F \times R \sin \theta$

ได้พลังงานจากใบไมยราบเท่ากับ $0.00018465 \times 9.8 \times 0.035545 \times \sin 90$
 $= 0.000064268$ จูล

ประสิทธิภาพของพลังงาน = $0.000064268/0.15 = 0.0004943$ จูล

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของพลังงานที่ได้จากใบไมยราบมีค่า

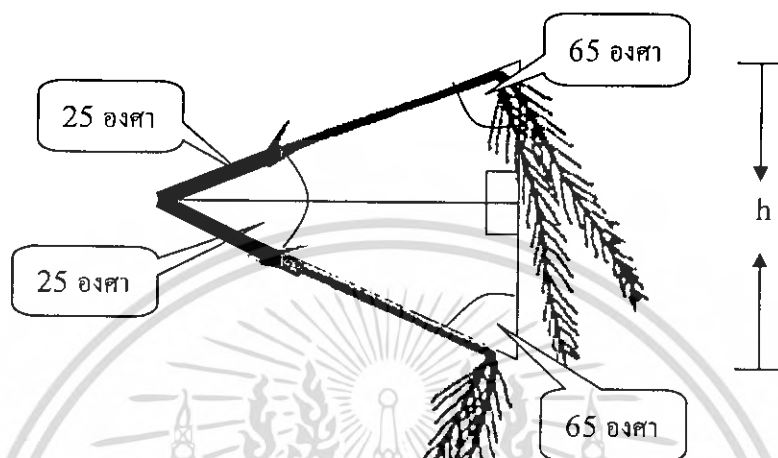
$$Q = (\text{พลังงานจากใบ} / \text{พลังงานรับแสง}) \times 100$$

$$Q = (0.000064268/0.15) \times 100 = 0.04943 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 การคำนวณพลังงานศักย์ที่ได้จากใบไมยราบ

การคำนวณพลังงานศักย์ที่ได้จากใบไมยราบ



รูปที่ 4.26 แสดงรูปองศาการตกของก้านใบไมยราบ

หาค่า h โดย

$$R \sin 25 = \frac{h}{2}$$

$$3.5545 \times 0.4226 = 1.502 \text{ cm}$$

หาพลังงานได้โดย

$$\text{สูตร } E_p = mgh$$

$$\text{ได้ } h = 1.502 \times 2 = 3.004 \text{ cm.}$$

$$E_p = 0.00018465 \times 9.8 \times 0.03 = 0.05429 \text{ mJ}$$

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงานศักย์} = 0.00005429 / 0.13 = 0.0004176 \text{ J}$$

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของพลังงานที่ได้จากใบไมยราบมีค่า

$$Q = (\text{พลังงานจากใบ/พลังงานรับแสง}) \times 100$$

$$Q = (0.00005429 / 0.13) \times 100 = 0.04176\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 การคำนวณความเร่งและความเร็วที่ได้จากคันไมยราบ

$$\text{ความเร่งเชิงมุม } (\alpha) = \frac{\theta}{t^2}$$

$$\text{ความเร่งเชิงมุม} = \frac{50}{(3.25)^2} = 4.73 \text{ rad/s}^2$$

$$\text{ความเร็วเชิงมุม } (\omega) = \frac{\theta}{t} = \frac{50}{3.25} = 15.384 \text{ rad/s}$$

คำนวณความเร็วเชิงมุมเทียบกับ Stroboscope

$$150 \text{ round/min} = 150/60 \text{ round/s}$$

$$= 2.5 \text{ round/s}$$

จากค่าความถี่กระพริบ 4.75 ครั้ง

$$\text{ได้ความเร็วเชิงมุม} = 2.5 \times 4.75$$

$$= 12 \text{ rad/s}$$

$$\text{จากสูตร } T = I \times \alpha \text{ ได้ } I = 0.000064268 / 4.73 = 0.0000135 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{โมเมนต์ความเฉื่อย} = 135 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$$

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากต้องการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ทำให้พลังงานที่ได้จากแสงลดลงการตอบสนองต่อสิ่งเร้ามีค่าลดลง แต่เนื่องจากต้องการนำไปประยุกต์ใช้ต่อในอนาคต ที่จะไม่ขึ้นกับแสงสว่างสามารถที่จะนำพลังงานหรือกลไกมาใช้ได้ ตลอดเวลาจึงจำเป็นต้องขอมลพลังงานสะสมลงบ้าง แต่ในการทดลองทำให้ทราบว่าแสงสว่างจากหลอดไฟยังไม่เพียงพอที่ต้นไม้ขرابจะทำการหุบเหมือนปกติได้ เพียงแค่บานตามแสงไฟเท่านั้น จึงใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลัก

จากการศึกษาทฤษฎีของต้นไม้ขرابนั้นทำให้ทราบว่าต้นไม้ขرابเมื่อถูกกระตุ้นจะเกิดการแยกโพแทสเซียมไอออน กับ น้ำ ออกมา ทำให้ช่วงด้านบนของก้านมีน้ำหนักรวงลงสู่ด้านล่างตามแรงโน้มถ่วงเกิดเป็นน้ำหนักที่มากขึ้นอย่างรวดเร็วตามใบจนถึงก้าน ใบจึงหุบเพราะเสียน้ำไปก้านจึงรวงด้วยน้ำหนักลงสู่ด้านล่าง

เริ่มจากการกระตุ้นด้วยการสัมผัสซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าวิธีอื่นแต่ไม่สามารถให้แรงที่คงที่ได้จึงเปลี่ยนเป็นวิธีต่อมา การให้ความร้อนกับแรงลมนั้นก็ไม่สามารถควบคุมบริเวณที่ถูกกระตุ้นได้ จึงเปลี่ยนเป็นวิธีใช้ลูกเหล็กหยอดลงไป ซึ่งไม่สามารถควบคุมตำแหน่งได้แน่นอน ต่อมาจึงเปลี่ยนเป็นแบบตึงก้านก็ไม่สามารถควบคุมแรงได้อีก สุดท้ายจึงใช้วิธีกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่ควบคุมได้

จากวงจรการกระตุ้น ไฟฟ้านั้นเนื่องจากความต้านทานภายในใบไม้ขرابมีค่าสูงมาก (ประมาณ 6 MOhm ขึ้นไป) จึงต้องใช้วงจร Voltage to Current ทำให้เป็นเสมือน Current Source ประมาณ 1- 10 μ A Voltage ประมาณไม่เกิน 50 Volt จ่ายเข้าไปเพื่อกระตุ้นให้ใบไม้ขرابหุบตัวลงตามต้องการ เพื่อให้การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ไม่ทำให้ใบไม้ขرابถูกรบกวนเกินไปจนกระทั่งไม่สามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ จึงต้องใช้การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่พอดี เพื่อให้สามารถกระตุ้นซ้ำๆ ได้ตลอดเวลา

การหาพลังงานการรับแสงของใบไม้ขرابจากแสงอาทิตย์จะคิดพื้นที่ใบทั้งหมดในก้านใบ 4 ก้าน กับเวลาในการรับแสงตอนกลางวันไม้ขراب แต่เลือกความยาวคลื่นที่ไม้ขرابรับไปเป็นอาหารเป็นค่าพลังงานได้ 0.13 J

สำหรับการทดลองนั้นมี 2 แบบ คือ สอดกับพลศาสตร์

การทดลองสถิต นั้น พลังงานที่ได้จะเกิดจากการตกลงบนหัว Load cell เป็นพลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Energy) ได้ค่าพลังงานจากการสัมผัสมากกว่าจากกระแสไฟฟ้าอาจเพราะแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า ทำให้ต้นไม้ขยับสมบรูณ์กว่าจึงให้ค่าพลังงานมากกว่าเพราะฉะนั้นต้องให้พลังงานแสงอาทิตย์กับต้นไม้มากที่สุดจะได้พลังงานมากขึ้น

การทดลองพลศาสตร์ นั้น พลังงานที่ได้จะเกิดจากการตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก เป็นพลังงานศักย์โน้มถ่วง(Potential Energy) และ ทอร์ก กับความเร่งและความเร็วเชิงมุม ค่าพลังงานของศักย์โน้มถ่วงกับทอร์กนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ระดับประสิทธิภาพอาจน้อยไปเนื่องจากอาจสูญเสียจากการรับแสงหรือในต้นไม้เองค่าประมาณ 0.04 % สำหรับกรณีความเร็วเชิงมุมนั้นได้ค่าใกล้เคียงกันในการจับเวลาการตกกับเครื่อง Stroboscope ประมาณ 12 rad/s แสดงว่ามีความเร็วเชิงมุมมากพอสมควร จากการทดลองนั้นการตกของก้านไม้ขรานั้นไม่ได้ตกตามธรรมชาติ เพราะถ้าตกตามธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 1.5 s แต่ถ้าให้ก้านไม้ขราบหุบลงมา มีค่าประมาณ 3.25 s เพราะฉะนั้นเวลา 1.75 s เป็นเวลาของโมเมนต์การบิดของไม้ขราบทำการตั้งไว้ด้วยตัวเอง

โมเมนต์ความเฉื่อยมีค่าไม่มากนักแสดงว่าไม้ขราบมีความเฉื่อยในการทรงตัวกับการหมุนได้ไม่ค่อยดี ค่าเท่ากับ $0.0000135 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ หรือ $135 \text{ g}\cdot\text{cm}^2$

โดยมีแนวโน้มเพื่อนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ โดยต่อวงจรกระตุ้นเป็นแบบต่อเนื่องกันไปเพื่อให้ได้พลังงานจากใบมากที่สุดกับกลไกการเคลื่อนของไม้ขราบเมื่อมีวัตถุหรือแมลงมาเกาะ จะหุบลงทันทีทำให้กลับป่าเป็นการซ่อนพรางตัวของมัน และการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วทำให้ใบหุบนั้นเป็นกลไกที่สามารถนำมาใช้งานได้ในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมไฟปิด - เปิด

```
#include <stdio.h>
#include <reg52.h>
#include <intrins.h>

bit set;
bit Busyflag;

sbit LIGHT= P3^7;
sbit IN0 = P3^2;
sbit IN1 = P3^3;

sbit E = P1^3;
sbit RS = P1^2;
sbit RW = P1^1;
sbit BL = P1^0;
sbit D4 = P1^4;
sbit D5 = P1^5;
sbit D6 = P1^6;
sbit D7 = P1^7;
sbit ACC0 = ACC^0;
sbit ACC1 = ACC^1;
sbit ACC2 = ACC^2;
sbit ACC3 = ACC^3;
sbit ACC4 = ACC^4;
sbit ACC5 = ACC^5;
sbit ACC6 = ACC^6;
sbit ACC7 = ACC^7;

unsigned char inc,dcc,timetrack,settme,r;
static unsigned int minute,second,hour,count,count1;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

char code *title1 = "<<-Welcome to->>";
char code *title2 = "MIMOSA Mechanism";
char code *help = "H= 0-24: M= 0-60";
char code *time = "<-Mimosa Time->";
char code *blank = " ";

```

```

void eclock(void);
void LCDWI(char);
void LCDWD(char);
void i_LCD(void);
void move_nibbleH(void);
void move_nibbleL(void);
void LCD_CLR(void);
//void LCD_BLINK(void);
void print_LCD(char, char*);
void print_LCD2(char*, char*);
void msec(unsigned int);
void pulseE(void);
void pause(int);
void Busy(void);
void LCDbacklightON(void);
void LCDbacklightOFF(void);
void readclock(void);
void mode(void);
/*.....*/
//----- Initialize -----
void initialize(void){
////////////////////////////////////
//      SCON = 0x50; //serial port
      TMOD = 0x01; //of the 8051  tmod 0x25
      TH0 = 0xDC;      //9600
      TL0 = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TR0 = 1;          // Start timer 0

TI = 1;

EA = 1;          // Enable global interrupt.

EX0 = 1;        // Enable external interrupt0.

IT0 = 1;        // Detect at falling edge.

EX1 = 1;        // Enable external interrupt1.

IT1 = 1;        // Detect at falling edge.

ET0 = 1;        // Enable timer0 interrupt

// *****

timetrack = 0;
second = 0;
minute = 30;
hour = 6;
settime = 0;
LCDbacklightOFF();
LIGHT=1;
}
/*-----*/
void timer0(void) interrupt 1 using 2{
    TH0=0xDC;
    TL0=0;
    clock();
    readclock();
}
/*-----*/

void external0(void) interrupt 0 using 0{
    //_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
    inc++;
    msec(5);
    mode();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
/*-----*/
void external1(void) interrupt 2 using 1{
    LIGHT=0;
    //count++;
    //msec(10);
}
/*-----*/
void msec(unsigned int x){
    unsigned char j;
    while(x-- > 0)
        for(j=0;j<109;j++); //for 89c51 11.0592MHz * 109
}
/*-----*/
void LCDWI(char c){
    ACC = c;
    RS = 0;
    RW = 0;
    E = 0;
    //_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
    //_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
    move_nibbleH();
    pulseE();
    move_nibbleL();
    pulseE();
    //Busy();
    //msec(5);
    pause(1);
}
/*-----*/
void LCDWD(char c){
    ACC = c;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RS = 1;
RW = 0;
E = 0;
//_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
//_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
move_nibbleH();
pulseE();
move_nibbleL();
pulseE();
//Busy();
//msec(5);
pause(1);
}
/*-----*/
void i_LCD(void){
  RS = 0;
  RW = 0;
  E = 0;
  P1 = 0x30; // 0011 0000
  pulseE();
  msec(10);
  pulseE();
  msec(1);
  pulseE();
  msec(1);
  P1 = 0x20; // 0010 0000
  pulseE();
  pulseE();
  pulseE();
  //msec(3);

  LCDWI(0x28); // set 4-bit bus, more than 2 line, 5*7 dots // 0010 10xx
  //LCDWI(0x1C); // Display shift, Shift to right // 0001 11xx

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCDWI(0x0C); // on display,off cursor, no blink           // 0000 1100
LCDWI(0x06); // mode DDRAM auto address increment         // 0000 0110
LCD_CLR();
//msec(5);
}
/*-----*/
void move_nibbleH(void){
    D4 = ACC4;
    D5 = ACC5;
    D6 = ACC6;
    D7 = ACC7;
}
/*-----*/
void move_nibbleL(void){
    D4 = ACC0;
    D5 = ACC1;
    D6 = ACC2;
    D7 = ACC3;
}
/*-----*/
void LCD_CLR(void){
    LCDWI(0x01);
    msec(5);
}
/*-----*/
void LCD_BLINK(void){
    LCDWI(0x0F);
    msec(1);
}*/
/*-----*/
void print_LCD(char a, char *s){
    LCDWI(a);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(*s != 0)
    LCDWD(*s++);
}
/*-----*/
void print_LCD2(char *s1, char *s2){
    print_LCD(0x80,s1);
    print_LCD(0xC0,s2);
}
/*-----*/
void pulseE(void)
{
    E = 1;
    _nop_();
    E = 0;
}
/*-----*/
void pause(int j)
{
    int i;
    for (i = 0; i < j; i++);
}
/*-----*/
void Busy(void)
{
    E = 0;
    RW = 1;
    RS = 0;
    Busyflag = 1;
    while(Busyflag){
        E = 1;
        _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
        _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Busyflag = D7;

    E = 0;

    _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();

    _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();

    }

    RW = 0;

}

/*-----*/
void LCDbacklightON(void)
{
    BL=0;
}
/*-----*/
void LCDbacklightOFF(void)
{
    BL=1;
}
//-----
void mode(void)
{
    if(inc==1)
    {
        LCDbacklightON();
        msec(3000);
        LCDbacklightOFF();
    }

    if(inc==2)
    {
        LIGHT=1;
        inc=0;}

}

//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void clock(void)
{
    timetrack++;
    if(timetrack>=100){
        timetrack=0;
        if(++second>=60){
            second=0;
            if(++minute>=60){
                minute=0;
                if(++hour>=24){
                    hour=0;
                }
            }
        }
    }
}
//-----
void readclock(void)
{
    if(hour==6)
    {
        if(minute==30)
        {
            if(second==0)
            {
                LIGHT--;
            }
        }
    }
    if(hour==18)
    {
        if(minute==30)
        {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(second==0)
        {
            LIGHT=1;
        }
    }
}

print_LCD(0x80,time);
LCDWI(0xC0);

LCDWD(' ');
LCDWD(' ');
LCDWD(' ');
LCDWD(' ');
LCDWD(hour/10+48);
LCDWD(hour%10+48);
LCDWD(':');
LCDWD(minute/10+48);
LCDWD(minute%10+48);
LCDWD(':');
LCDWD(second/10+48);
LCDWD(second%10+48);
LCDWD(' ');
LCDWD(' ');
LCDWD(' ');
LCDWD(' ');
}
/*-----*/
void main(void)
{
    i_LCD();
    msec(400);
    print_LCD(0x80,title1);
    print_LCD(0xC0,title2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
msec(1600);  
initialize();  
msec(5);  
while(1);  
}  
/*.....*/
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้