สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลการเจริญเติบโตของถั่วงอกจากอิทธิพลของความเข้มสนามไฟฟ้าและตำแหน่งการวางเมล็ด

THE STUDY OF ELECTRIC FIELD INTENSITY AND POSITIONING AFFECTS TO THE BEAN SPROUT GROWING

T051834

ภัทรี เกียรติกำจร

PATAREE KIATGAMJORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วพ.
ว3891ก
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 51834
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2547

b. 11401679
i.....

2547

ISBN 974-9700-84-8

สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF ELECTRIC FIELD INTENSITY AND POSITIONING AFFECTS TO THE BEAN SPROUT GROWING

PATAREE KIATGAMJORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTERR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKEABANG

2004

ISBN 974-9700-84-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKEABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลการเจริญเติบโตของถั่วงอกจากอิทธิพลของความเข้มสนามไฟฟ้าและตำแหน่งการวางเมล็ด
นักศึกษา	นางสาวภัทรี เกียรติกำจร
รหัสประจำตัว	44061022
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการนำเสนอการศึกษาผลของความเข้มสนามไฟฟ้าและตำแหน่งการวางเมล็ดต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งจะใช้ถั่วงอกในการศึกษา โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาจากความสูงของลำต้นและความยาวของรากโดยทำการปรับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 20 30 40 และ 50 kV/m และตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากและแนวขนานกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของถั่วงอกในที่ไม่มีสนามไฟฟ้า โดยทำการวิเคราะห์ผลของสนามไฟฟ้าที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละค่าความเข้มสนามไฟฟ้าโดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ด้วยโปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์และยืนยันการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองแสดงว่าที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10-30 kV/m ค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นและความยาวรากจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มสนามไฟฟ้าส่วนที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 และ 50 kV/m ค่าเฉลี่ยของความสูงและความยาวรากจะมีค่าที่ลดลง และตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวสนามไฟฟ้า จะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากที่สูงกว่าในแนวขนานกับสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The study of electric field intensity and positioning affects to the bean sprout growing
Student	Miss. Pataree Kiatgamjorn
Student ID.	44061022
Degree	Master of Engineering (Electrical Engineering)
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis	Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern

ABSTRACT

In thesis, the study of the electric field intensity and positioning on bean sprout growing is presented. The electric field intensity is varied at 10, 20, 30, 40 and 50 kV/m. The positions of the bean sprout are varied at vertical and horizontal with electric field. This thesis is focused on the height of the stems and the length of the roots. The effect of electric field intensity and position on bean sprout growing is analyzed by model of finite element in MATLAB program and statistical analysis. Experimental results indicate that the height of stems and the length of roots of bean sprout are depended on the intensity of electric field at 10-30 kV/m but the effect is decreased at 40 and 50 kV/m. The bean sprout in vertical with electric field has a better growth comparison to that of horizontal with electric field.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาในทุกๆ เรื่องจาก รศ. ร.อ. ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ศ.ดร. Shuichi Nitta ผู้เชี่ยวชาญพิเศษจากประเทศญี่ปุ่นที่ช่วยให้คำปรึกษาในการเขียนบทความและแนวทางในการทำงาน

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในห้องวิจัย EMC LAB สำหรับคำแนะนำเพื่อการแก้ไขสิ่งที่ผิดพลาดและกำลังใจที่มีให้ตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ที่กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำหรับคำแนะนำดี ๆ ตลอดจนกำลังใจและรอยยิ้มที่มีให้กัน

สุดท้ายขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวสำหรับเงินทุนการศึกษาและกำลังใจที่ดีกับลูกเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภัทรี เกียรติกำจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....X

อักษรย่อและสัญญลักษณ์.....XV

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา.....2

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....3

บทที่ 2 สนามไฟฟ้าสถิต.....5

2.1 บทนำ.....5

2.2 กฎของคูลอมบ์.....5

2.3 ความเข้มของสนามไฟฟ้า.....7

2.4 พลังงานและศักย์ไฟฟ้า.....8

2.4.1 พลังที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุชนิดจุดในสนามไฟฟ้า.....8

2.4.2 ความต่างศักย์และศักย์ไฟฟ้า.....9

2.4.3 ความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าสถิต.....10

2.5 วัสดุไดอิเล็กตริก.....13

2.6 ตัวเก็บประจุและสนามไฟฟ้าในแผ่นระนาบขนานแบบคาปาซิเตอร์.....13

2.6.1 ตัวเก็บประจุ.....13

2.6.2 สนามไฟฟ้าในแผ่นระนาบขนานแบบคาปาซิเตอร์.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 โครงสร้างของเมล็ดพืชและขบวนการในการงอกของเมล็ดพืช.....18

3.1 บทนำ.....18

3.2 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดพันธุ์ทั่วไป.....18

3.2.1 ส่วนประกอบของเมล็ดพันธุ์ทั่วไป.....18

3.2.2 ชนิดของเมล็ดพันธุ์ทั่วไป.....20

3.3 ขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่ว.....21

3.3.1 แบบต่าง ๆ ของการงอก.....22

3.4 ถั่วงอก.....23

บทที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง.....25

4.1 บทนำ.....25

4.2 การสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง.....25

4.3 วงจรสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง.....25

4.3.1 หลักการทำงานของวงจรสร้างแรงดันกระแสตรง.....25

4.3.2 วงจรเรคติฟลายเออร์เต็มคลื่น.....25

4.4 วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่.....27

4.5 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....27

บทที่ 5 วิธีการจำลองผลของสนามไฟฟ้าและทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ.....32

5.1 บทนำ.....32

5.2 วิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์.....32

5.3 วิธีการสร้างแบบจำลองผลของสนามไฟฟ้า.....34

5.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสถิติ.....41

5.5 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง.....41

5.5.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต.....42

5.6 การวัดการกระจาย.....42

5.6.1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....42

5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง.....47

6.1 บทนำ.....47

6.2 วิธีการวัดค่าความเจริญเติบโตและการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลอง.....47

6.3 การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับเมล็ดพันธุ์ก่อนการปลูก.....49

6.4 เงื่อนไขและขั้นตอนในการทดลอง.....50

6.5 ผลการทดลอง.....53

6.5.1 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....56

6.5.2 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....60

6.5.3 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....63

6.5.4 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....66

6.5.5 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....69

6.5.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามไฟฟ้า.....73

บทที่ 7 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....77

7.1 วิเคราะห์ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ด.....77

7.1.1 การแบ่ง Section ภายในเมล็ดถั่วเขียว.....77

7.1.2 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m 80

7.1.3 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m 81

7.1.4 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m 82

7.1.5 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m 83

7.1.6 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m 84

7.2 วิเคราะห์ผลของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าและต่อผลของตำแหน่งการวางเมล็ดการเจริญเติบโต.....85

บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....90

เอกสารอ้างอิง.....94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก. ค่าทางสถิติ....96
มัธยฐาน 96
ฐานนิยม 96
พิสัย....97
ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ 97
ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย 98
ลำดับขั้นในการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ....98
ภาคผนวก ข. โปรแกรม Matlab....99
ภาคผนวก ค. การทดลอง....105
ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์....107

ประวัติผู้เขียน....124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 ขั้นตอนการศึกษา.....4
3.1 คุณสมบัติของถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำ.....24
4.1 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง.....29
6.1 ผลการทดลองของความสูงของลำต้นในกรณีต่าง ๆ.....54
6.2 ผลการทดลองของความยาวรากในกรณีต่าง ๆ.....55
6.3 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....56
6.4 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....58
6.5 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....60
6.6 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....61
6.7 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....63
6.8 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....64
6.9 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....66
6.10 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....67
6.11 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....69
6.12 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ.....71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

6.13 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามไฟฟ้า.....74
6.14 สรุปผลการทดลองของความเข้มสนามไฟฟ้า.....75
6.15 สรุปผลการทดลองของแนวการวางเมล็ดในแนวสนามไฟฟ้า.....76
7.1 การแบ่งอิลิเมนท์ในแต่ละ Section.....78
7.2 สรุปการคำนวณค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดโดยวิธีทางไฟไนท์อิลิเมนท์.....79
7.3 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณฮีลัมที่ Section B (แนวขวาง) และ Section C (แนวตั้งฉาก) ภายในเมล็ดถั่วเขียว.....86
8.1 สรุปผลการทดลองของแนวการวางเมล็ดในแนวสนามไฟฟ้า.....92
8.2 สรุปผลการคำนวณค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดโดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ในกรณีของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าต่างกัน.....92
8.3 สรุปผลการทดลองของความเข้มสนามไฟฟ้า.....93
ข.1 แผงผังการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม Matlab.....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

1.1 แนวคิดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....3
2.1 ขนาดของเวกเตอร์ F_2.....7
2.2 ตัวเก็บประจุ.....14
2.3 ตัวเก็บประจุในรูปแบบต่าง ๆ.....15
2.4 สนามไฟฟ้าในแผ่นระนาบขนาน.....15
3.1 ลักษณะต่าง ๆ ของเมล็ดถั่ว.....20
3.2 ขบวนการต่าง ๆ ในการงอกของเมล็ด.....22
3.3 การงอกของเมล็ดถั่ว.....23
3.4 ถั่วเขียวผิวดำและถั่วเขียวผิวมัน.....24
4.1 วงจรเรคติฟลายเออร์เต็มคลื่น.....27
4.2 วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค.....28
4.3 แผนผังของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง.....29
4.4 การจัดวางอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง.....29
4.5 รูปสัญญาณแรงดันกระแสตรงของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง Scale 5 v/div, 500 ns/div.....30
4.6 รูปสัญญาณแรงดันกระแสสลับของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง Scale 500 mv/div, 50 μs/div.30
4.7 วงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง.....31
5.1 สามเหลี่ยมของแต่ละโหนด.....36
5.2 อิลิเมนท์หลาย ๆ อันมารวมกัน.....40
5.3 ขอบเขตการยอมรับและปฏิเสธสมมุติฐานที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....46
6.1 ขั้นตอนการทดลอง.....51
6.2 กล่องพลาสติกที่ทำการทดลอง.....51
6.3 แนวการวางสนามไฟฟ้า.....52
6.4 การวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้า.....52
6.5 การวางเมล็ดในแนวขวางกับแนวของสนามไฟฟ้า.....52
6.6 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้ากับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

6.7 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m.....57

6.8 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้ากับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m.....58

6.9 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m.....59

6.10 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้ากับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m.....60

6.11 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m.....61

6.12 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้ากับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m.....62

6.13 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m.....63

6.14 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้ากับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m.....63

6.15 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m.....64

6.16 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้ากับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m.....65

6.17 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m.....65

6.18 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้า กับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m.....66

6.19 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m.....67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

6.20 การเปรียบเทียบความยาวของรากระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้า กับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m.....68
6.21 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m.....69
6.22 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้า กับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m.....69
6.23 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m.....70
6.24 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการป้อนสนามไฟฟ้า กับไม่มีการป้อนสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m.....71
6.25 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m.....72
7.1 การแบ่ง Section ภายในเมล็ดถั่วเขียว.....77
7.2 ภาพตัดภายในเมล็ดถั่วเขียว.....77
7.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Matlab ในการหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดถั่วเขียว.....78
7.4 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section D.....80
7.5 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section E.....80
7.6 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section F.....80
7.7 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section A.....80
7.8 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section B.....80
7.9 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section C.....80
7.10 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section D.....81
7.11 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section E.....81
7.12 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section F.....81
7.13 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section A.....81
7.14 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section B.....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

7.15 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section C.....81
7.16 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section D.....82
7.17 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section E.....82
7.18 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section F.....82
7.19 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section A.....82
7.20 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section B.....82
7.21 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section C.....82
7.22 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section D.....83
7.23 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section E.....83
7.24 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section F.....83
7.25 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section A.....83
7.26 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section B.....83
7.27 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section C.....83
7.28 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section D.....84
7.29 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section E.....84
7.30 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section F.....84
7.31 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section A.....84
7.32 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section B.....84
7.33 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section C.....84
7.34 การเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ด.....87
7.35 เปรียบเทียบกับความสูงลำต้น.....87
7.36 เปรียบเทียบกับความยาวราก.....87
7.35 การเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10-50 kV/m ในแนวการวางเมล็ดในแนวขวางกับแนวสนามไฟฟ้า.....88
7.36 การเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10-50 kV/m ในแนวการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวสนามไฟฟ้า.....89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

ค.1 เครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงและแผ่นเพลตที่ใช้ในการทดลอง.....105
ค.2 เมล็ดถั่วเขียว.....105
ค.3 แช่เมล็ดถั่วเขียวก่อนนำไปปลูกจริง.....105
ค.4 วางเมล็ดถั่วเขียวในกล่องพลาสติกที่เตรียมไว้.....106
ค.5 เปรียบเทียบความยาวราก.....106
ค.6 เปรียบเทียบความสูงของลำต้น.....106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันสนามไฟฟ้าได้มีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตมนุษย์และพืชเป็นจำนวนมาก เช่น มีการนำสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง (HVDC) มาใช้เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้า ใช้งานทางการแพทย์และฟิสิกส์แต่สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวมนุษย์และพืชตลอดเวลานั้นเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นจึงทำให้ไม่มีใครทราบถึงผลดีหรือเสียอย่างไรกับมนุษย์และพืช

จากการศึกษาเอกสารต่างๆ พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะทำการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กต่อการเจริญเติบโตของพืชมีบทความของนายร่มฉัตร ที่ศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบอิมพัลส์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว[1] หรือจากบทความของ Dayal และ Singh ที่นำเสนอการศึกษาผลกระทบของเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับสนามแม่เหล็กโดยดูจากค่าความสูงของเมล็ดมะเขือเทศ[2] หรือบทความของ Muraji ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่ความถี่แตกต่างกันว่ามีผลต่ออัตราการงอกของรากเมล็ดข้าวโพดอย่างไร[3] หรือจากบทความของ Hirota ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งและความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน ว่ามีผลอย่างไรต่อการงอกของเมล็ดแตงกวา[4] แต่จากบทความวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ยังไม่มีผู้ที่ทำการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืช

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และพื้นที่ส่วนใหญ่ก็เป็นพื้นที่ทางการเกษตร ส่วนสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศก็มาจากสินค้าทางการเกษตร จึงทำให้เกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา เพื่อจะทำการศึกษาผลของสนามไฟฟ้าว่าจะมีผลอย่างไรกับการเจริญเติบโตของพืช โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ถั่วงอกในการศึกษาเนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายและมีวงจรชีวิตที่สั้น ทำให้สะดวกต่อการติดตามผลการทดลองได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืชโดยจะทำการศึกษาผลของความเข้มสนามไฟฟ้าและตำแหน่งการวางเมล็ด ซึ่งจะทำการปรับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 20 30 40 และ 50 kV/m ซึ่งการเลือกค่าความเข้มสนามไฟฟ้าดังกล่าวจะพิจารณาจากผลของการเบรกดาวน์ของแหล่งจ่ายที่นำมาทำการทดลอง โดยจะศึกษาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ค่ามากที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้คือที่ 50 kV/m และระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทที่ใช้คือ 20 cm เนื่องจากค่าความสูงของต้นถั่วงอกที่ใช้ในการศึกษาความสูงเฉลี่ย 5 วันจะมีความสูงไม่เกิน 10 cm จากเหตุผลของระยะห่างระหว่างแผ่นเพลททำให้ค่าของแรงดันที่ใช้ในการทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m คือ 10 kV ซึ่งแรงดันดังกล่าวจะยังไม่เกิดเบรกดาว์นกับแหล่งจ่ายที่ทำการทดลอง ส่วนตำแหน่งการวางเมล็ดนั้นจะมีตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวขนานและตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าโดยจะทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของถั่วงอกในที่ไม่มีสนามไฟฟ้าซึ่งจะทำการศึกษาการเจริญเติบโตดังกล่าว จากความสูงของลำต้นและ ความยาวของราก โดยการเลือกแนวของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากและแนวขนานกับแนวการวางเมล็ด เนื่องจากว่าแรงที่กระทำของสนามไฟฟ้าต่อเมล็ดจะมีทิศทางที่แตกต่างกัน ซึ่งในแนวสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากจะมีทิศทางของสนามไฟฟ้าต่อส่วนของฮีลัมโดยตรง ซึ่งเป็นบริเวณของส่วนแรกที่จะเจริญเติบโตแต่ในแนวสนามไฟฟ้าที่ขนานจะมีทิศทางทำมุม 180° กับฮีลัมซึ่งอาจจะส่งผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอก โดยก่อนที่จะนำเมล็ดพันธุ์ไปปลูกในเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นนั้นจะนำเมล็ดพันธุ์ไปทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า (Treatment) ก่อนที่จะนำไปปลูกโดยการนำเมล็ดพันธุ์มาทำการคัดเลือกให้มีขนาดของเมล็ดและลักษณะต่าง ๆ โดยทั่วไปให้เหมือนกันและนำเมล็ดไปทำการวางในสนามไฟฟ้าจากนั้นจึงนำไปทำการแช่ในน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมงเพื่อเป็นการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ที่ไม่สมบูรณ์ออกก่อนจะนำไปทำการทดลอง โดยจะทำการวิเคราะห์ผลของสนามไฟฟ้าที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละความเข้มสนามไฟฟ้า โดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ด้วยโปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์และยืนยันผลการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. เนื่องจาก $F=qE$ เมื่อค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าที่แตกต่างกันทำให้แรงของสนามไฟฟ้ามีค่าต่างกันด้วยซึ่งอาจจะมีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอก
2. จากแนวของสนามไฟฟ้าที่มีต่อแนวของบริเวณฮีลัม ซึ่งเป็นที่อยู่ของส่วนประกอบของถั่วส่วนแรกที่จะมีการเจริญเติบโตซึ่งอาจจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของถั่วงอกมีความแตกต่างกัน
3. การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงของสนามไฟฟ้า $F=qE$ ก่อนที่จะนำเมล็ดพันธุ์ไปปลูกซึ่งอาจจะมีผลเชิงบวกหรือลบกับการเจริญเติบโตของถั่วงอก

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

หลักการและแนวคิดในการศึกษา จะทำการศึกษาการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วงอกที่วางไว้ในสนามไฟฟ้าเทียบกับที่ไม่ได้วางไว้ในสนามไฟฟ้า โดยที่เมล็ดถั่วงอกที่วางไว้ในสนามไฟฟ้านั้นสามารถปรับค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าและตำแหน่งในการวางเมล็ดในแนวสนามไฟฟ้าได้ ซึ่งจะใช้ศึกษาความสูงของลำต้นและความยาวของราก สำหรับการวิเคราะห์ว่าสนามไฟฟ้ามีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วงอกหรือไม่จะใช้หลักการทางสถิติในการวิเคราะห์ ส่วนการวิเคราะห์ความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดจะใช้หลักการทางไฟไนท์อิลิเมนท์ในการวิเคราะห์ว่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในเมล็ดมีความเข้มของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่าไหร่บ้างซึ่งจะสามารถเขียนขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังรูป 1.1

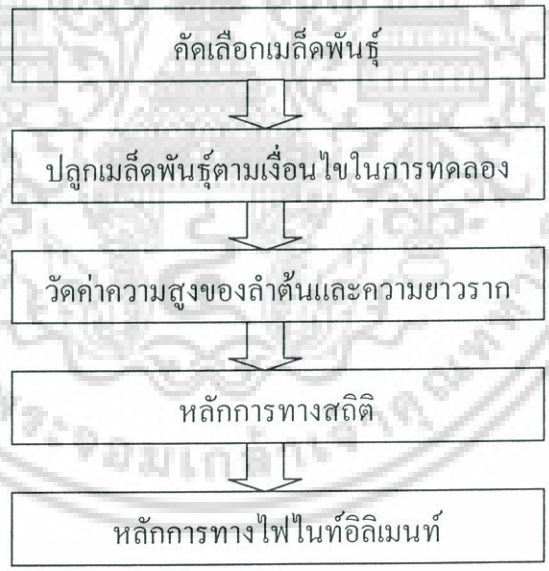
1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. วิทยานิพนธ์มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วงอกในรูปของความสูงของลำต้นและความยาวรากนับถึงวันที่ 5 ของการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 100 เมล็ดต่อหนึ่งกรณีศึกษา

2. วิทยานิพนธ์จะสามารถอธิบายผลของสนามไฟฟ้าในเงื่อนไขต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ได้คือ ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต่างกันและตำแหน่งในการวางเมล็ดพันธุ์ในแนวสนามไฟฟ้าที่ต่างกัน

3. วิเคราะห์ผลการศึกษาโดยวิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์

4. เงื่อนไขในการทำการทดลอง จะทดลองในห้องทดลองเดียวกันในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาทำให้จะมีค่าของความชื้นและอุณหภูมิในระดับเดียวกัน นอกจากนี้ยังได้ทำการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ที่นำมาใช้ในการทดลองโดยทำการทดลองปลูกแล้วดูอัตราการเจริญเติบโตให้อยู่ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วงอกซึ่งมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พืชที่ใช้ในการศึกษาคือถั่วงอกเนื่องจากเป็นพืชที่มีวงจรชีวิตที่สั้นและดูแลรักษาง่ายจึงเหมาะกับการทดลอง

2. ตัวแปรที่จะทำการศึกษาคือความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับ 10 20 30 40 และ 50 kV/m และตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวขนานและตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า รวมทั้งการทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง

3. ศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วงอกจากความสูงของลำต้นและความยาวของราก

4. วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการทางไฟไนท์อิลิเมนท์และหลักการทางสถิติ

โดยขั้นตอนในการทดลองสามารถเขียนเป็นตารางดังตารางที่ 1.1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการศึกษา

เงื่อนไขการทดลอง		วางเมล็ดแนวตั้งฉากกับแนวสนามไฟฟ้า						วางเมล็ดแนวขนานกับสนามไฟฟ้า					
		10 kV/m	20 kV/m	30 kV/m	40 kV/m	50 kV/m	ไม่มี E	10 kV/m	20 kV/m	30 kV/m	40 kV/m	50 kV/m	ไม่มี E
วางในสนามไฟฟ้าเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	แช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	แช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
สนามไฟฟ้าสถิต

2.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของสนามไฟฟ้าสถิตและกฎต่าง ๆ ที่ใช้ในสนามไฟฟ้าสถิตเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นให้เข้าใจเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าสถิตที่จะนำมาใช้ในการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งจะประกอบด้วยกฎของคูลอมบ์ ความเข้มสนามไฟฟ้า ความต่างศักย์และพลังงานที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งในการศึกษา ซึ่งสนามไฟฟ้าสถิตคือสนามไฟฟ้าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่นที่เกิดขึ้นโดยประจุอยู่กับที่โดยจะเริ่มต้นทำการศึกษาจากประจุซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นหน่วยแรกที่จะต้องทำการศึกษาโดยหน่วยของประจุมีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulomb) ประจุอิเล็กทรอนจะมีค่าประมาณ 1.6×10^{-19} C ซึ่งจะมีค่าเป็นลบส่วนในนิวเคลียสของอะตอมจะมีค่าประจุเป็นบวก

2.2 กฎของคูลอมบ์

เมื่อประมาณ 60 ปีก่อนพุทธศักราช มีนักปราชญ์ชาวกรีกชื่อธาเลส (Thales) สังเกตว่าเมื่อนำแท่งอำพันถูกับขนสัตว์ แท่งอำพันเกิดอำนาจพิเศษ สามารถดูดสำลีและขนสัตว์เบา ๆ ได้ ความสนใจของชาวกรีก ในอำนาจพิเศษมุ่งในด้านปรัชญาและหลักตรรกศาสตร์มากกว่าที่จะหาเหตุผลทางด้านวิทยาศาสตร์มาอธิบายอำนาจนี้ ชาวกรีกเรียกอำนาจพิเศษนี้ว่า electricity (อำนาจไฟฟ้า) ซึ่งมาจาก electron มีความหมายว่าอำพัน (amber) ค.ศ. 1600 Dr. Gilbert ได้ทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์แล้ว สรุปว่าแก้ว กำมะถัน โลหะ ไม้ ใบไม้ หิน ดิน น้ำ น้ำมัน ล้วนมีคุณสมบัติที่ทำให้เกิดอำนาจแรงดึงดูดระหว่างกันได้และแรงดึงดูดนี้ไม่ใช่แรงดึงดูดระหว่างมวล ในเวลาต่อมา Charles Coulomb ได้ทำการทดลองหลายครั้งโดยใช้เครื่องวัดแรงบิด และได้ใช้เครื่องมือนี้วัดแรงที่เกิดระหว่างวัตถุสองอันที่มีประจุไฟฟ้า Coulomb ได้ตีพิมพ์ข้อมูลจากการทดลองและได้พิสูจน์กฎของแรงระหว่างประจุ (คล้ายคลึงกับกฎของแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน ซึ่งค้นพบประมาณ 100 ปีก่อนนั้น) Coulomb กล่าวว่า "แรงระหว่างวัตถุเล็ก ๆ สองอันวางห่างกันในสุญญากาศหรือมิติว่าง (free space) เป็นระยะทางยาวมากเมื่อเทียบกับขนาดของวัตถุ มีขนาดของแรงแปรผันโดยตรงกับประจุบนวัตถุแต่ละอัน และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุ"[5] แรงดังกล่าวจะกระทำในแนวเส้นตรงที่ต่อระหว่างวัตถุทั้งสองและเป็นแรงผลักเมื่อประจุทั้งสองมีเครื่องหมายอย่างเดียวกัน แต่จะเป็นแรงดูดเมื่อประจุทั้งสองมีเครื่องหมายต่างกันซึ่งจะสามารถเขียนตามนิยามของคูลอมบ์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{R^2} \tag{2.1}$$

ซึ่งค่า Q_1 และ Q_2 คือ ค่าบวกหรือค่าลบของปริมาณประจุ

R คือ ระยะห่างระหว่างวัตถุ

k คือ ค่าคงที่ในระบบเอสไอ

หน่วยของประจุไฟฟ้าวัดเป็นคูลอมบ์ (Coulomb) หน่วยของระยะห่างระหว่างวัตถุเป็นเมตร และหน่วยของแรงเป็นนิวตัน ค่าคงที่จะมีค่าเป็น

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

ส่วน $\varepsilon_o = 8.854\text{x}10^{-12} = \frac{1}{36\pi}10^{-9}$ F/m

กฎของคูลอมบ์จึงมีสูตรเป็น

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R^2} \tag{2.2}$$

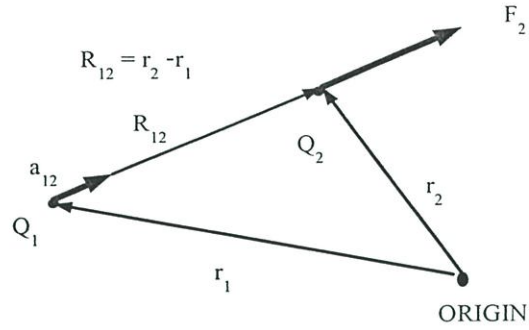
เพื่อที่จะสามารถเขียนสมการในรูปของเวคเตอร์ คูลอมบ์ยังได้กล่าวว่าแรงระหว่างประจุจะกระทำในแนวเส้นตรงที่ต่อระหว่างประจุทั้งสอง และแรงกระทำจะเป็นแรงผลักเมื่อประจุทั้งสองเหมือนกันและเป็นแรงดูดเมื่อประจุทั้งสองตรงข้ามกัน ให้เวคเตอร์ r_1 แทนเส้นตรงที่ไปที่ Q_1 และ r_2 แทนเส้นตรงที่ไปที่ Q_2 และ $R_{12} = r_2 - r_1$ แทนเส้นตรงจาก Q_1 ไป Q_2 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ขนาดของเวกเตอร์ F_2 คือแรงบน Q_2 ซึ่ง Q_1 และ Q_2 มีเครื่องหมายเหมือนกัน จากกฎของคูลอมบ์จะได้

$$F_2 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_{12}^2} a_{12} \tag{2.3}$$

โดยที่ a_{12} คือหนึ่งหน่วยเวคเตอร์ (Unit vector) ในทิศทางของ R_{12} หรือ

$$a_{12} = \frac{R_{12}}{|R_{12}|} = \frac{R_{12}}{R_{12}} = \frac{r_2 - r_1}{|r_2 - r_1|}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ขนาดของเวกเตอร์ F_2

2.3 ความเข้มของสนามไฟฟ้า

พิจารณาประจุ Q_1 ที่มีจุดแน่นอนจุดหนึ่งและเลื่อนประจุทดสอบประจุหนึ่งช้า ๆ รอบ ๆ ประจุ Q_1 จะพบว่ามีแรงกระทำต่อประจุทดสอบ กล่าวได้ว่าประจุทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีสนามไฟฟ้าในบริเวณรอบประจุ Q_1 ให้ Q_t = ประจุทดสอบตามกฎของคูลอมบ์

$$F_t = \frac{Q_1 Q_t}{4\pi\varepsilon_0 R_{1t}^2} a_{1t}$$

เขียนสมการนี้ในรูปของแรงต่อหน่วยประจุ

$$\frac{F_t}{Q_t} = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_{1t}^2} a_{1t} \qquad (2.4)$$

ปริมาณทางด้านขวามือของสมการ 2.4 จะเป็นฟังก์ชั่นของ Q_1 และเส้นตรงที่ลากจาก Q_1 ไปยังประจุทดสอบเท่านั้น สมการนี้จึงเป็นสมการที่แสดงถึงค่าสนามแบบเวคเตอร์ที่เรียกว่า ความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric field intensity) อาจให้คำนิยามของความเข้มสนามไฟฟ้าได้ว่า "เวคเตอร์ของแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยประจุบวกของประจุทดสอบ"[5] จะไม่วัดความเข้มสนามไฟฟ้าจากการทดลอง ทั้งนี้เพราะแรงกระทำบนประจุทดสอบขนาด 1 คูลอมบ์ จะทำให้เกิดแรงขนาดใหญ่ที่จะทำให้ประจุทดสอบเปลี่ยนตำแหน่งได้

ความเข้มสนามไฟฟ้ามีหน่วยเป็น หน่วยของแรงต่อหน่วยของประจุคือ นิวตันต่อคูลอมบ์ ฉะนั้นสามารถเขียนหน่วยของความเข้มสนามไฟฟ้าได้เป็นโวลต์ต่อเมตร (V/m) สัญลักษณ์ของความเข้มสนามไฟฟ้าคือ E ดังนั้น

$$E = \frac{E_t}{Q_t} \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_o R_{1t}^2} a_{1t} \tag{2.6}$$

สมการ 2.5 เป็นนิยามของความเข้มสนามไฟฟ้าและสมการ 2.6 เป็นความเข้มของสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุเดี่ยว Q_1 วางอยู่ในสูญญากาศ จะได้กล่าวถึงการหาสูตรของความเข้มสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุที่มีการจัดวางที่ยุ่งยากกว่านี้ เพื่อความสะดวกในการเขียนสมการอาจเขียนสมการ 2.6 ใหม่ได้ดังนี้

$$E = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_o R^2} a_R \tag{2.7}$$

โดยที่ R คือขนาดของเวกเตอร์ R ซึ่งเป็นเส้นตรงที่ลากจากตำแหน่งของประจุไปยังจุดที่ต้องการหาค่าของความเข้มสนามไฟฟ้า และ a_R คือหนึ่งหน่วยเวกเตอร์ในทิศทางของ R

2.4 พลังงานและศักย์ไฟฟ้า

2.4.1 พลังที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุชนิดจุดในสนามไฟฟ้า

จากนิยามความเข้มสนามไฟฟ้าว่าคือ แรงกระทำต่อหน่วยประจุทดสอบที่จุดนั้น และถ้าต้องการเคลื่อนที่ประจุต้านสนามไฟฟ้าต้องออกแรงที่เท่ากับที่กระทำในทิศตรงข้ามกับแรงที่กระทำต่อประจุทดสอบ ซึ่งหมายความว่าต้องใช้พลังงานหรือต้องทำงาน ในขณะเดียวกันถ้าต้องการเคลื่อนที่ประจุตามทิศของสนามพลังงานจะเป็นลบ นั่นคือไม่ต้องทำงานและสนามเป็นฝ่ายที่กระทำ

สมมุติว่าต้องการที่จะเคลื่อนที่ประจุ Q เป็นระยะทาง dL ในสนามไฟฟ้า E แรงที่ใช้ต่อประจุ Q เนื่องจากสนามไฟฟ้าคือ

$$F_E = QE \tag{2.8}$$

ซึ่งตัวห้อยแสดงให้ทราบว่าแรงที่กระทำเป็นแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและองค์ประกอบของแรงนี้ในทิศทางของ dL ซึ่งจะต้องเอาชนะคือ

$$F_{EL} = F_E \cdot a_L = QE \cdot a_L \tag{2.9}$$

โดยที่ a_L = หนึ่งหน่วยเวกเตอร์ในทิศทางของ dL

แรงที่ใช้ในแรงต้านเท่ากับและในทิศทางตรงข้ามกับแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{appl} = -QE \cdot a_L \tag{2.10}$$

และงานที่ใช้จะเป็นผลคูณของแรงคูณกับระยะทางที่ประจุเคลื่อนที่ นั่นคือ

$$dW = -QE \cdot dL \text{ จูลน์} \tag{2.11}$$

ปริมาณงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุอาจจะเป็นศูนย์ได้จาก E, Q หรือ dL ค่าใดค่าหนึ่งมีค่าเป็นศูนย์หรือ E กับ dL ตั้งฉากซึ่งกันและกัน อาจคิดเปรียบเทียบกับสนามแรงโน้มถ่วง ต้องให้พลังงานในการเคลื่อนที่มวลต้านสนามความโน้มถ่วง การเคลื่อนที่มวลด้วยความเร็วคงที่บนพื้นที่ไม่มีความเสียดทานเลยพลังงานที่ใช้จะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ถ้ามวลดังกล่าวมีความสูงคงที่พลังงานจะเป็นบวกหรือลบในการเคลื่อนมวลสู่ที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าตามลำดับ ในการเคลื่อนที่ประจุในสนามไฟฟ้า งานที่ต้องทำในการเคลื่อนที่ประจุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งมีระยะห่างกันจำกัดจะหาได้จาก

$$W = -Q\int_{init}^{final} E \cdot dL \tag{2.12}$$

จะต้องมีการกำหนดเส้นทางในการอินทิเกรตด้วย

2.4.2 ความต่างศักย์และศักย์ไฟฟ้า

ได้ให้นิยามของแนวคิดใหม่ของงานที่ทำโดยแหล่งพลังงานภายนอกในการเคลื่อนที่ประจุ Q จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามไฟฟ้า

$$W = -Q\int_{init}^{final} E \cdot dL$$

ได้ให้นิยามความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นแรงต่อหน่วยประจุทดสอบ จะให้คำนิยาม "ความต่างศักย์" คือ "งานที่กระทำ (โดยแหล่งงานภายนอก) ในการเคลื่อนประจุบวกหนึ่งหน่วยจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามไฟฟ้า"

$$\text{ความต่างศักย์} = V = -\int_{init}^{final} EdL \tag{2.13}$$

กำหนดให้ V_{AB} คือความต่างศักย์ระหว่าง A และ B คืองานที่ทำในการเคลื่อนที่ประจุหนึ่งหน่วยจากจุด B (ชื่อหลัง) ไปยังจุด A (ชื่อหน้า) ดังนั้นการหาค่า V_{AB} B จะเป็นจุดต้นและ A จะเป็นจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลาย จะเห็นว่า B เป็นจุดที่อยู่ห่างเป็นระยะอนันต์จากจุด A เป็นจุดที่ตั้งของประจุที่กำหนดให้ จุด A จะเป็นจุดที่สำคัญกว่า ความต่างศักย์มีหน่วยเป็นจูลน์ต่อคูลอมบ์แต่จะนิยมใช้เป็นหน่วยโวลท์มากกว่า และมีสัญลักษณ์คือ V ดังนั้นความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B คือ

$$V_{AB} = -\int_B^A E \cdot dL \tag{2.14}$$

ค่าของ V_{AB} จะเป็นบวกถ้าเป็นงานเป็นบวกที่กระทำกับประจุจาก B ไป A
งานที่ทำในการเคลื่อนประจุจากรัศมี b ไปยังรัศมี a ในแนวรัศมีของประจุชนิดเส้นยาวอนันต์

$$W = \frac{Q\rho_L}{2\pi\varepsilon_o} ln\frac{b}{a} \tag{2.15}$$

และความต่างศักย์จะได้

$$V_{ab} = \frac{W}{Q} = \frac{\rho_L}{2\pi\varepsilon_o} ln\frac{b}{a} \tag{2.16}$$

โดยทั่วไปจะเรียกศักย์ไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าสมบูรณ์ (absolute potential) ที่จุดหนึ่ง ซึ่งดีกว่าการกล่าวถึงความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุด แต่ในกรณีที่จะใช้แต่ค่าศักย์ไฟฟ้าแล้วจะต้องมีจุดอ้างอิงที่กำหนดให้ และศักย์ไฟฟ้าทุกค่าถือว่าเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าแล้วจะต้องมีข้อกำหนดด้วยว่าจุดอ้างอิงเป็นจุดใด โดยทั่วไปแล้วมักจะกำหนดให้จุดอ้างอิงศูนย์เป็น "จุดดิน" ซึ่งหมายถึงศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวของโลก ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่จุด A คือ V_A และศักย์ไฟฟ้าที่จุด B คือ V_B จะได้

$$V_{AB} = V_A - V_B \tag{2.17}$$

ซึ่ง V_A กับ V_B ต่างมีศักย์ศูนย์อ้างอิงเดียวกัน

2.4.3 ความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าสถิต

ในการนำประจุบวกจากระยะอนันต์มาที่ที่มีสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุบวกจะต้องทำงาน โดยแหล่งกำเนิดภายนอกที่นำประจุมา เนื่องจากพลังงานจะต้องไม่มีการสูญหายดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุเข้ามาจึงกลายเป็นพลังงานศักย์ ถ้าแหล่งกำเนิดภายนอกปล่อยประจุที่นำเข้ามามันก็จะมีความเร่งหนีจากประจุแรกนั่นคือประจุนั่นจะมีพลังงานจลน์และทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาพลังงานศักย์ในระบบที่ประกอบด้วยประจุหลายประจุ จะต้องหาค่างานที่กระทำโดยแหล่งกำเนิดภายนอกในการนำประจุมาวางที่ตำแหน่งใด ๆ

การนำประจุ Q_1 จากอนันต์มายังจุดใด ๆ ในอวกาศอิสระจะไม่ต้องทำงานเลยเพราะไม่ต้องทำงานด้านสนามไฟฟ้าเลย แต่ถ้านำประจุ Q_2 มายังสนามที่มี Q_1 อยู่จะต้องทำงานเป็นปริมาณเท่ากับผลคูณของ Q_2 กับศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุ Q_1 ถ้าแทนศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ Q_1 ด้วย V_{21}

งานที่ตำแหน่ง $Q_2 = Q_2V_{21}$ ในทำนองเดียวกันจะได้งานที่ตำแหน่ง $Q_3 = Q_3V_{31} + Q_3V_{32}$ และงานที่ตำแหน่ง $Q_4 = Q_4V_{41} + Q_4V_{42} + Q_4V_{43}$ ในการนำประจุหลาย ๆ ประจุมาวางในตำแหน่งต่าง ๆ

$$\text{งานทั้งสิ้น} = \text{พลังงานศักย์ของสนาม} = W_E$$

$$= Q_2V_{21} + Q_3V_{31} + Q_3V_{32} + Q_4V_{41} + Q_4V_{42} + Q_4V_{43} + \ldots \quad (2.18)$$

เนื่องจาก $Q_3V_{31} = Q_3\dfrac{Q_1}{4\pi\varepsilon_o R_{13}} = Q_1\dfrac{Q_3}{4\pi\varepsilon_o R_{31}}$

$$\therefore W_E = Q_1V_{12} + Q_1V_{13} + Q_2V_{23} + Q_1V_{14} + Q_2V_{24} + Q_3V_{34} + \ldots \quad (2.19)$$

เมื่อรวมสมการที่ 2.18 กับ สมการที่ 2.19 จะได้

$$2W_E = Q_1(V_{12} + V_{13} + V_{14} + \ldots) + Q_2(V_{21} + V_{23} + V_{24} + \ldots) + \ldots \quad (2.20)$$

ผลรวมของศักดาไฟฟ้าในแต่ละวงเล็บคือผลรวมของศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากประจุทั้งหมด ยกเว้นประจุที่วางอยู่ที่ต้องการทราบค่าศักดาไฟฟ้า นั่นคือ

$$(V_{12} + V_{13} + V_{14} + \ldots) = V_1$$

$$\therefore W_E = \frac{1}{2}(Q_1V_1 + Q_2V_2 + Q_3V_3 + \ldots) = \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{m=N} Q_mV_m \quad (2.21)$$

สำหรับพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในบริเวณที่มีประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอสามารถเขียนได้โดยแทนแต่ละประจุด้วย $\rho_v dv$ เครื่องหมายผลบวกจะแทนด้วยเครื่องหมายอินทิกรัลจะได้

$$W_E = \frac{1}{2}\int_{vol} \rho V dv \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคำนวณพลังงานศักย์ในระนาบของประจุชนิดจุดได้จากสมการ 2.22 และพลังงานศักย์ของระบบที่มีการกระจายของประจุเชิงปริมาตรจากสมการ 2.23 ต่อไปจะแสดงการหาค่าในรูปของความเข้มสนามไฟฟ้า

$$\nabla \cdot (VD) = V(\nabla D) + D(\nabla V) \tag{2.23}$$

จะใช้สมการ 2.23 ในการพิสูจน์หา W_E จากสมการที่หนึ่งของแมกซ์เวลแทนค่า ρ ด้วย $\nabla \cdot D$ จะได้

$$W_E = \frac{1}{2}\int_{vol} \rho V dv = \frac{1}{2}\int_{vol} (\nabla \cdot D)V dv$$
$$= \frac{1}{2}\int_{vol} [\nabla \cdot (VD) - D \cdot (\nabla V)] dv$$

เมื่อใช้ทฤษฎีไดเวอร์เจนซ์จะได้

$$\int_{vol} \nabla \cdot (VD) dv = \frac{1}{2}\oint (VD) \cdot dS$$

โดยที่พื้นผิวปิดล้อมรอบปริมาตรที่มีประจุทั้งหมดอยู่ภายในปริมาตรนั้น และจะไม่มีประจุภายนอกปริมาตรเลย อาจคิดให้ปริมาตรเป็นอนันต์ก็ได้

$$W_E = \frac{1}{2}\oint_s (VD) \cdot dS - \frac{1}{2}\int_{vol} D(\nabla V) dv$$

$\oint_s (VD) \cdot dS$ มีค่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้เพราะพื้นผิวปิดรอบปริมาตรอนันต์ จะเห็นว่าภายในบริเวณนี้ V มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วอย่างน้อยผกผันกับ r ยกกำลังหนึ่ง ส่วน D มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วอย่างน้อยผกผันกับ r ยกกำลังสอง แต่พื้นผิวเล็ก dS จะเป็นส่วนของทรงกลมและแปรผันโดยตรงกับ r^2 เท่านั้นดังนั้นเทอม $(VD) \cdot dS$ จึงเป็นศูนย์ทำให้ $\oint_s (VD) \cdot dS$ เป็นศูนย์ด้วย

$$W_E = -\frac{1}{2}\int_{vol} D(\nabla V) dv$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า ∇V ด้วย $-E$

$$W_E = -\frac{1}{2}\int_{vol} D \cdot E dv = \frac{1}{2}\int_{vol} \varepsilon_o E^2 dv \qquad (2.24)$$

2.5 วัสดุไดอิเล็กตริก

วัสดุไดอิเล็กตริกเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้น้อยมากหรือไม่นำไฟฟ้าเลย อิเล็กตรอนในโมเลกุลของไดอิเล็กตริกไม่สามารถหลุดพ้นออกไปจากโมเลกุลได้ แม้ว่าจะมีสนามไฟฟ้าจากภายนอกมากระทำ (ยกเว้นเมื่อสนามไฟฟ้ามีความเข้มสูงมาก ๆ จนไดอิเล็กตริกเกิดการเสียสภาพ กลายเป็นตัวนำ) ประจุภายในโมเลกุลของไดอิเล็กตริกจึงเป็นประจุผูกผันทั้งหมดอย่างไรก็ตาม เมื่อมีสนามไฟฟ้ามากระทำ ประจุบวกและลบในโมเลกุลของไดอิเล็กตริกจะสามารถแยกตัวออกห่างจากกันเล็กน้อย

2.6 ตัวเก็บประจุและสนามไฟฟ้าในแผ่นระนาบขนานแบบตัวเก็บประจุ

2.6.1 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุโดยทั่วไปประกอบด้วยตัวนำ 2 ผิวคั่นด้วยชั้นของตัวกลางประเภทฉนวนที่เรียกว่าไดอิเล็กตริก จุดประสงค์ของตัวเก็บประจุคือเพื่อเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยความเค้นทางไฟฟ้าที่กระทำต่อไดอิเล็คทริก คุณสมบัติของตัวเก็บประจุในการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้านั้นเรียกว่า "ความจุไฟฟ้า" กำหนดให้ความต่างศักย์ระหว่างตัวนำสองอันเป็น V_o จะนิยามได้ว่า "อัตราส่วนของขนาดของประจุสุทธิบนตัวนำหนึ่งต่อความต่างศักย์ระหว่างตัวนำทั้งสอง" [5]

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_o A}{d} \qquad (2.25)$$

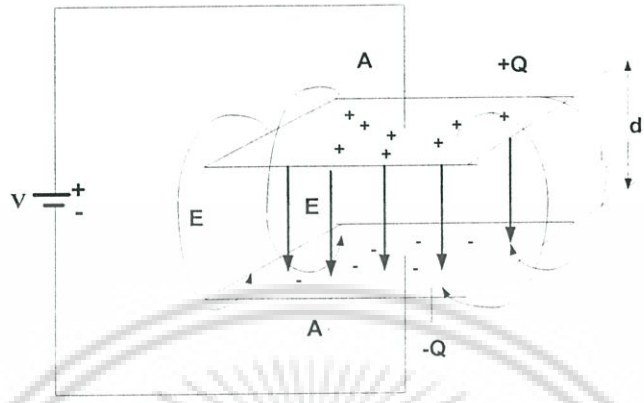
หน่วยของตัวเก็บประจุคือคูลอมบ์ต่อโวลท์ (C/V) หรือฟารัด (F)

เมื่อทำการใส่สาร Dielectric เข้าไปแทนที่ช่องว่างอากาศจะทำให้ได้

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \qquad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า ε คือ $\varepsilon_0\varepsilon_r$ และถ้าทำการเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นเพลตไปเป็นลักษณะอื่นโดยให้ประจุอิสระ $+Q$ อยู่บนแผ่นเพลตหนึ่งและ $-Q$ อยู่บนอีกแผ่นเพลตหนึ่งเส้นแรงสนามไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับประจุที่ปิดล้อมซึ่งเป็นไปตามกฎของเกาส์ทำให้ได้



รูปที่ 2.2 ตัวเก็บประจุ

$$Q = \oint_S D \cdot ds \tag{2.27}$$

และค่าของความต่างศักย์ที่ให้ค่าจากตัวของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับตัวเก็บประจุที่จุด 2 จุดคือจุด P_1 และ P_2 บนพื้นผิวจะได้

$$V_2 = -\int_{P_1}^{P_2} E \cdot dl \tag{2.28}$$

แทนค่าจะได้

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\oint_d D \cdot ds}{-\int_{P_1}^{P_2} E \cdot dl} = \frac{-\varepsilon \oint E \cdot ds}{\int_{P_1}^{P_2} E \cdot dl} \tag{2.29}$$

สมมุติให้รูปร่างที่ 1 มีค่าความต่างศักย์เท่ากับ V_1 และรูปร่างที่ 2 มีค่าความต่างศักย์เท่ากับ V_2 พลังงานที่เก็บในสนามจะสามารถคำนวณได้จาก

$$W_1 = \frac{1}{2}\int_S \rho_{S1} V_1 ds$$

ซึ่ง S_1 คือพื้นผิวของรูปร่างที่ 1 และ ρ_{S1} เป็นพื้นผิวของประจุ สำหรับรูปร่างที่ 2 จะได้

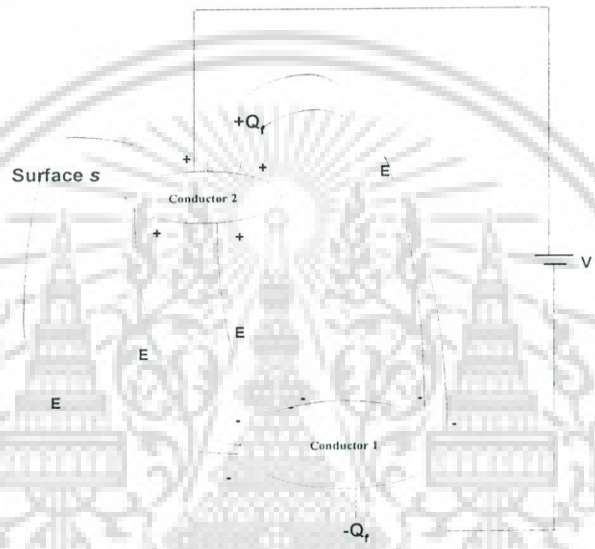
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_2 = \frac{1}{2}\int_S \rho_{S2} V_2 ds$$

ซึ่งจะสามารถแทนค่าได้เป็น

$$W_1 = \frac{1}{2} V_1 \int_{S1} \rho_{s1} ds = \frac{1}{2} V_1 (-Q)$$

$$W_2 = \frac{1}{2} V_2 (Q)$$

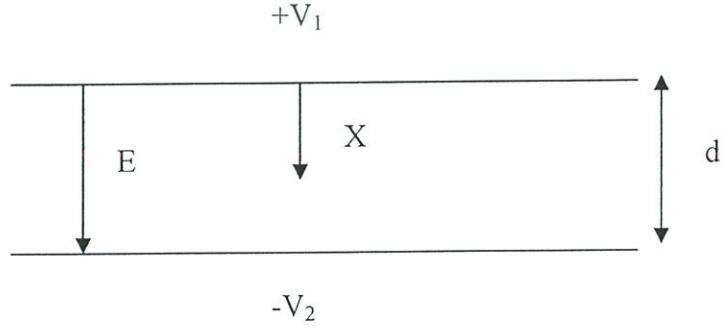


รูปที่ 2.3 ตัวเก็บประจุในรูปแบบต่าง ๆ

ดังนั้นพลังงานที่เก็บบนตัวสนามจะมีค่าเท่ากับ

$$W_E = \frac{1}{2} Q(V_2 - V_1) = \frac{1}{2} QV \qquad (2.30)$$

2.6.2 สนามไฟฟ้าในแผ่นระนาบขนานแบบตัวเก็บประจุ [6]



รูปที่ 2.4 สนามไฟฟ้าในแผ่นระนาบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial \phi}{\partial Y} = 0$$
$$\frac{\partial \phi}{\partial Z} = 0 \qquad (2.31)$$

สมการของลาปาซ ในระบบคาร์ทีเชียน คือ

$$\Delta\phi = div\ \text{grad}\ \phi = \nabla \cdot \nabla \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial Z^2} \qquad (2.32)$$

พิจารณาจากรูปลักษณะทางเลขาคณิตของอิเลคโตรต จะเห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าในแนวแกน Y และ Z ฉะนั้นสมการของลาปาซจะยุบเหลือเพียง

$$\Delta\phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial X^2} = 0 \qquad (2.33)$$

ฉะนั้น

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = K_1$$
$$\phi(x) = K_1 x + K_2 \qquad (2.34)$$

โดยค่า K_1 และ K_2 เป็นค่าคงที่
เมื่อใส่เงื่อนไขขอบเขต คือ

$$\phi(x = 0) = V_1$$
$$\phi(x = d) = V_2$$

จึงหาค่าคงตัว K_1 และ K_2 ได้

$$\phi(0) = K_2 = V_1$$
$$\phi(d) = K_1 d + V_1 = V_2$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$K_1 = \frac{V_2 - V_1}{d}$$

ฉะนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าในแนวแกน x

$$\phi(x) = \frac{V_2 - V_1}{d} \cdot x + V_1 \tag{2.35}$$

และ

$$\begin{aligned} \vec{E}(x) &= -grad\phi(x) \\ &= -\frac{\partial\phi}{\partial x}\frac{\vec{x}}{x} = \frac{-(V_2 - V_1)}{d}\hat{x} \\ &= \frac{V_1 - V_2}{d}\hat{x} \end{aligned} \tag{2.36}$$

ความต่างศักย์ V_1-V_2 ก็คือแรงดัน U ที่ป้อนเข้าไประหว่างแผ่นระนาบให้ V_2 เป็นศูนย์และเป็นศักย์อ้างอิงจะได้

$$E(x) = \frac{U}{d}\hat{x} \tag{2.37}$$

ค่าสนามไฟฟ้าจากสมการที่ 2.37 เป็นค่าของสนามไฟฟ้าในแผ่นระนาบขนานแบบตัวเก็บประจุ ซึ่งใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยสนามไฟฟ้ากระแสตรงที่จะประยุกต์กับงานวิจัยนี้จะใช้ที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10-50 kV/m ซึ่งการสร้างแหล่งกำเนิดค่าความเข้มสนามไฟฟ้าจะกล่าวในบทที่ 4

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงทฤษฎีของสนามไฟฟ้าสถิตซึ่งจะเป็นความรู้เบื้องต้นที่ทำให้เข้าใจถึงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เป็นตัวแปรหนึ่งในการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยใช้สมการที่ 2.37 ในการคำนวณค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51834

บทที่ 3
โครงสร้างของเมล็ดพืชและขบวนการในการงอกของเมล็ดพืช

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของเมล็ดพืชซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็คือ เมล็ดถั่วว่าประกอบด้วยอะไรบ้างและมีส่วนใดมีผลกับขบวนการในการงอกอย่างไรบ้าง และหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงชนิดของเมล็ดถั่วงอกและปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

3.2 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดพันธุ์ทั่วไป

เมล็ดพันธุ์ตามความหมายของพฤกษศาสตร์หมายถึง คัพภะ (Embryo) ที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Embryo) หรือโอวุลที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Ovule) หรืออีกนัยหนึ่งคือ ผลที่สุกแก่แล้ว (Mature Fruit) นั่นเอง[7]. เมล็ดพันธุ์เป็นตัวนำลักษณะต่าง ๆ ที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุ์กรรมจากชั่วชีวิตหนึ่งไปยังอีกช่วงชีวิตหนึ่ง เมล็ดพันธุ์เมล็ดหนึ่งอาจเป็นโอวุลที่เจริญเติบโตเต็มที่ เช่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดแตงโมและเมล็ดถั่วลันเตาเป็นต้น หรือเมล็ดพันธุ์เมล็ดหนึ่งอาจประกอบด้วยส่วนของเมล็ดและส่วนของผลรวมอยู่ด้วยกัน เช่น เมล็ดข้าว เมล็ดข้าวโพด เมล็ดข้าวฟ่างและผลมะพร้าวเป็นต้น

3.2.1 ส่วนประกอบของเมล็ดพันธุ์ทั่วไป

เมล็ดพันธุ์หนึ่งหน่วย (Seed Unit) มีส่วนประกอบที่เป็น โครงสร้างและหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกันอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน คือ

1. เปลือก (Covering Part หรือ Protective Coat) เป็นส่วนซึ่งห่อหุ้มเมล็ดอยู่ภายนอก เปลือกอาจเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat หรือ Testa) ที่เจริญเติบโต และพัฒนามาจากส่วนของเยื่อหุ้มโอวุลหรืออาจเป็นเปลือกของผลและเยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ด้วยกัน เปลือกของเมล็ดในกรณีหลังนี้ อาจมีส่วนของเปลือกของผลและเยื่อหุ้มเมล็ดเชื่อมติดกันบางส่วนหรือเชื่อมติดกันทั้งเมล็ด เปลือกหรือสิ่งห่อหุ้มนี้นอกจากจะทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับส่วนประกอบอื่น ๆ ของเมล็ดที่อยู่ภายในแล้ว เปลือกยังทำหน้าที่ควบคุมการดูดซึมน้ำ อากาศ และป้องกันไม่ให้เชื้อโรคและแมลงเข้าทำลายเมล็ดด้วย เปลือกที่มีสีต่าง ๆ แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช เปลือกของเมล็ดพืชบางชนิดหนาและแข็ง เช่น เปลือกของเมล็ดเกาลัด เป็นต้น แต่เปลือกของเมล็ดพืชอีกหลาย ๆ ชนิดมีลักษณะบาง เช่น เปลือกของเมล็ดถั่วเหลืองหรือเมล็ดของถั่วลันเตา เป็นต้น ในเมล็ดพืชบางชนิดบนส่วนของเปลือกเมล็ด มีสารยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตอยู่ด้วย สารยับยั้งการเจริญเติบโตเหล่านี้มีหลายชนิดและมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิด พันธุ์ อายุและความเก่าใหม่ของเมล็ดพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้นอ่อน (Embryonic axis) เป็นส่วนประกอบของเมล็ดพันธุ์ที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไป ต้นอ่อนประกอบด้วยยอดอ่อน (Plumule) และรากอ่อน (Radicle) โดยทั่วไปต้นอ่อนมักมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่น ๆ ของเมล็ดพันธุ์ ต้นอ่อนมีรูปร่างลักษณะและขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและอายุของเมล็ดพันธุ์

3. เนื้อเยื่อที่เก็บสะสมอาหาร (Storage Tissue หรือ Supporting Part) ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารไว้สำหรับต้นอ่อนมีขนาดเล็ก ในการเจริญเติบโตจึงจำเป็นต้องใช้แร่ธาตุอาหารต่าง ๆ เป็นแหล่งของพลังงาน เพื่อใช้สร้างเซลล์เนื้อเยื่อ และอวัยวะขึ้นมาใหม่ อาหารที่สะสมไว้จึงมีประโยชน์กับเมล็ดพันธุ์ ตั้งแต่ระยะแรกของการงอกไปจนกว่าต้นอ่อนซึ่งเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่สามารถสังเคราะห์แสงสร้างอาหารขึ้นเองได้ เนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารของเมล็ดพันธุ์แบ่งออกมาตามการกำเนิดได้ 3 ชนิดคือ

ก. ใบเลี้ยง (Cotyledons) เป็นอวัยวะชุดแรกของคัพภะ ซึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารด้วย ใบเลี้ยงเป็นอวัยวะซึ่งประกอบขึ้นด้วยเนื้อเยื่อที่มีชีวิต เซลล์ต่าง ๆ ของใบเลี้ยงจึงมีการแบ่งตัวและขยายตัวได้เมื่อเมล็ดงอก ตัวอย่างของเมล็ดที่มีใบเลี้ยงที่เป็นส่วนที่เก็บสะสมอาหาร ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วฝักยาว กระถิน ผักบุ้งและแตงโม เป็นต้น ใบเลี้ยงของเมล็ดพืชบางชนิดทำหน้าที่เป็นเพียงอวัยวะส่วนหนึ่งของคัพภะแต่ไม่เก็บสะสมอาหาร ตัวอย่างเช่นใบเลี้ยงของข้าว ข้าวโพดและเมล็ดธัญพืชอื่น ๆ

ข. เอนโดสเปอร์ม (Endosperm) จัดเป็น “Extra-Embryonic-Organ” ซึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร พบในเมล็ดที่สุกแก่แล้วของข้าว ข้าวโพด และธัญพืชต่าง ๆ รวมทั้งเมล็ดพืชตระกูลหญ้า โดยทั่วไปเมื่อเมล็ดสุกแก่แล้ว เอนโดสเปอร์มจะไม่มีชีวิต

ค. เพอริสเปอร์ม (Perisperm) เป็นเนื้อเยื่อซึ่งไม่มีชีวิต มีกำเนิดมาจากส่วนของนิวเซลลัสในเอมบริโอแซค (Embryo Sac) จึงมีโครโมโซม 2 ชุดเหมือนกับต้นแม่ เมล็ดพันธุ์พืชที่มีเพอริสเปอร์มทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารได้แก่ บีทและพลู

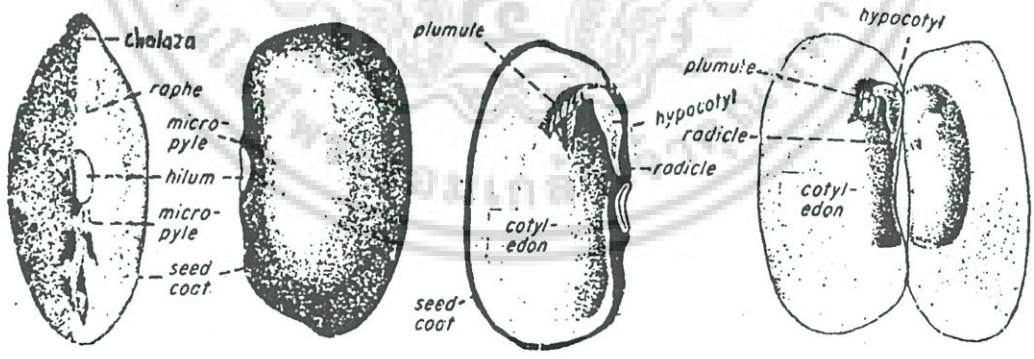
ปกติแล้วเมล็ดพืชแต่ละชนิดมีใบเลี้ยง หรือเอนโดสเปอร์ม หรือเพอริสเปอร์มอย่างใดอย่างหนึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร แต่มีเมล็ดพืชบางชนิดที่มีทั้งใบเลี้ยงและเอนโดสเปอร์มหรือเพอริสเปอร์มทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร อาหารกลุ่มใหญ่ ๆ ที่เนื้อเยื่อส่วนที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารเก็บสะสมไว้สำหรับให้ต้นอ่อนนำไปใช้ในระยะแรกของการงอกนี้มีอยู่ 3 ชนิดคือไขมัน คาร์โบไฮเดรทและโปรตีน นอกจากอาหารทั้ง 3 ชนิดนี้แล้ว ในเมล็ดยังมีวิตามิน แร่ธาตุอาหารต่าง ๆ และสารประกอบอื่น ๆ อีกด้วย เมล็ดธัญพืชส่วนใหญ่มีคาร์โบไฮเดรทอยู่สูง ส่วนเมล็ดตระกูลถั่วมีโปรตีนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ชนิดของเมล็ดพันธุ์ทั่วไป

เมล็ดพืชต่างชนิดกันย่อมแตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นขนาด รูปร่าง สีสัน ลักษณะภายนอก ภายใน ปริมาณของอาหารที่สะสมเอาไว้ หรืออื่น ๆ อีกก็ตาม นักพฤกษศาสตร์ที่เชี่ยวชาญในเรื่องของเมล็ดพืชจึงสามารถที่จะนำเอาลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นมาทำการจำแนกชนิดพืชได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อื่น ๆ เลย ชนิดของเมล็ดส่วนมากนิยมจำแนกออกตามจำนวนใบเลี้ยงที่มีอยู่และการที่มีหรือไม่มีเอนโดสเปอร์ม คือ เมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่ที่ไม่มีเอนโดสเปอร์ม เมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีเอนโดสเปอร์มและเมล็ดพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ซึ่งเมล็ดของถั่วที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นแบบเมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่ที่ไม่มีเอนโดสเปอร์ม จึงขอกล่าวถึงเพียงแค่แบบเมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่ที่ไม่มีเอนโดสเปอร์ม

เมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่ที่ไม่มีเอนโดสเปอร์ม ได้แก่ เมล็ดถั่วต่าง ๆ มะขาม บัวและทานตะวันพวกเมล็ดถั่วส่วนมากมีรูปร่างคล้ายไตคนซึ่งส่วนนอกที่เราเห็นนั้นคือ เปลือกหุ้มเมล็ดตรงรอยเว้าเข้าไปของเมล็ดมีแผลเป็นเล็ก ๆ รูปไข่คือฮีลัม (Hilum) และที่ใกล้ ๆ กับฮีลัมจะมีรูเล็ก ๆ เป็นไมโครไพล์ (Micropyle) นอกจากนี้แล้ว บนเปลือกหุ้มเมล็ดยังเห็น Raphe และ Chalaza เมื่อลอกเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออกเสียส่วนที่เหลือทั้งหมดนั้นคือคัพภะ ไม่มีเอนโดสเปอร์มเลยคัพภะที่เห็นนี้ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อซึ่งดูดและสามารถสะสมอาหารเอาไว้มาก จึงหนา สามารถแยกออกได้เป็น 2 ซีก คือ ใบเลี้ยง (Cotyledon) 2 ใบนั่นเองทางด้านในของใบเลี้ยงบริเวณใกล้ ไมโครไพล์ ก็เห็นรากอ่อน (Radicle) มีปลายจ่อตรงไมโครไพล์ พอดีต่อจากรากอ่อนจะเป็นส่วน Hypocotyle และ Epicotyl ซึ่งตรงปลายเป็นส่วนที่เรียกว่า ยอดอ่อน (Plumule) อันประกอบด้วยใบแท้อ่อน ๆ 2 ใบล้อมรอบยอดอ่อนที่อยู่ตรงกลางเอาไว้



รูปที่ 3.1 ลักษณะต่าง ๆ ของเมล็ดถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขบวนการในการงอกของเมล็ด

การที่เมล็ดงอกนั้นหมายถึง เมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งอยู่ในระยะพักผ่อนเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้นกล้า เพื่อเจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไป [7]

1. การดูดน้ำของเมล็ด เมล็ดพืชโดยทั่วไปมีความชื้นต่ำประมาณ 8-13% การที่เมล็ดจะงอกนั้น เมล็ดต้องได้รับปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการงอกอย่างพอเพียง ฉะนั้นขบวนการแรกที่เกิดขึ้นก็คือ การดูดน้ำของเมล็ด เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้นและอยู่ในปริมาณที่พอเพียงต่อการเกิด ขบวนการแรกที่เกิดขึ้นก็คือการดูดน้ำของเมล็ด เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้นและอยู่ในปริมาณที่พอเพียงต่อการเกิดขบวนการต่าง ๆ สำหรับการงอก ในระหว่างการดูดน้ำของเมล็ดนี้ เมล็ดจะดูดน้ำอย่างรวดเร็วแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ลักษณะของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนาดของเมล็ด และอุณหภูมิในขณะนั้น ปริมาณความชื้นในเมล็ดที่จะทำให้ขบวนการงอกเกิดขึ้นได้นี้แตกต่างกันไปในเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ

2. การย่อยสลายอาหารและการหายใจ เมื่อน้ำเข้าไปสู่ภายในเมล็ดในปริมาณที่พอเพียงแล้ว น้ำจะไปกระตุ้นการทำงานขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ของเมล็ด ขณะเดียวกันน้ำก็จะช่วยละลายโปรโตปลาสซึม และช่วยให้ออกซิเจน O_2 เข้าไปสู่ภายในเมล็ด ทำให้มีการย่อยสลายอาหารต่าง ๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดในส่วนของเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมอาหารให้เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ในรูปที่ละลายน้ำและเคลื่อนย้ายได้ส่งไปเลี้ยงส่วนของคัพภะที่จุดเจริญ ขณะเดียวกันในการย่อยสลายอาหารต่าง ๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดจะมีพลังงานเกิดขึ้น พลังงานเหล่านี้จะถูกใช้ไปในการเคลื่อนย้ายและสร้างอาหารโดยส่วนของคัพภะต่อไป

3. การเคลื่อนย้ายและขนส่งอาหาร เมื่ออาหารต่าง ๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ในรูปที่ละลายน้ำ ก็จะเคลื่อนย้ายไปยังจุดเจริญ เพื่อสร้างหรือสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่เพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนต่อไป

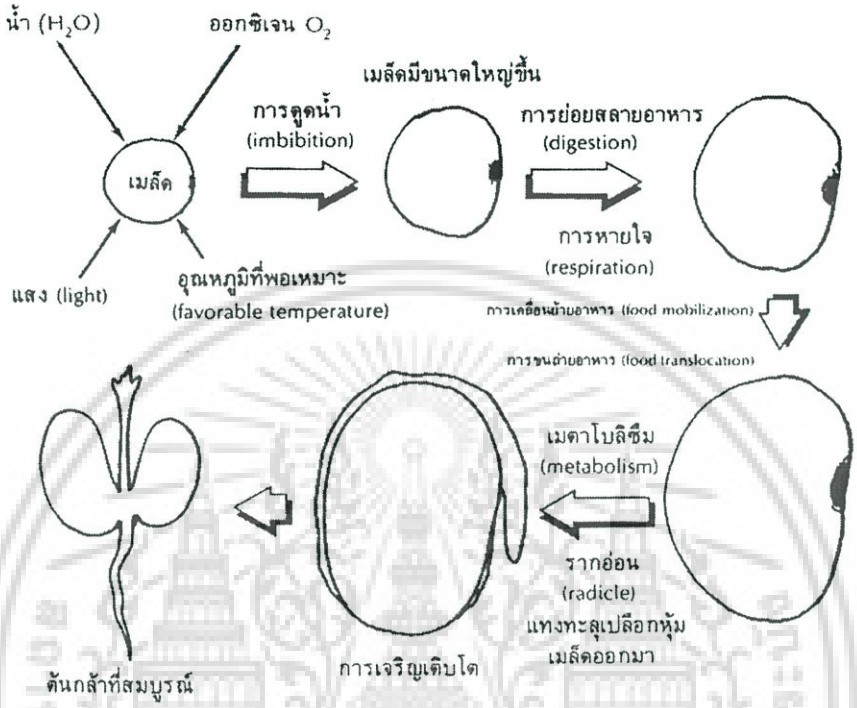
4. เมตาโบลิซึม เมื่อส่วนของต้นอ่อนหรือจุดเจริญในเมล็ดได้รับพลังงานที่เกิดจากขบวนการหายใจ และได้รับแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ส่งมาจากส่วนของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะที่เก็บสะสมอาหาร ต้นอ่อนก็จะเริ่มมีการสร้างหรือสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโต

5. การเจริญเติบโต หลังจากที่ส่วนของต้นอ่อนมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ให้พอเพียงต่อการเจริญเติบโตแล้วปรากฏการณ์ที่จะเห็นได้ชัดก็คือ การยืดตัวของจุดเจริญซึ่งเกิดขึ้น เนื่องจากการแบ่งเซลล์ และการยืดตัวของเซลล์ โดยทั่วไปส่วนของรากอ่อนจะมีการเจริญเติบโตปรากฏให้เห็นก่อนส่วนของลำต้นหรือยอดอ่อนดังนั้น การเจริญเติบโตที่เห็นได้ชัดก่อนสิ่งอื่นก็คือ การที่รากอ่อนโผล่ออกมาจากเปลือกที่หุ้มเมล็ดทางไมโครไพล์ โดยดันให้เปลือกหุ้มเมล็ดแตกออก ติดตามด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญของลำต้นหรือยอดอ่อนจนได้ต้นกล้าที่เจริญเติบโตเต็มที่ พร้อมที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นพืชที่แข็งแรงต่อไป

ซึ่งสามารถจะประเมินขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการงอกของเมล็ดได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 ขบวนการต่าง ๆ ในการงอกของเมล็ด

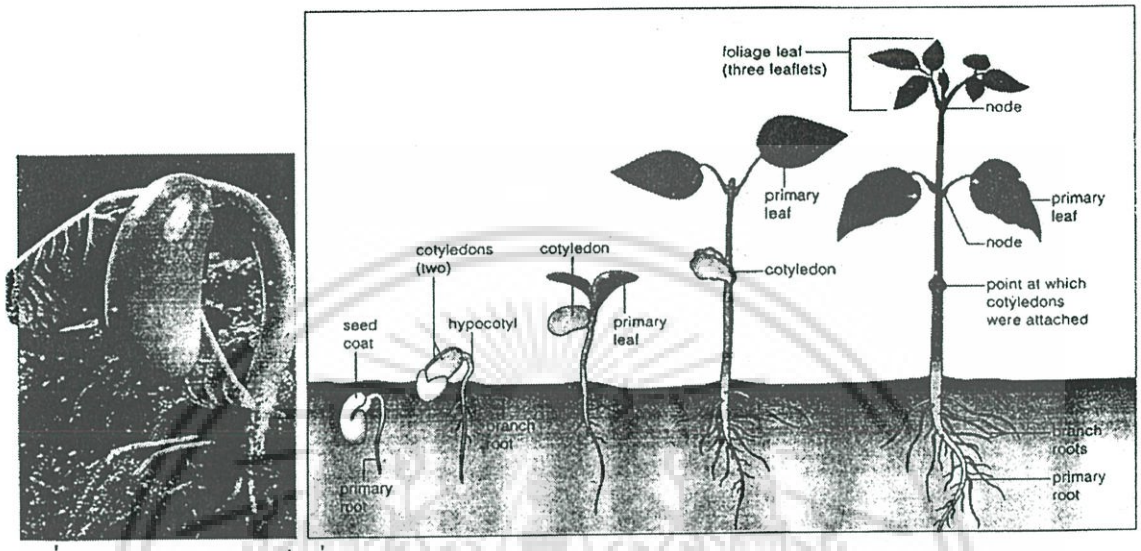
3.3.1 แบบต่าง ๆ ของการงอก

การงอกของเมล็ดอาจจะกล่าวได้ว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของคัพภะไปเป็นต้นกล้า (seedling) ที่สมบูรณ์ ในการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยานี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าคือ

1. Epigeal germination คืองอกแล้วชูใบเลี้ยงขึ้นมาเหนือดิน ได้แก่ การงอกของพวกถั่ว (Bean) เป็นส่วนใหญ่ โดยส่วนของคัพภะ ที่งอกพ้นเปลือกหุ้มเมล็ดออกมาเป็น ส่วนแรกคือรากอ่อนโดยแทงทะลุไมโครไพล์ออกมาอย่างรวดเร็ว แล้วพุ่งลงดินกลายเป็น รากแก้ว (Primary root) และมีรากแขนงแตกออกไปด้วย เพื่อช่วยดูดน้ำและอาหารมาเลี้ยงต้นอ่อนต่อไป ต่อจากนั้น Hypocotyls ก็งอกตามรากอ่อนออกมาและเจริญเติบโตยืดตัวรวดเร็วมาก พร้อมกับพยายามดึงเอาส่วนอื่นของคัพภะออกจากเมล็ด ซึ่งในตอนนี้ปลอกหุ้มเมล็ดแตกออกไปแล้ว ในพืชใบเลี้ยงคู่ส่วนมากจะโค้งขึ้นเพื่อให้มีแรงฉุดคัพภะ ออกจากเปลือก เมื่อหลุดออกมาแล้วมันจะค่อย ๆ ตั้งตรงขึ้น ใบเลี้ยง 2 ใบก็จะกางออก เผยให้เห็นลำต้นเหนือใบเลี้ยงและยอดอ่อนซึ่งค่อย ๆ กางใบแท้เล็ก ๆ ออก เห็นตาของยอดอ่อนซึ่งจะเจริญเติบโตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Hypogeal germination ได้แก่ การงอกของพวกถั่วเมล็ดกลม (pea) เป็นส่วนใหญ่เช่น ถั่วลันเตา นอกจากนั้นก็มีส้มหญ้าและข้าวต่าง ๆ มะพร้าว ฯลฯ ซึ่งพวกนี้มักจะมี Caulicle ส่วนใบเลี้ยงและยอดอ่อนยาวและเจริญเติบโตยืดตัวเร็วมาก ดังนั้นเมื่องอกใบเลี้ยงและยอดอ่อนเท่านั้นทั้งงอกขึ้นมาเหนือดิน ไม่ฉุดเอาใบเลี้ยง ขึ้นมาเหนือดิน คงทิ้งให้จมอยู่ใต้ดินทั้งหมด



รูปที่ 3.3 การงอกของเมล็ดถั่ว

3.4 ถั่วงอก

ถั่วงอกเป็นต้นอ่อนที่งอกออกมาจากเมล็ดถั่ว โดยส่วนมากนิยมเพาะเพื่อนำมารับประทานเป็นอาหารคือ เมล็ดถั่วเขียว ถั่วงอกจัดเป็นผักชนิดหนึ่ง เป็นผักที่ยังเป็นหน่ออ่อนที่เพิ่งโผล่พ้นเมล็ดโดยอาศัยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ถูกสะสมไว้ในเมล็ดเพื่อรอวันที่จะเติบโตเป็นต้นถั่ว แต่เมื่อเรานำมาเพาะในสภาพที่เหมาะสมใบเลี้ยงกับรากของต้นถั่ว จึงยังไม่โผล่เป็นต้นกล้ายังเป็นแค่หน่ออ่อนของถั่วเราจึงเรียกว่าถั่วงอก เมล็ดถั่วเขียวที่สามารถนำมาเพาะเป็นถั่วงอกนั้นมี 2 พันธุ์ คือ ถั่วเขียวผิวมันกับถั่วเขียวผิวดำ โดยถั่วเขียวผิวมันมีแหล่งปลูกอยู่แถวเพชรบูรณ์ เมล็ดมีสีเขียวและมีผิวมัน ส่วนถั่วเขียวผิวดำมีแหล่งปลูกอยู่แถวสุโขทัย โดยคุณสมบัติของถั่วเขียวทั้งสองชนิดที่สามารถนำมาเพาะเป็นถั่วงอกได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เลือกเอาถั่วเขียวผิวมันมาใช้ในการทดลองทำการเพาะเป็นถั่วงอก เนื่องจากตามตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเขียวผิวมันจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่าถั่วเขียวผิวดำ และถั่วเขียวผิวมันมีเมล็ดพันธุ์ที่หาซื้อมาใช้ในการทดลองที่ง่ายกว่า โดยในการเลือกเมล็ดพันธุ์มาเพื่อใช้ในการทดลองควรเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ใหม่สะอาดและเป็นเมล็ดพันธุ์ที่เพิ่งเก็บเกี่ยวมาจากแปลงปลูกไม่ควรเกิน 6 เดือนถึง 1 ปี ดังนั้นในขั้นตอนแรกของการเพาะถั่วงอกควรจะนำเมล็ดถั่วเขียวที่นำมาทดลองมาทำความสะอาด โดยการนำถั่วเขียวมาล้างน้ำ

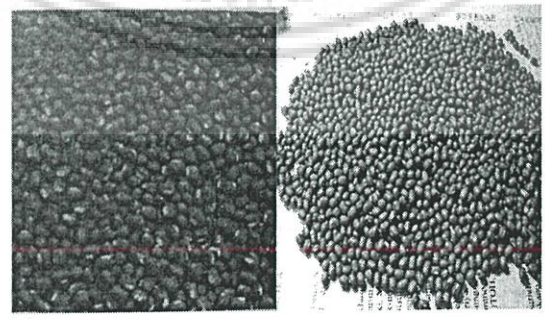
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ครั้งจากนั้นนำไปแช่น้ำต่ออีกเป็นเวลานาน 6-8 ชั่วโมงเพื่อเป็นการเลือกถั่วที่ไม่แข็งแรงที่ลอยน้ำขึ้นมาทิ้งไปรวมทั้งเลือกเอาสิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ ออกไปเหลือแต่ถั่วที่จมน้ำ ซึ่งเป็นถั่วที่แข็งแรงนำไปเพาะ โดยระยะเวลาประมาณ 3-4 วันต้นถั่วงอกก็จะโตเต็มที่สามารถนำไปรับประทานได้ [8] ในการเพาะถั่วงอกปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมีด้วยกัน 3 อย่างคือ

1. เมล็ดถั่ว ซึ่งจะต้องเป็นเมล็ดที่ใหม่และสะอาด
2. ภาชนะสำหรับการเพาะมีหน้าที่ ในการป้องกันถั่วไม่ให้โดนแสงสว่างกับสร้างสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกคืออุณหภูมิประมาณ 24 $^{\circ}$C (22-27°C) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะตั้งอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 25 $^{\circ}$C และในการทดลองได้ปิดฝาภาชนะที่ใช้ในการปลูกเพื่อรักษาความชื้นในภาชนะให้คงที่
3. น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับการเพาะถั่วงอก เมล็ดถั่วต้องการน้ำอย่างเพียงพอตลอดการเพาะเป็นเวลา 2-3 วันหากขาดน้ำช่วงใดช่วงหนึ่ง จะทำให้ถั่วงอกหยุดการเจริญเติบโต ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการให้น้ำในทุกกรณีที่ทำการทดลองในปริมาณที่เท่ากันและปิดฝาภาชนะที่ใช้ทำการทดลองเพื่อรักษาความชื้นในภาชนะ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำ

คุณสมบัติ	ถั่วเขียวผิวมัน	ถั่วเขียวผิวดำ
1. ขนาด/สี	ต้นโต สีขาวอมเหลือง	ต้นเล็กกว่า สีขาว
2. อัตราการเจริญเติบโต	เจริญเติบโตดีกว่า	เจริญเติบโตด้อยกว่า
3. ความคงทนเมื่อโดนลม/โดนแดด	สีคล้ำหรือสีเขียวเมื่อโดนลมโดนแดด	ยังคงขาวได้นาน
4. ความคงทนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์	เก็บไว้ไม่ได้นาน	เก็บไว้ได้นานกว่า



รูปที่ 3.4 ถั่วเขียวผิวดำและถั่วเขียวผิวมัน

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงโครงสร้างของเมล็ดพันธุ์ ขบวนการในการงอกและลักษณะทั่วไปของถั่วงอกที่นำมาใช้ในการทดลองโดยจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ทฤษฎีและการออกแบบเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง

4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึง หลักการในการสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงว่ามีหลักการในการสร้างอย่างไรและใช้วงจรแบบใดในการสร้างซึ่งเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงเป็นตัวแหล่งจ่ายสนามไฟฟ้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

4.2 การสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง

แรงดันสูงกระแสตรงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในขณะเกิดพายุฝนฟ้าคะนองมีการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ซึ่งประโยชน์ของแรงดันสูงกระแสตรงนั้น จะนำไปใช้ในงานการส่งพลังงานไฟฟ้า หรือใช้ในงานทางด้านฟิสิกส์และการแพทย์และใช้ในการทดสอบวัสดุฉนวนและอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ในทางภาคปฏิบัติจะสร้างแรงดันสูงกระแสตรงขึ้นด้วยวิธีการ 2 วิธีคือ

1. เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสถิต (Electrostatic generator)
2. เปลี่ยนแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง ด้วยเรคติฟลายเออร์

4.3 วงจรสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันกระแสตรง

4.3.1 หลักการทำงานของวงจรสร้างแรงดันกระแสตรง

แรงดันไฟสลับ 220 Vจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20-200 kHz จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตชิ่งเพื่อลดทอนแรงดันให้มีค่าต่ำลง ที่เอาท์พุตของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสียก่อนจึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาท์พุตมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้มีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลง ตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาท์พุต ซึ่งจะทำให้มีผลทำให้แรงดันเอาท์พุตคงที่ได้

4.3.2 วงจรเรคติฟายเออร์เต็มคลื่น

หมายถึง วงจรที่ได้รับสัญญาณ AC จำนวน 1 Cycle แล้วเปลี่ยนเป็นไฟ DC ด้วยค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นเอาต์พุตเต็มคลื่นหรือเต็มไซเคิล ในวงจรเรคติฟายเออร์รูปที่ 4.1 เป็นวงจรเรียงกระแสเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่น ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เรียงกระแสในช่วงครึ่งไซเคิลด้านบวกของรูปคลื่น แรงดันอินพุตไดโอด D_1 และ D_2 จะนำกระแส กระแสจึงไหลไปยังโหลดโดยผ่านไดโอด D_1 และ D_2 ส่วนในช่วงครึ่งไซเคิลด้านลบ ไดโอด D_3 และ D_4 จะนำกระแส

จากรูปของรูปคลื่นจะเห็นได้ว่ากระแสเรียงที่ได้แม้จะไหลทางเดียวแต่ยังไม่เรียบ คุณภาพของแรงดันหรือกระแสที่เรียงแล้วนั้นเรียบเพียงใด กำหนดด้วยค่าแฟคเตอร์ระลอกซึ่งนิยามไว้ว่า

$$r = \frac{I_{ac}}{I_{dc}} = \frac{U_{ac}}{U_{dc}} = \frac{\text{rms value of ac component}}{\text{dc component}} \tag{4.1}$$

เนื่องจากพลังงานกระจายหายไปในความต้านทานคิดจากกระแสค่า rms ซึ่งเป็นผลรวมพลังงานกระแสตรงและกระแสสลับ นั่นคือ

$$I_{rms}^2 R_L = I_{dc}^2 R_L + I_{ac}^2 R_L \tag{4.2}$$

จะได้

$$I_{ac} = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{dc}^2}}{I_{dc}} \tag{4.3}$$

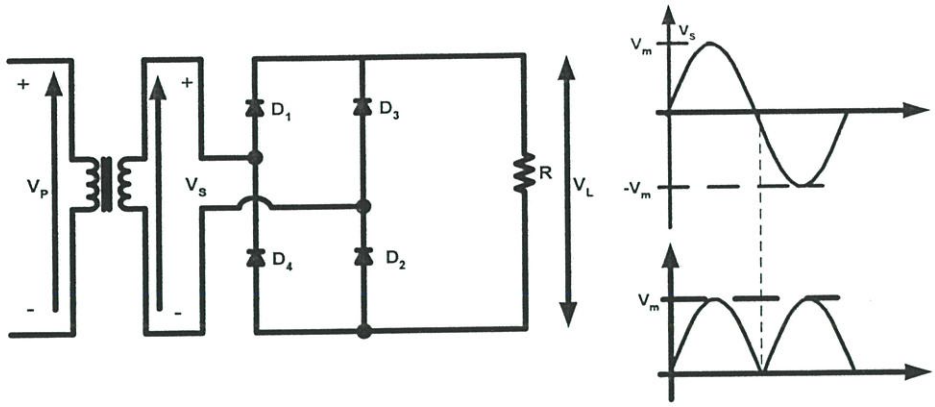
ค่าแฟกเตอร์ระลอกจะได้

$$r = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{dc}}\right)^2 - 1} \tag{4.4}$$

$$I_{DC} = \frac{2\hat{I}}{\pi}$$
$$I_{rms} = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}} \tag{4.5}$$

เพราะฉะนั้นแฟคเตอร์ระลอก $r = \sqrt{(1.11)^2 - 1} = 0.48$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 วงจรเรคติฟายเออร์เต็มคลื่น

4.4 วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่

จุดมุ่งหมายของการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ก็คือ การรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ แม้ว่ากระแสของโหลดเอาต์พุต ระดับแรงดันเอาท์พุตหรือทั้งสองอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม การที่จะรักษาให้ระดับแรงดันเอาท์พุตเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดก็โดย

1. พยามยามรักษาค่ากระแสเอาท์พุตให้คงที่ (ซึ่งเป็นไปได้ไม่เสมอไป)
2. ลดค่าความต้านทาน R_s ให้น้อยที่สุด (ซึ่งเป็นวิธีการที่แพงมากและส่วนใหญ่จะเป็นไปไม่ได้)
3. จัดหาวงจรรักษาระดับแรงดันซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมมากที่สุด

ค่าเปอร์เซ็นต์ของการรักษาระดับแรงดัน (Percentage of regulation: %REG) เป็นวิธีการวัดค่าระดับการรักษาแรงดัน หาได้จากสูตร

$$\%REG = 100x(V_o - V_{L\,max}) / V_o \tag{4.6}$$

เมื่อ V_o เป็นระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อไม่มีโหลด และ V_{Lmax} เป็นระดับแรงดันเอาต์พุต เมื่อแหล่งจ่ายไฟจ่ายกระแสออกไปสูงที่สุดเต็มขีดจำกัด

4.5 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

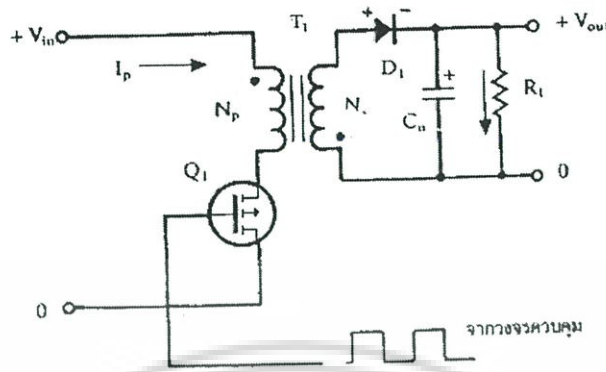
คอนเวอร์เตอร์มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้โดยลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์คือ

1. ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
4. ค่าแรงดันสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาพุตหลายค่าแรงดัน

6. การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของตัวคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.2 วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค

วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 4.2 การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำงานโดยนำกระแส ON และหยุดนำกระแส OFF สลับกันไปเมื่อ Q_1 นำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิ (I_p) แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิพันอยู่ในลักษณะกลับทิศกัน ดังนั้นในขณะที่ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับและไม่มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลด R_L พลังงานจึงถูกสะสมอยู่ที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดันที่ขดทุติยภูมิ ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ที่ขดปฐมภูมิจะถูกถ่ายเทไปยังขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดและตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o ได้

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{on}(N_p/N_s)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{on})} - V_D \qquad (4.7)$$

โดยที่

T คือ คาบเวลาการทำงานของ Q_1 เป็นวินาที

t_{on} คือ ช่วงเวลาที่ Q_1 นำกระแสเป็นวินาที

N_p คือ จำนวนรอบของขดปฐมภูมิเป็นรอบ

N_s คือ จำนวนรอบของขดทุติยภูมิเป็นรอบ

V_{out} คือ แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นโวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

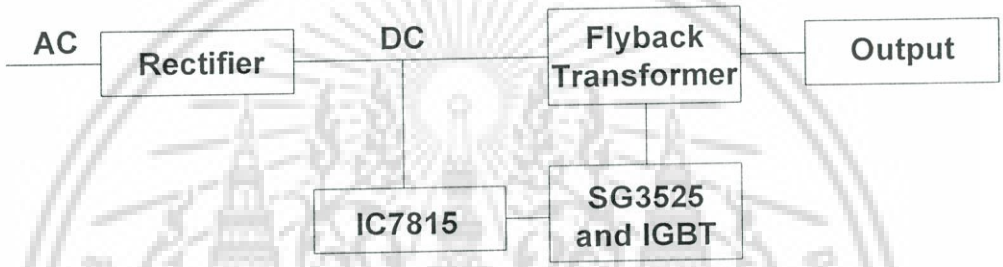
V_{in} คือ แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นโวลท์

$V_{CE(sat)}$ คือแรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัวเป็นโวลท์

V_D คือแรงดันตกคร่อมไดโอด D_1 ขณะนำกระแสเป็นโวลท์

จะเห็นได้ว่า วงจรจะสามารถคงค่าแรงดันเอาไว้ได้ด้วยการเพิ่มหรือลดช่วงเวลานำกระแส (t_{on}) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 เท่านั้น ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตหรือมีการเปลี่ยนแปลงโหลดก็ตาม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงไว้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายเพื่อให้ได้ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการทดลองตามต้องการ ซึ่งสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมของรูปวงจรได้ดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 เป็นคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง



รูปที่ 4.3 ไดอะแกรมของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง

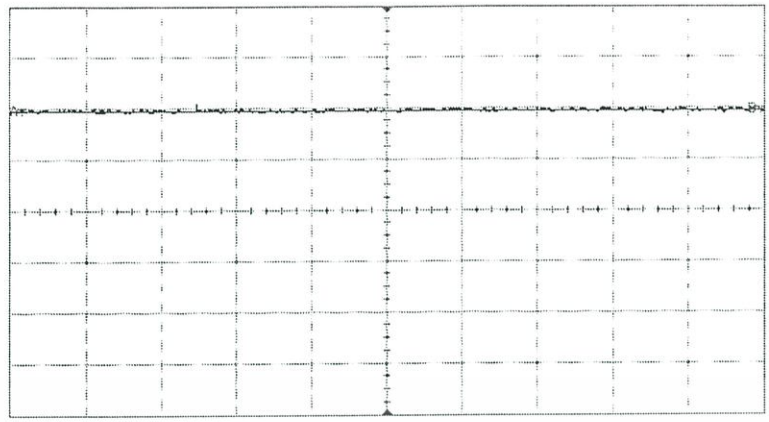


รูปที่ 4.4 การจัดวางอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง

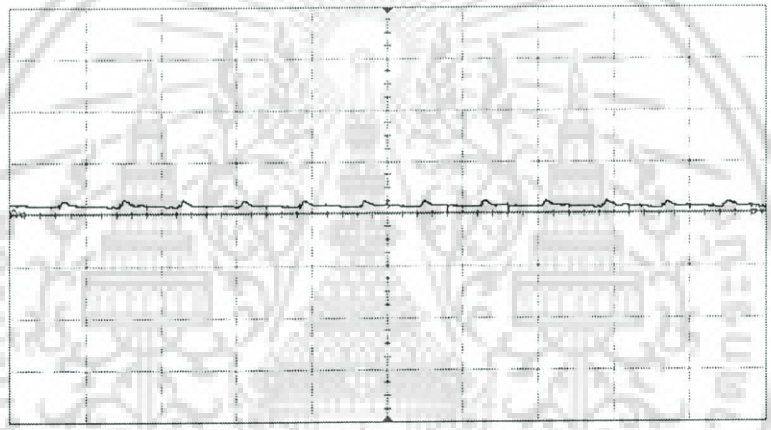
Input		Output			
Voltage	Current	Voltage	Current	Frequency	Ripple
220 V_{ac}	2 A	50 kV_{dc}	100 μA	25 kHz	< 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณแรงดันกระแสตรงของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง

(5 v/div, 500 ns/div)

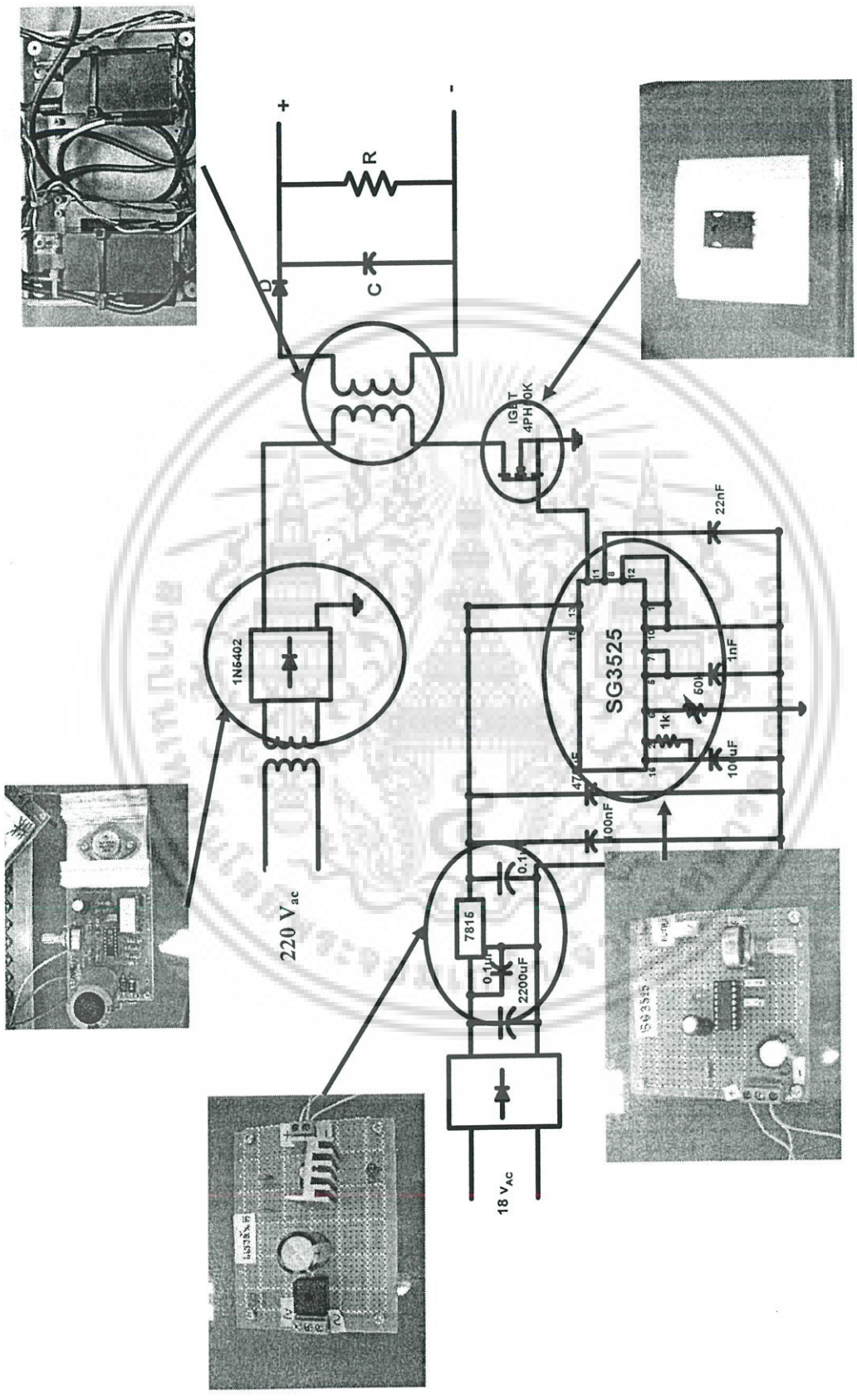


รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณแรงดันกระแสสลับของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง

(500 mv/div, 50 μs/div)

จากรูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณแรงดันกระแสตรงของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงซึ่งค่าของแรงดันกระแสตรงที่อ่านได้มีค่าเท่ากับ 9.75 V ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m เนื่องจากเป็นการวัดผ่านตัวแปลงแรงดัน (divider) ที่แปลงแรงดันที่ 1037:1 ส่วนรูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณแรงดันกระแสสลับของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงซึ่งได้ค่า V_{max} คือ 287.69 mV และค่า V_{min} คือ 29.69 mV และจะได้ค่า %ripple คือ 2.64% ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานของ IEC 60-1 ที่กำหนดให้แหล่งจ่ายแรงดันสูงต้องมีค่า %ripple ไม่เกิน 5% ส่วนแหล่งจ่ายดังกล่าวที่เลือกใช้ค่าของความถี่เท่ากับ 25 kHz เนื่องจากเป็นช่วงที่ความถี่เสียงไม่รบกวนการทำงานของผู้ทำการวิจัยและเป็นความถี่ที่เหมาะสมของแกนเฟอร์ไรท์ของหม้อแปลง flyback ที่ใช้ในวงจรนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 วงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิธีการจำลองผลของสนามไฟฟ้าและทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ

5.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการในการสร้างแบบจำลองผลของสนามไฟฟ้าโดยใช้ หลักการทางไฟไนท์อิลิเมนท์ จากนั้นก็จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติที่จะใช้ในการวิเคราะห์ว่าสนามไฟฟ้ามีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอกหรือไม่ โดยจะกล่าวถึงการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและการกระจาย ได้แก่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนซึ่งค่าต่าง ๆ ข้างต้น จะเป็นค่าที่นำมาทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้าสองกลุ่ม ซึ่งจะเป็นตัวที่สามารถบอกได้ว่าสนามไฟฟ้ามีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วเขียวหรือไม่

5.2 วิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้โดยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์และทำการประดิษฐ์ขึ้นมาในลักษณะของสมการต่างได้ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์หรือในรูปแบบของสมการอินทิกรัล สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาต่าง ๆ นั้นปกติจะประดิษฐ์ขึ้นมาได้โดยไม่ยากเลย หากแต่ว่าผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) ที่ต้องการและจำเป็นต้องทำการหาออกมาโดยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) นั้นทำได้ยากลำบากมากหรืออาจจะหาไม่ได้เลยก็ได้ เหตุผลดังกล่าวก่อให้เกิดวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Solution) ขึ้น วิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Method) นั้นมีหลายวิธีที่ได้รับความนิยมกันอย่างกว้างขวางในอดีตที่ผ่านมาคือวิธีการผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method)

หลักการที่สำคัญของวิธีการผลต่างสืบเนื่องก็คือการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยเริ่มจากการเขียนสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบของระบบสมการผลต่างสืบเนื่อง (System of Difference Equations) ข้อดีของวิธีการผลต่างสืบเนื่องก็คือ วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่ายแก่การศึกษาและทำความเข้าใจ รวมไปถึงความสะดวกในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยของปัญหานั้น ๆ ส่วนข้อเสียของวิธีการผลต่างสืบเนื่องก็มีหลายประการ เช่น ความไม่สะดวกในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Application of Boundary Conditions) และที่สำคัญที่สุดก็คือความยากลำบากในการประยุกต์วิธีการนี้เพื่อใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนในปัจจุบันนี้ ได้กลายเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อการปรับปรุงคุณภาพสิ่งของนั้น ๆ ให้ดียิ่งขึ้น

จากสาเหตุของความยากลำบากดังกล่าวมีส่วนก่อให้เกิดวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณวิธีใหม่ที่เรียกว่าวิธีการไฟไนท์อิลิเมนท์ (Finite Element Method) ที่นิยมเรียกด้วยคำย่อกันว่า FEM ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการนี้สามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนเช่นใดก็ได้โดยสามารถจำลองรูปร่างลักษณะดั้งเดิมที่แท้จริงได้ใกล้เคียงเที่ยงตรงกว่า

หลักการของวิธีการไฟไนท์อิลิเมนท์จะเริ่มต้นจากการพิจารณาอิลิเมนท์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละอิลิเมนท์ที่ตั้งอยู่บนรากฐานที่ว่าสมการที่สร้างขึ้นมานั้นจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่ทำอยู่นั้น จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละอิลิเมนท์ที่สร้างขึ้นมาได้มาประกอบกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการชุดใหญ่ ซึ่งในความหมายทางกายภาพก็คือคล้ายกับการนำทุกอิลิเมนท์มาประกอบรวมเข้าด้วยกัน ก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริงจากนั้นจึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ให้มาลงไปในระบบสมการชุดใหญ่นี้ แล้วจึงทำการแก้สมการดังกล่าว ซึ่งจะก่อให้เกิดผลเฉลยโดยประมาณที่ต้องการ ณ. ตำแหน่งต่าง ๆ ของปัญหานั้น

วิธีการไฟไนท์อิลิเมนท์ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ ๆ ทั้งหมด 6 ขั้นตอนคือ

1. การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหา
2. การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในอิลิเมนท์
3. การสร้างสมการของอิลิเมนท์
4. การนำสมการของแต่ละอิลิเมนท์ที่ได้มาประกอบกัน
5. ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต
6. การหาค่าอื่น ๆ ที่ต้องการ

ซึ่งแต่ละขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการที่จะหาผลลัพธ์นั้นออกเป็นอิลิเมนท์ย่อย ๆ

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในอิลิเมนท์ (Element Interpolation Functions) เช่น อิลิเมนท์สามเหลี่ยมประกอบด้วย 3 จุดต่อโดยที่จุดต่อนั้นเป็นตำแหน่งของตัวที่ไม่รู้ค่าลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนอิลิเมนท์นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ ดังนี้

$$\phi(x,y) = N_1(x,y)\phi_1 + N_2(x,y)\phi_2 + N_3(x,y)\phi_3 \qquad (5.1)$$

โดย $N_1(x,y), i = 1,2,3$ คือฟังก์ชันประมาณในอิลิเมนท์

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi(x,y) = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix}$$

$$= [N]_{1x3}[\phi]_{3x1} \tag{5.2}$$

โดย [N] คือเมตริกซ์ของฟังก์ชันการประมาณภายในอิลิเมนท์

[ϕ] คือเวกเตอร์เมตริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของอิลิเมนท์นั้น ๆ

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการของอิลิเมนท์จะอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \tag{5.3}$$

เขียนย่อได้เป็น

$$[K][\phi] = [F] \tag{5.4}$$

ขั้นตอนที่ 3 นี้ถือเป็นหัวใจของวิธีการไฟไนท์อิลิเมนท์

ขั้นตอนที่ 4 การนำสมการของแต่ละอิลิเมนท์ที่ได้มาประกอบกัน ก่อให้เกิดระบบสมการพร้อมกันขึ้น (System of simultaneous equations) ในรูปแบบดังนี้

$$\sum(element\ equations) \Rightarrow [K]_{sys}[\phi]_{sys} = [F]_{sys} \tag{5.5}$$

ขั้นตอนที่ 5 ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ลงในสมการ 5.5 แล้วแก้สมการเพื่อหา $[\phi]_{sys}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ (Nodal unknowns)

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถทำการหาค่าอื่น ๆ ที่ต้องการต่อไป

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็น 6 ขั้นตอนในการหาผลเฉลยแม่นตรงโดยวิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์

5.3 วิธีการสร้างแบบจำลองผลของสนามไฟฟ้า

ในการสร้างแบบจำลองผลของสนามไฟฟ้าจะมีขั้นตอนในการทำแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการที่จะหาผลลัพธ์นั้นออกเป็นอิลิเมนต์ย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสร้างสมการมาทำการแก้ไขปัญหาเพื่อหาค่าในแต่ละอิลิเมนท์

3. การนำสมการของแต่ละอิลิเมนท์ที่ได้มาประกอบกันก่อให้เกิดสมการของระบบทั้งหมด

4. การแก้สมการเพื่อหาค่าตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีวิธีการแก้ปัญหาดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการที่จะหาผลลัพธ์นั้นออกเป็นอิลิเมนต์ย่อย

ค่าแรงดันในแต่ละ อิลิเมนท์ จะมีค่าเท่ากับ

$$V(x,y) \approx \sum_{e=1}^{N} V_e(x,y) \tag{5.6}$$

โดยค่าแรงดันของรูปร่างสามเหลี่ยมคือ

$$V_e(x,y) = a + bx + cy \tag{5.7}$$

ส่วนค่าแรงดันของรูปร่างสี่เหลี่ยมคือ

$$V_e(x,y) = a + bx + cy + dxy \tag{5.8}$$

โดยค่าของสนามไฟฟ้าของรูปทรงสามเหลี่ยมซึ่งกำหนดให้เป็นแรง Uniform จะมีค่าเท่ากับ

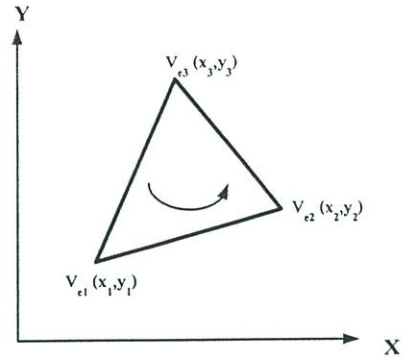
$$\vec{E}_e = -\nabla V_e = -(b\vec{a}_x + c\vec{a}_y) \tag{5.9}$$

ขั้นตอนที่ 2. การสร้างสมการมาทำการแก้ไขปัญหาเพื่อหาค่าในแต่ละอิลิเมนท์ที่แต่ละโหนดของรูปสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 5.1 สามารถหาค่าของแรงดันของ V_{e1}, V_{e2}, V_{e3} ที่โหนด 1, 2, 3 ตามลำดับจะได้

$$\begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \tag{5.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 สามเหลี่ยมของแต่ละโหนด

จะได้ค่าคงที่ *a, b, c* จาก

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_2 \\ 1 & X_1 & Y_2 \\ 1 & X_1 & Y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix} \tag{5.11}$$

แทน 5.11 ใน 5.7 (จาก $A^{-1} = \frac{adjA}{\det A}$) จะได้

$$V_e = \begin{bmatrix} 1 & X & Y \end{bmatrix} \frac{1}{2A} \cdot \begin{bmatrix} (x_2y_3 - x_3y_2) & (x_3y_1 - x_1y_3) & (x_1y_2 - x_2y_1) \\ (y_2 - y_3) & (y_3 - y_1) & (y_1 - y_2) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix}$$

หรือ

$$V_e = \sum_{i=1}^{3} \alpha_i(x,y) V_{ei} \tag{5.12}$$

ซึ่ง

$$\alpha_1 = \frac{1}{2A}\left[(x_2y_3 - x_3y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y\right] \tag{5.13a}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2A}\left[(x_2y_3 - x_1y_3) + (y_3 - y_1)x + (x_1 - x_3)y\right] \tag{5.13b}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha_3 = \frac{1}{2A}\left[(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y\right] \tag{5.13c}$$

และ A คือพื้นที่ของอิลิเมนท์

$$2A = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}$$
$$= (x_1 y_2 - x_2 y_1) + (x_3 y_1 - x_1 y_3) + (x_2 y_3 - x_3 y_2)$$

หรือ

$$A = \frac{1}{2}\left[(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)\right]$$

จากพลังงานต่อหน่วยความยาวจะได้

$$W_e = \frac{1}{2}\int \in \left|\vec{E}\right|^2 dS = \frac{1}{2}\int \in \left|\nabla V_e\right|^2 dS \tag{5.14}$$

ที่ซึ่งประจุอิสระ (ρ_s=0) แต่จาก 5.7 จะได้

$$\nabla V_e = \sum_{i=1}^{3} V_{ei} \nabla \alpha_i \tag{5.15}$$

แทนค่า 5.14 ใน 5.13 จะได้

$$W_e = \frac{1}{2}\sum\sum \in V_{ei}\left[\int \nabla \alpha_i \cdot \nabla \alpha_j dS\right] \cdot V_{ei} \tag{5.16}$$

ถ้าแทนค่าในวงเล็บด้วย

$$C_{ij}^{(e)} = \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j dS \tag{5.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า 5.17 ใน 5.18 จะได้

$$W_e = \frac{1}{2} \in [V_e]^T [C^{(e)}][V_e] \tag{5.18}$$

ซึ่ง T เป็น transpose ของเมตริกซ์ทำให้ได้

$$[V_e] = \begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix}$$

และ

$$[C^{(e)}] = \begin{bmatrix} C^e_{11} & C^e_{12} & C^e_{13} \\ C^e_{21} & C^e_{22} & C^e_{23} \\ C^e_{31} & C^e_{32} & C^e_{33} \end{bmatrix}$$

โดยที่ $[C^e]$ จะเรียกว่า อิลิเมนท์ coefficient matrix ซึ่งค่า C^e_{ij} ใน Coefficient matrix จะเป็น coupling ระหว่าง node ของ i และ j ซึ่งจะมีค่า

$$C^e_{ij} = \frac{1}{4A}[P_i P_j + Q_i Q_j] \tag{5.19}$$

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การนำสมการของแต่ละอิลิเมนท์ที่ได้มาประกอบกันก่อให้เกิดสมการของระบบทั้งหมด

เมื่อทำการพิจารณาในแต่ละ อิลิเมนท์ แล้วต่อไปจะทำการรวมทุก ๆ อิลิเมนท์ เป็นระบบจะได้

$$W = \sum_{e=1}^{N} W_e = \frac{1}{2} \in [V]^T [C][V] \tag{5.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง

$$[V]=\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix}$$

ซึ่ง n คือ จำนวนของ node

N คือ จำนวนของ อิลิเมนท์

$[C]$ คือ global coefficient matrix

การรวมกันของตำแหน่ง i, j ใน $[C]$ จะมาจากทุก อิลิเมนท์ ที่รวมกันใน node i และ j ซึ่ง คุณสมบัติของเมตริกซ์ $[C]$ คือ

1. จะมีความสมมาตรคือ $C_{ij} = C_{ji}$
2. ค่า C_{ij}=0 ถ้าไม่มี coupling ระหว่าง node i และ j
3. มันจะเป็น singular แม้ว่ามันจะไม่ถูกสังเกตว่าเป็นศูนย์

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> แก้ปัญหาระบบของสมการเพื่อหาค่าตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

จะแสดงโดยการใช้สมการ Laplace equation ซึ่งจะเป็นไปตามเมื่อผลรวมของพลังงานในแต่ละส่วนมีค่าต่ำสุดจะได้

$$\frac{\partial W}{\partial V_1}=\frac{\partial W}{\partial V_2}=\text{.....}=\frac{\partial W}{\partial V_n}=0$$

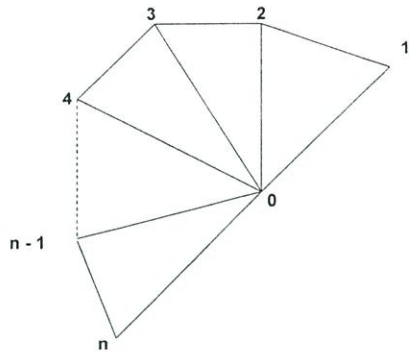
หรือ

$$\frac{\partial W}{\partial V_k}=0 \qquad \text{k=1, 2, 3.....n}$$

จะได้

$$0=\sum_{i=1}^{n} V_i C_{ik}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 อิลิเมนท์หลาย ๆ อันมารวมกัน

ซึ่ง n คือจำนวนของ node ใน mesh โดยจะมี 2 แนวทางในการแก้ปัญหาโดยใช้ Laplace's equation คือ

1. Iteration Method จะใช้เมื่อ node 0 จะต่อกับ m node โดยใช้วิธีคิดคือ

จะได้

$$0 = V_0 C_{00} + V_1 C_{01} + V_2 C_{02} \ldots\ldots V_m C_{om}$$

หรือ

$$V_o = -\frac{1}{C_{00}} \sum_{k=1}^{m} V_k C_{ok} \tag{5.21}$$

ดังนั้นถ้าความต่างศักย์ของ node ที่ต่อกับ 0 ทราบค่าก็จะสามารถหาค่า V_0 ได้วิธีการของกระบวนการดังกล่าวเริ่มต้นด้วยการตั้งค่าของ free node ให้มีค่าเท่ากับศูนย์หรือการเฉลี่ยค่าของความต่างศักย์

2. Band Matrix Method

$$W = \frac{1}{2} \in \begin{bmatrix} V_f & V_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fp} \\ C_{pf} & C_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} \tag{5.22}$$

ซึ่ง f และ p เป็น free และ fix potential ตามลำดับ ซึ่ง V_p เป็นค่าที่ทราบค่าเมื่อใช้หลักการของ $\frac{\partial W}{\partial V} = 0$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} = 0$$

หรือ
$$[C_{ff}][V_f] = -[C_{fp}][V_p] \tag{5.23}$$

สมการนี้เราเขียนได้เหมือนกับ $[A][V] = [B]$ หรือ $[V] = [A]^{-1}[B]$ ซึ่ง

$$[V] = [V_f]$$
$$[A] = [C_{ff}]$$
$$[B] = -[C_{fp}][V_p]$$

ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการแก้โดยใช้ Poisson's equation $(\nabla^2 V = -\rho_v/\varepsilon, \nabla^2 \vec{A} = -\mu\vec{J})$ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้หลักการดังกล่าวในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

5.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสถิติ

สถิติตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า Statistics ซึ่งมีรากศัพท์มาจากคำว่า State หมายถึงค่าสถิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง เช่น ค่าเฉลี่ยเลขคณิต มัธยฐาน ฐานนิยม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [9]

ข้อมูล (Data) หมายถึง ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับเรื่องที่สนใจศึกษา [9] ซึ่งอาจอยู่ในรูปตัวเลข เช่น คะแนน น้ำหนัก ความสูง ระยะทางหรืออาจเป็นข้อเท็จจริงที่อยู่ในรูปคุณลักษณะ หรือคุณสมบัติ เช่น ชื่อ เพศ เป็นต้น สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้อมูลก็คือค่าความสูงของลำต้นและความยาวของรากที่วัดได้

ตัวแปร (Variable) หมายถึง สิ่งที่มีความผันแปรซึ่งอาจจะเป็นทางด้านปริมาณ [9] เช่นน้ำหนัก ความสูง หรืออาจเป็นทางด้านคุณภาพ เช่น เพศ เชื้อชาติ เป็นต้น สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตัวแปรก็คือค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ค่าต่าง ๆ และทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา

ประชากร (Population) หมายถึง จำนวนสมาชิกทุกหน่วยข้อมูลที่สนใจศึกษา [9] สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประชากรหมายถึงจำนวนของต้นถั่วงอกที่ใช้ในการศึกษาจำนวนทั้งหมด 100 เมล็ดต่อหนึ่งกรณีศึกษา

5.5 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นการหาค่าเฉลี่ย (Average) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเปรียบเทียบข้อมูลชุดต่าง ๆ โดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดของแต่ละชุด การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นการหาตำแหน่งค่ากลางซึ่งจะเป็นตัวเลขจำนวนเดียวที่ใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลนั้น ๆ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 3 วิธีคือ

1. ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)
2. มัธยฐาน (Median)
3. ฐานนิยม (Mode)

5.5.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

เป็นค่าคาดหวังนิยมใช้ในการหาแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของข้อมูล ซึ่งการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของข้อมูลซึ่งการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางนี้หมายถึง ค่าใดๆ ที่ดูเหมือนว่าข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่มารวมกันหรือพยายามจะเข้าไปสู่ค่านี้ ซึ่งจะมีสูตรในการคำนวณคือ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N} \tag{5.24}$$

ซึ่ง $\sum x$ คือ ผลรวมของทุกค่าในจำนวนประชากร

N คือ จำนวนประชากร

5.6 การวัดการกระจาย (Measures of Variation)

การวัดการกระจายเป็นการวัดว่าข้อมูลมีการกระจายออกจากกันมากหรือน้อย ข้อมูลแต่ละจำนวนมีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยของคะแนนชุดนั้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งการวัดการกระจายจะช่วยให้เห็นลักษณะของข้อมูลชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในกรณีที่ประกอบด้วยค่าที่มีความมากน้อยแตกต่างกันมากแสดงว่าข้อมูลนั้นมีการกระจายมาก ข้อมูลใดที่ประกอบด้วยค่าที่ใกล้เคียงกัน ข้อมูลชุดนั้นจะมีการกระจายน้อย

การวัดการกระจายที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. พิสัย (Range)
2. ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ (Quartile Deviation)
3. ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Mean Deviation)
4. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

5.6.1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าที่นิยมใช้ในการวัดการกระจายของข้อมูลถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลมีการรวมกลุ่มกันเป็นกระจกรอบ ๆ จุดศูนย์กลางของข้อมูล ซึ่งค่าเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานจะเป็นตัวชี้ให้ทราบว่าข้อมูลมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะทำการคำนวณโดยใช้สูตร

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})}{N}} \tag{5.25}$$

ซึ่งจะเห็นว่า σ มีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า $\sigma \geq 0$ ถ้า $\sigma = 0$ ข้อมูลทุกค่าจะไม่แตกต่างไปจาก $\bar{x}$ เลย หรือข้อมูลทุกค่าเท่ากันหมด โดยทั่วไปอาจทำการคำนวณโดยการยกกำลังสอง ค่าที่ได้ เรียกว่า ค่าความแปรปรวน

5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลที่ได้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวนมาก จึงใช้หลักวิชาสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยในวิทยานิพนธ์แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. การวิเคราะห์เชิงอธิบาย (Descriptive Analysis) ข้อมูลซึ่งได้แก่การวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนของความสูงและอัตราการเจริญเติบโตในแต่ละวัน

2. การวิเคราะห์เชิงทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing Analysis) ในการวิจัย ซึ่งจะใช้นี้เพื่อแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูล เช่น ความเชื่อมั่นความแตกต่างค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์เชิงทดสอบสมมติฐาน เป็นการนำหลักสถิติเชิงอนุมานหรือการใช้สถิติเกี่ยวกับการหาบทสรุปและบอกความน่าเชื่อถือมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยนี้ มีขั้นตอน 5 ขั้นตอนดังนี้

1. การตรวจสอบการแจกแจงข้อมูล เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ได้มีการแจกแจงเป็นไปตามเงื่อนไขตามข้อกำหนดสถิติในการทดสอบสมมติฐานหรือไม่ กล่าวคือ จะทำการตรวจสอบ ว่ามีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือการแจกแจงแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แบบปกติ ซึ่งถ้าข้อมูลที่สุ่มมาได้มีการแจกแจงแบบปกติจะใช้สถิติทดสอบแบบมีพารามิเตอร์ (Parametric Test) ได้และถ้าข้อมูลที่สุ่มได้มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้การทดสอบแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non-Parametric Test) หรือใช้สถิติทดสอบตามฟังก์ชันของข้อมูลที่สุ่มมา อย่างไรก็ตามในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้อมูลเป็นการวัดค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นและความยาวของราก โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งจะมีตัวแปรต่าง ๆ และมีความผันแปรในสภาพแวดล้อมขณะทำการทดลองเป็นปกติและมีจำนวนข้อมูลมาก จึงสามารถที่จะใช้การทดสอบแบบมีพารามิเตอร์โดยเงื่อนไขที่ว่าข้อมูลเป็นข้อมูลขนาดใหญ่สามารถประมาณได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติได้ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเลือกตัวสถิติที่ใช้วิเคราะห์และทดสอบ ในหัวข้อที่ 1 ที่กล่าวไปแล้วเป็นเงื่อนไขหนึ่ง แบะตัวทดสอบที่เป็นฟังก์ชันคณิตศาสตร์ก็เป็นอีกเงื่อนไข จึงต้องทำการเลือกใช้ทดสอบสมมุติฐาน เพื่อความเหมาะสมกับค่าสถิติที่ได้มาด้วย ตัวสถิติทดสอบก็มีด้วยกันคือ

Z-test (Standard Normal Distribution) เป็นการทดสอบสมมุติฐานค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่าง จากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติและทั่วไป

T-test เป็นการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่างจากประชากรที่มีการแจกแจง ใกล้เคียงปกติและขนาดข้อมูลเล็ก

F-test เป็นการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของข้อมูลตัวอย่างจากประชากรที่มีการแจก แจงแบบปกติและทั่วไป

ซึ่งจากคุณสมบัติของข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากวิทยานิพนธ์ เป็นข้อมูลขนาดใหญ่ตรงตามเงื่อนข้อ 1 และ 2 จึงเหมาะสมในการใช้ตัวสถิติทดสอบ Z-test หรือ T-test ได้โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เลือกการวิเคราะห์โดยใช้ Z-test

3. การกำหนดค่าความเชื่อมั่น หมายถึงค่าที่บอกความน่าเชื่อถือของการตัดสินใจหรือบอกบท สรุปว่ามีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด ประเด็นสำคัญในการกำหนดค่าความเชื่อมั่นคือ จะ นำไปใช้ในการกำหนดค่านัยสำคัญในตอนการตัดสินใจค่าจากการทดสอบสมมุติฐาน ซึ่งใน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งจะได้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

4. การตั้งสมมุติฐานเพื่อการวิเคราะห์ การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติเป็นการทดสอบเพื่อ ตัดสินใจเลือกระหว่างสมมุติฐานว่าง (Null Hypothesis) กับสมมุติฐานสำรอง (Alternative Hypothesis) โดยนำค่าสถิติที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับ ค่าพารามิเตอร์ที่สมมติไว้ตามสมมุติฐานว่าง จากการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติจะมีผลการ ตัดสินใจ 2 ลักษณะคือ

4.1 การยอมรับ (Accept) เป็นผลของการทดสอบที่ยอมรับสมมุติฐานว่างที่ตั้งไว้โดยถือว่าความ แตกต่างระหว่างค่าสถิติจากกลุ่มตัวอย่างกับค่าพารามิเตอร์ที่คาดหวังตามสมมุติฐานว่างมีเพียง เล็กน้อย ซึ่งเป็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญที่อาจเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนในการสุ่ม ตัวอย่างหรือการเก็บรวบรวมข้อมูล ผลจากการทดสอบในลักษณะนี้เป็นการทดสอบไม่มีนัยสำคัญ (Non-Significant)

4.2. การปฏิเสธ (Reject) เป็นผลของการทดสอบที่ปฏิเสธสมมุติฐานว่าง โดยความแตกต่าง ระหว่างค่าสถิติจากกลุ่มตัวอย่างกับค่าพารามิเตอร์มีมากจนถือว่าเป็นความแตกต่างที่แท้จริง มิใช่ เกิดขึ้นโดยบังเอิญ ผลจากการทดสอบในลักษณะนี้เป็นการทดสอบที่มีนัยสำคัญ (Significant)

การทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 ประชากรเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองประชากรใดๆ โดยมีสมมุติฐานว่า $H_o : \mu_1 - \mu_2 = C$ แย้งกันกับ $H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq C$ หรือ $H_1 : \mu_1 - \mu_2 > C$ หรือ $H_1 : \mu_1 - \mu_2 < C$ เมื่อ C เป็นค่าคงที่ใด ๆ ถ้า C มีค่าเป็นศูนย์หรือต้องการทดสอบการเท่ากันของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ย 2 ประชากร แทนที่จะตั้งสมมุติฐานว่า $H_o : \mu_1 - \mu_2 = 0$ อาจตั้งสมมุติฐานว่า $H_1 : \mu_1 = \mu_2$ แย้งกับ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ หรือ $H_1 : \mu_1 < \mu_2$ หรือ $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ ก็ได้และสถิติที่ใช้ในการทำการทดสอบขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของข้อมูล

5. การทดสอบสมมติฐานและการตัดสินใจ การทดสอบค่าเฉลี่ย 2 ประชากรที่เป็นอิสระต่อกันและทราบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรหรือถ้าไม่ทราบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรแต่จำนวนตัวอย่างขนาดใหญ่ จะมีเงื่อนไขคือ

1. ตัวอย่างทั้งสองจะเป็นอิสระต่อกัน

2. ตัวอย่างทั้งสอบต้องมีขนาดใหญ่คือ $N_1>30$ และ $N_2>30$

ซึ่งจะมีสูตรในการคำนวณคือ

$$Z = \frac{(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \qquad (5.26)$$

ซึ่ง Z คือ Standard normal distribution

$\overline{x_1}$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างจำนวนแรก

$\overline{x_2}$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างจำนวนที่สอง

μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรจำนวนแรก

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรจำนวนที่สอง

s_1 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรจำนวนแรก

s_2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรจำนวนที่สอง

N_1 คือ จำนวนของประชากรของประชากรแรก

N_2 คือ จำนวนของประชากรของประชากรที่สอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดสมมุติฐานและค่าระดับนัยสำคัญไว้ดังนี้

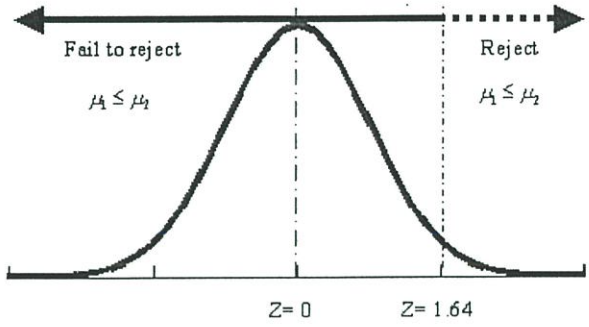
1. ระดับนัยสำคัญคือ 0.05,
2. สมมุติฐานว่าง H_o: $\mu_1 \leq \mu_2$,
3. สมมุติฐานสำรอง H_1: $\mu_1 > \mu_2$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นหรือค่าเฉลี่ยของความยาวรากของถั่วงอกที่อยู่ในสนามไฟฟ้า

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นหรือค่าเฉลี่ยของความยาวรากของถั่วงอกที่ไม่อยู่ในสนามไฟฟ้า

สำหรับค่าวิกฤตมีค่าเท่ากับ 1.64 ซึ่งจะยอมรับสมมุติฐานว่างเมื่อค่าของ Z ในสมการที่ 5.26 มีค่าน้อยกว่า 1.64 และยอมรับสมมุติฐานสำรองเมื่อค่าของ Z มีค่ามากว่า 1.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ขอบเขตการยอมรับและปฏิเสธสมมุติฐานที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ในบทที่ 5 ได้กล่าวถึงวิธีการในการสร้างแบบจำลองผลของสนามไฟฟ้าโดยใช้หลักการทางไฟไนท์ อิลิเมนท์ จากนั้นก็จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติที่จะใช้ในการวิเคราะห์ว่าสนามไฟฟ้ามีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอกหรือไม่ โดยวิธีการสร้างแบบจำลองผลของสนามไฟฟ้าจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดถั่วงอกว่า แต่ละตำแหน่งของเมล็ดพันธุ์มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด ส่วนค่าของ Z จะนำมาใช้ในการพิสูจน์ว่าสนามไฟฟ้ามีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอกหรือไม่โดยถ้าค่าของ Z ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1.64 จะแสดงว่าสนามไฟฟ้ามีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอกจริงแต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1.64 ก็จะแสดงว่าสนามไฟฟ้าไม่มีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

6.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวัดค่าความเจริญเติบโตและการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ว่ามีการจัดวางอย่างไรมีเงื่อนไขและขั้นตอนในการทดลองอย่างไร ส่วนในหัวข้อสุดท้ายจะแสดงผลการทดลองที่ได้ตามเงื่อนไขที่ทำการทดลอง โดยเนื้อหาในบทที่ 6 จะประกอบด้วย

- วิธีการวัดค่าความเจริญเติบโตและการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลอง
- การทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ก่อนการทดลอง
- เงื่อนไขและขั้นตอนการทดลอง
- ผลการทดลองซึ่งจะแบ่งการวิเคราะห์ตามกรณีของค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

6.2 วิธีการวัดค่าความเจริญเติบโตและการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลอง

การตรวจสอบหรือวัดระดับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์นั้น เป็นการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เป็นการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์แต่ละกอง การวัดความแข็งแรงนี้เพื่อใช้ประเมินค่าของเมล็ดพันธุ์ในกองนั้น ๆ เมื่อนำไปปลูกในไร่นา หรือวัดเพื่อประเมินความสามารถในการเก็บรักษา วิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันคือ การเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ (Accelerated Aging Test) นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกอาทิเช่น การทดสอบในสภาพอากาศหนาว การทดสอบความงอกในสภาพอากาศเย็น การใช้วิธีเตตราโซเลียม วิธีกาดา (GADA Test) การวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seed Growth Rate) การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Germination Index) การวัดน้ำหนักแห้งของต้นกล้า (Seedling Dry Weight) การทดสอบโดยวิธีนำไฟฟ้า (Conductivity Test) และการวัดอัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์ (Respiration Test)

1. การเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ (Accelerated Aging Test) เป็นวิธีวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเสนอโดย เดอลูทช์และบาสกิ้น (Delouche and Baskin) ในปี ค.ศ. 1973 วัตถุประสงค์ของการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์วิธีนี้ ก็เพื่อใช้ประเมินค่าความสามารถในการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ (Seed Storability) การวัดความแข็งแรงวิธีนี้ใช้ได้กับเมล็ดพันธุ์ทุกชนิด และผลของการเร่งอายุนี้มีความสัมพันธ์กับอายุของเมล็ดพันธุ์จริง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ฉะนั้นเมล็ดพันธุ์กองใดที่ผ่านการเร่งอายุแล้วมีความงอกสูง ก็แสดงว่าเมล็ดพันธุ์กองนั้นสามารถเก็บไว้ได้นาน ส่วนเมล็ดพันธุ์กองใดมีความงอกหลังจากผ่านการเร่งอายุแล้วต่ำ ก็แสดงว่าจะเก็บไว้ได้ไม่นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบในสภาพอากาศหนาว (Cold Test) เป็นวิธีการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์วิธีหนึ่งซึ่งเริ่มใช้กับเมล็ดข้าวโพด การวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยการทดสอบในสภาพอากาศหนาวกระทำได้โดยการใช้ดินจากแปลงที่ปลูกพืชชนิดนั้น ๆ เป็นวัสดุเพาะนำดินใส่กล่องพลาสติกสูงประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์มากองละ 50-100 เมล็ดหยอดเมล็ดลงบนผิวดิน แล้วกลบทับด้วยดินอีกชั้นหนึ่งให้หนา 1-1 ½ นิ้ว รดน้ำให้ความชื้นอยู่ระหว่าง 60-80 % ของความชื้นที่ระดับสนาม นำไปไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 10-15 องศาเซสเซียส เป็นเวลา 3-5 วันแล้วจึงย้ายออกมาไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิปกติประมาณ 3-4 วัน ตรวจนับจำนวนต้นอ่อนที่งอกปกติ การทดสอบในสภาพอากาศหนาวนี้นอกจากใช้วัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์แล้ว ยังสามารถใช้ตรวจสอบหรือประเมินผลของการใช้สารเคมีคลุกเมล็ด อีกทั้งยังเป็นวิธีปรับปรุงพันธุ์พืชที่ใช้สำหรับคัดเลือกลักษณะของพันธุกรรมที่งอกได้ดีในสภาพของดินที่เย็นและชื้น (Cold-Wet Soil) อีกด้วย

3. วิธีเตตราโซเลียม (Tetrazolium Technique หรือ TZ Energy) การวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์แบบนี้ ใช้วิธีตรวจสอบการติดสีขององค์ประกอบทางโครงสร้างที่สำคัญของเมล็ดพันธุ์แล้วประเมินผลออกมาในรูปของ ทีซี เอนเนอจี้ (TZ Energy) ที่ระดับต่าง ๆ กัน การวัดความแข็งแรงแบบนี้ ผู้ทำการทดสอบจะต้องมีประสบการณ์และฝึกฝนมาก่อนและจะต้องมีความชำนาญมิฉะนั้นการตรวจสอบก็จะไม่ได้ผลที่ถูกต้อง

4. วิธีกาดา (GADA Test หรือ Glutamic Acid Decarboxylase Activity Test) เป็นวิธีตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้เป็นวิธีการตรวจสอบการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษา และประเมินค่าความสามารถในการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ในกองต่าง ๆ วิธีการตรวจสอบความแข็งแรงแบบนี้ได้ผลดีในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดโดยอาศัยหลักที่ว่าในเมล็ดพันธุ์ที่มีชีวิตจะมีกรดอะมิโน (Amino Acid) และเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ วิธีกาดานี้เป็นการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ดีคาร์บอกซีเลส (Decarboxylase) โดยใช้กรดกลูตามิก (Glutamic Acid) ไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ผลที่ได้คือ มีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น เมล็ดพันธุ์ใดที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามาก แสดงว่าเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง อย่างไรก็ตามวิธีกาดานี้มีข้อจำกัดในการใช้การวัดความแข็งแรงเฉพาะในพืชบางชนิดเท่านั้น

5. การวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity Test) เป็นวิธีการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยใช้หลักการที่ว่า เมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงต่ำคือ เมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมสภาพ เมล็ดพันธุ์จะมีการสูญเสียสภาพการเก็บกักสารต่างๆ อันเนื่องมาจากเมมเบรนต่างๆ ภายในเมล็ดเสื่อมสภาพ (Membrane Degradation) มีผลทำให้มีสารต่าง ๆ รั่วออกมาเมื่อเมล็ดพันธุ์สัมผัสกับผิวน้ำ การวัดความแข็งแรงแบบนี้กระทำได้โดยการนำเมล็ดพันธุ์มาแช่ในน้ำกลั่นแล้ววัดปริมาณสารต่าง ๆ ที่เมล็ดปลดปล่อยออกมา โดยใช้คอนดักติวิตี้ มิเตอร์ (Conductivity Meter) เมล็ดพันธุ์กองใดที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอาหารรั่วไหลออกมามากก็จะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่าเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ ส่วนเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างใดหรือกองใดที่มีสารอาหารรั่วไหลออกมาน้อย ก็จะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ แสดงว่าเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างนี้มีความแข็งแรงสูง

6. การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (Germination Index) เป็นวิธีการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จากอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมล็ดพันธุ์กองใด ที่มีความแข็งแรงสูงย่อมจะเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าเมล็ดพันธุ์กองที่มีความแข็งแรงต่ำ วิธีการวัดความแข็งแรงแบบนี้จึงคล้ายกับการทดลองความงอก และในบางครั้งอาจใช้ผลจากการทดสอบความงอกควบคู่กันไป โดยพิจารณาจากการตรวจนับความงอกครั้งแรก

7. การวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling Growth Rate) เป็นการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งอาศัยอัตราการเจริญเติบโตเป็นหลัก โดยอาศัยหลักที่ว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงย่อมจะให้ต้นกล้าที่มีความยาวรากหรือลำต้นมากกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ เมล็ดพันธุ์ตัวอย่างใดมีความยาวเฉลี่ยของรากหรือลำต้นมากเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง

8. การหาน้ำหนักแห้งของต้นกล้า (Seedling Dry Weight) เป็นการวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จากการเจริญเติบโตของต้นกล้าทั่วไป โดยอาศัยหลักที่ว่าเมล็ดพันธุ์กองใดที่มีความแข็งแรงสูงย่อมจะงอกและให้ต้นกล้าที่มีน้ำหนักแห้งสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ วิธีการนี้สามารถตรวจวัดได้โดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการวัดความแข็งแรงมาเพาะเป็นระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงนำต้นกล้าทั้งหมดที่งอกไปอบที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 72 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักแห้ง เมล็ดพันธุ์กองใดที่มีน้ำหนักแห้งของต้นกล้าสูง แสดงว่ามีความแข็งแรงสูง

วิธีการวัดค่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีอยู่หลายวิธี ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้แบบการวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าโดยการวัดค่าของความยาวของรากและความสูงของลำต้น เนื่องจากที่ผ่านมาผู้ทำการวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมานิยมใช้วิธีการดังกล่าว [1, 2, 3] เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกต่อการวัดอัตราการเจริญเติบโต จากนั้นหาค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกันถ้าค่าเฉลี่ยของความยาวรากและความสูงของลำต้นมีค่ามากแสดงว่าเมล็ดพันธุ์ชนิดนั้นมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยของความยาวรากและความสูงของลำต้นที่ต่ำกว่า

6.3 การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับเมล็ดพันธุ์ก่อนการปลูก

ในการทดลองจะทำการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดและสีที่เหมือนกันมาแบ่งเป็น 2 พวกคือ พวกที่หนึ่งจะนำเมล็ดพันธุ์ไปทำการแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง [2] และอีกพวกหนึ่งจะนำไปทำการวางในที่ที่มีสนามไฟฟ้าเป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่จะทำการทดลองโดยจะวางไว้ในกล่องที่ทำการทดลองไม่สนใจแนวในการวางเล็ดจากนั้นจึงนำไปแช่น้ำเป็นเวลาอีก 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการนำเมล็ดพันธุ์ไปทำการแช่น้ำก่อนการปลูกก็เพื่อจะเป็นการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์อีกทางหนึ่งคือถ้าเมล็ดพันธุ์ใดที่ไม่สมบูรณ์เมล็ดพันธุ์ดังกล่าวก็จะลอยน้ำขึ้นมาเอง

6.4 เงื่อนไขและขั้นตอนในการทดลอง

การศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจากค่าความสูงของลำต้นและความยาวรากนั้นจะมีตัวแปรที่จะทำการศึกษาอยู่ด้วยกัน 3 ตัวแปรคือ

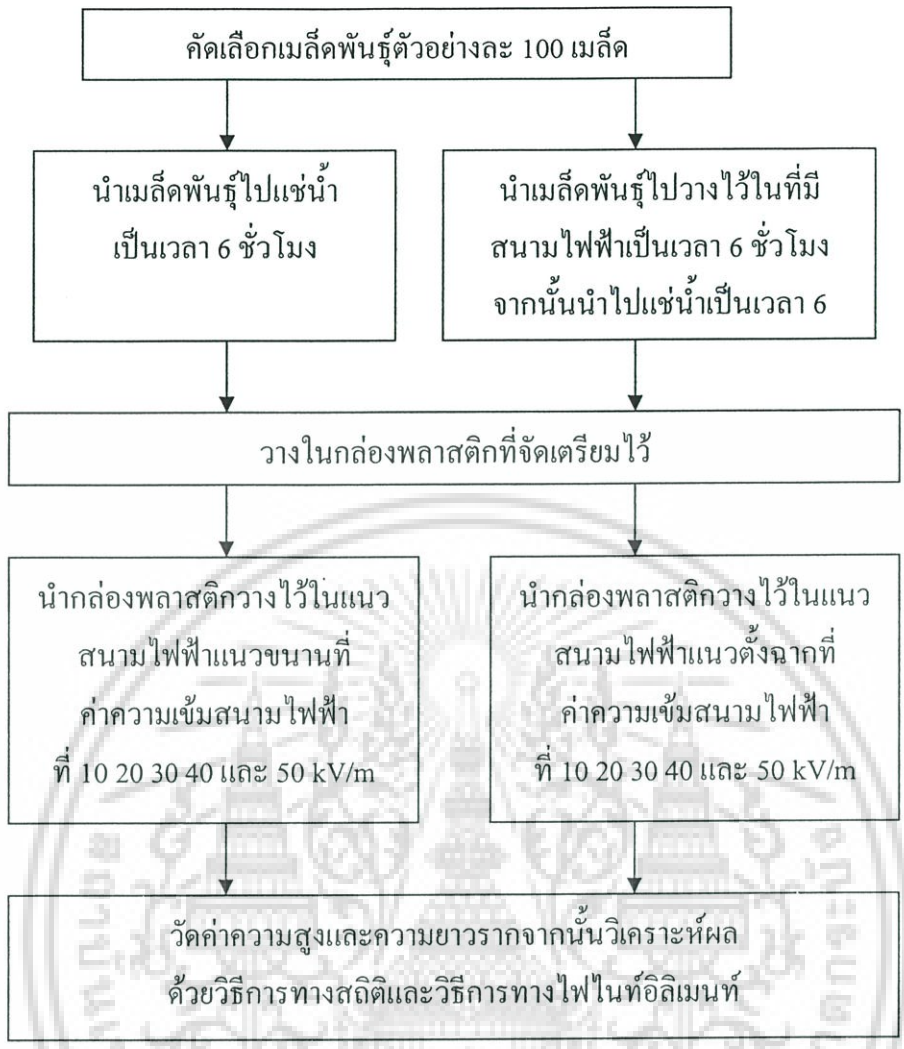
1. ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่าที่ 10 20 30 40 และ 50 kV/m เป็นระยะเวลา 5 วันนับจากวันที่เริ่มทำการทดลอง

2. แนวการวางของสนามไฟฟ้า โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างสนามในแนวตั้งฉากและในแนวขนานกับบริเวณ ฮีลัม ของเมล็ดถั่วเขียวเพื่อศึกษาผลของทิศทางของสนามไฟฟ้าต่อตำแหน่งของ ฮีลัม

3. การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับเมล็ดพันธุ์ก่อนที่จะนำไปทำการปลูก

ในการทดลองจะทำการทดลองที่บริเวณพื้นที่เดียวกันในแต่ละกรณีโดยจะควบคุมอุณหภูมิห้องและความชื้นโดยในวิทยานิพนธ์ดังกล่าวจะใช้อุณหภูมิห้องที่ 25 $^{\circ}$C และความชื้นสัมพันธ์ที่ 68% ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากนำเมล็ดพันธุ์ที่ทำการคัดเลือกแล้วแบ่งเป็น 2 กลุ่มโดยกลุ่มแรกจะนำไปแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 6 ชั่วและกลุ่มที่ 2 จะนำไปวางในสนามไฟฟ้าจากนั้นก็จะนำไปทำการแช่น้ำสะอาดเป็นเวลา 6 ชั่วโมงเหมือนกันกับในกลุ่มแรกจากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ทั้ง 2 กลุ่มมาปลูกในกล่องพลาสติกขนาด 11x17 ซ.ม. จำนวน 5 กล่องกล่องละ 20 เมล็ด รวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 100 เมล็ดในแต่ละกรณีที่ทำการทดลอง โดยในแต่ละกล่องจะปลูกเมล็ดพันธุ์ปลูกบนกระดาษเพาะความงอกซึ่งกระดาษดังกล่าวจะเป็นตัวจำกัดความชื้นในแต่ละกล่องให้มีค่าเท่ากันทุกกล่อง เมื่อปลูกเมล็ดพันธุ์เรียบร้อยแล้วก็ในไปวางในสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉาก และในแนวขนานกับบริเวณของฮีลัม ที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 20 30 40 และ 50 kV/m โดยเมล็ดพันธุ์จะนำไปปลูกในบริเวณที่มีอุณหภูมิเดียวกันคือประมาณ 25 $^{\circ}$C และผลการทดลองจะดูจากค่าความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอกที่ปลูกมาแล้วเป็นเวลา 5 วันนับตั้งแต่วันที่ทำการทดลอง ซึ่งในการทดลองจะทำการทดลองจำนวน 4 ครั้งเพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง ซึ่งเงื่อนไขและวิธีการทดลองในแต่ละครั้งจะเหมือนกันทุกประการโดยขั้นตอนในการทดลองจะสามารถเขียนเป็นแผงผังได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

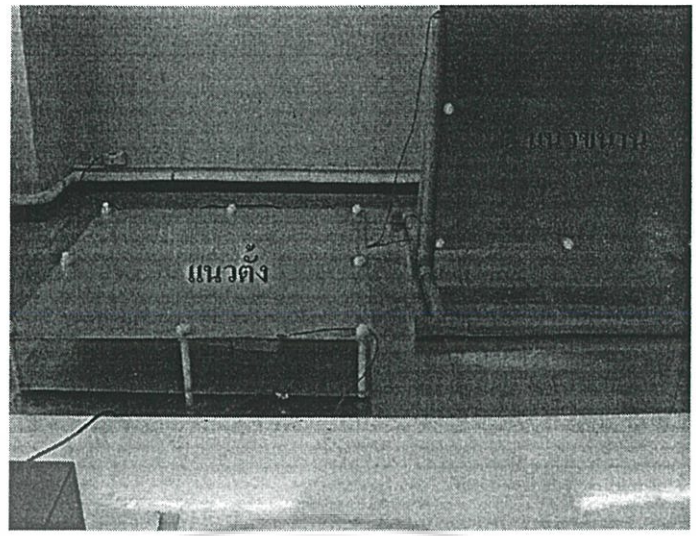


รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการทดลอง

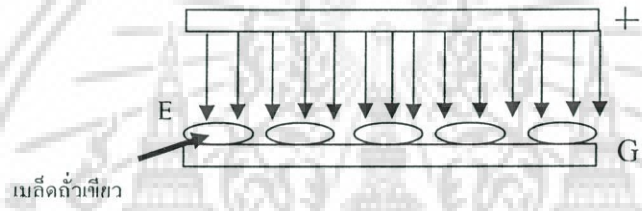


รูปที่ 6.2 กล่องพลาสติกที่ทำการทดลองภายใต้สนามไฟฟ้า

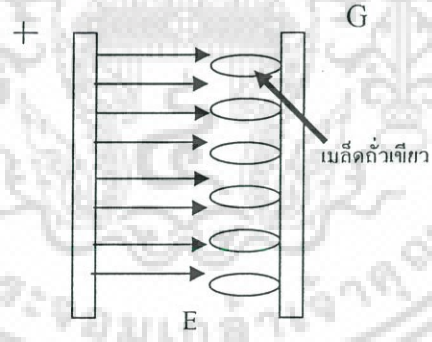
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แนวการวางสนามไฟฟ้า



รูปที่ 6.4 การวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้า



รูปที่ 6.5 การวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวของสนามไฟฟ้า

การวางเมล็ดในแนวขนานหรือแนวตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้าจะยึดส่วนของฮีลัมที่อยู่ในส่วนบนสุดของเมล็ดถั่วเขียวเป็นหลักโดยจะให้ส่วนของฮีลัมคงที่แต่ส่วนที่เปลี่ยนไปคือแนวการวางของสนามไฟฟ้าคือ ถ้าวางสนามไฟฟ้าในแนวที่ตั้งฉากกับส่วนของฮีลัมแสดงว่าเป็นการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 6.4 แต่ถ้าวางสนามไฟฟ้าในแนวที่ขนานกับส่วนของฮีลัมแสดงว่าเป็นการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวของสนามไฟฟ้าดังในรูปที่ 6.5 การทำการทดลองในลักษณะดังกล่าวสมมุติฐานว่าค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดน่าจะมีค่าที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของถั่วงอกซึ่งก็คือค่าความสูงของลำต้นและความยาวของรากแตกต่างกัน

6.5 ผลการทดลอง

ในผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์ผลในลักษณะอธิบายแนวโน้มของข้อมูลซึ่งประกอบด้วยแผนภูมิและตารางแสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแต่ละกรณีจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยมาทำการวิเคราะห์และทดสอบสมมุติฐานแสดงความน่าเชื่อถือของความแตกต่างของการเจริญเติบโตของต้นถั่วงอก

ผลการทดลองจะแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีคือ

1. ผลการทดลองของการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ก่อนจะนำไปทำการปลูก
2. ผลการทดลองของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ค่า 10 20 30 40 และ 50 kV/m
3. ผลการทดลองของแนวของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวขนานกับบริเวณ ฮีลัม ของเมล็ดถั่วเขียว

ในตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นในกรณีต่าง ๆ ส่วนในตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองของความยาวรากในกรณีต่าง ๆ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งตามค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ค่า 10 20 30 40 และ 50 kV/m ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองจะมีจำนวนของเมล็ดพันธุ์ที่ทำการทดลองในแต่ละกรณีจำนวน 100 เมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองของความสูงของลำต้นในกรณีต่าง ๆ

ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า	การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
10 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	32	15	65	10
		แนวตั้งฉาก	31	15	60	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	38	21	80	10
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	37	20	75	10
		แนวตั้งฉาก	39	18	66	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	15	55	10
20 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	32	16	70	10
		แนวตั้งฉาก	31	18	65	5
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	35	15	65	10
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	34	15	60	10
		แนวตั้งฉาก	38	15	70	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	14	65	6
30 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	33	13	55	10
		แนวตั้งฉาก	30	15	60	5
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	36	17	63	10
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	28	15	65	5
		แนวตั้งฉาก	39	16	60	5
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	16	55	8
40 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	34	16	60	10
		แนวตั้งฉาก	30	15	55	5
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	37	14	63	10
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	32	14	60	10
		แนวตั้งฉาก	37	15	65	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	15	55	5
50 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	30	15	60	10
		แนวตั้งฉาก	33	17	60	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	36	15	65	5
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	35	16	65	5
		แนวตั้งฉาก	36	15	65	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	15	60	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองของความยาวรากในกรณีต่าง ๆ

ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า	การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
10 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	53	12	85	17
		แนวตั้งฉาก	54	13	85	15
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	55	15	90	20
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	53	14	90	14
		แนวตั้งฉาก	58	15	90	17
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	16	85	15
20 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	53	17	75	5
		แนวตั้งฉาก	50	14	75	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	55	16	80	10
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	51	17	75	10
		แนวตั้งฉาก	58	14	80	5
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	15	65	10
30 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	57	16	85	15
		แนวตั้งฉาก	50	17	80	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	59	15	85	15
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	54	14	85	10
		แนวตั้งฉาก	59	15	90	15
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	13	80	15
40 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	55	16	80	15
		แนวตั้งฉาก	54	15	80	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	58	17	85	15
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	55	15	85	15
		แนวตั้งฉาก	57	14	85	15
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	12	85	10
50 kV/m	กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	51	17	80	10
		แนวตั้งฉาก	51	14	80	10
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	52	15	80	15
	ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	52	14	80	15
		แนวตั้งฉาก	57	13	85	15
		ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	15	80	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.1 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

าร กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	32	15	65	10
	แนวตั้งฉาก	31	15	60	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	38	21	80	10
ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	37	20	75	10
	แนวตั้งฉาก	39	18	66	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	15	55	10



รูปที่ 6.6 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m

หมายเหตุ H หมายถึงแนวการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวของสนามไฟฟ้า

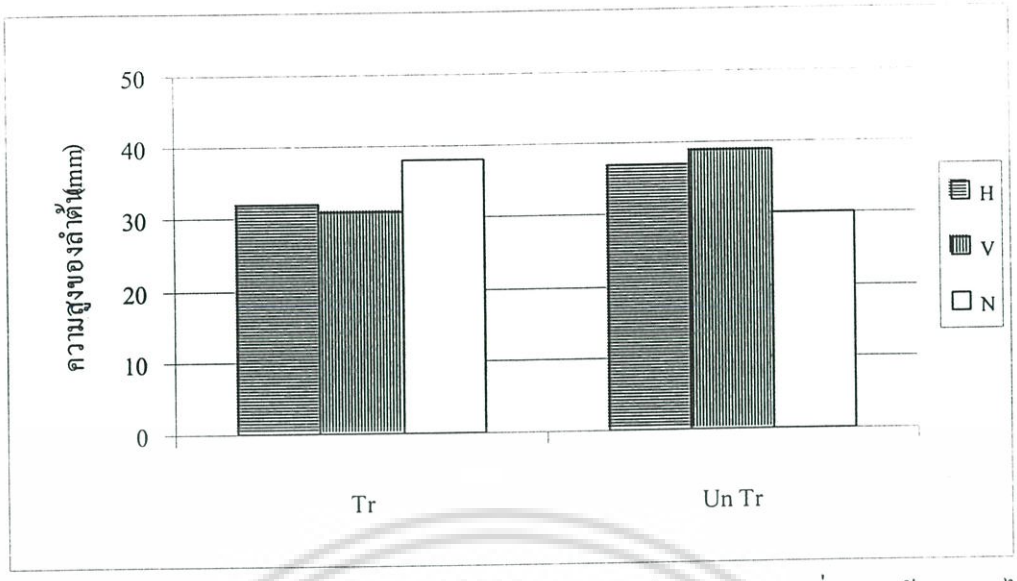
V หมายถึงแนวการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวของสนามไฟฟ้า

N หมายถึงการปลูกเมล็ดถั่วเขียวในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้า

Tr หมายถึง การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง

Un Tr หมายถึง ไม่ทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m

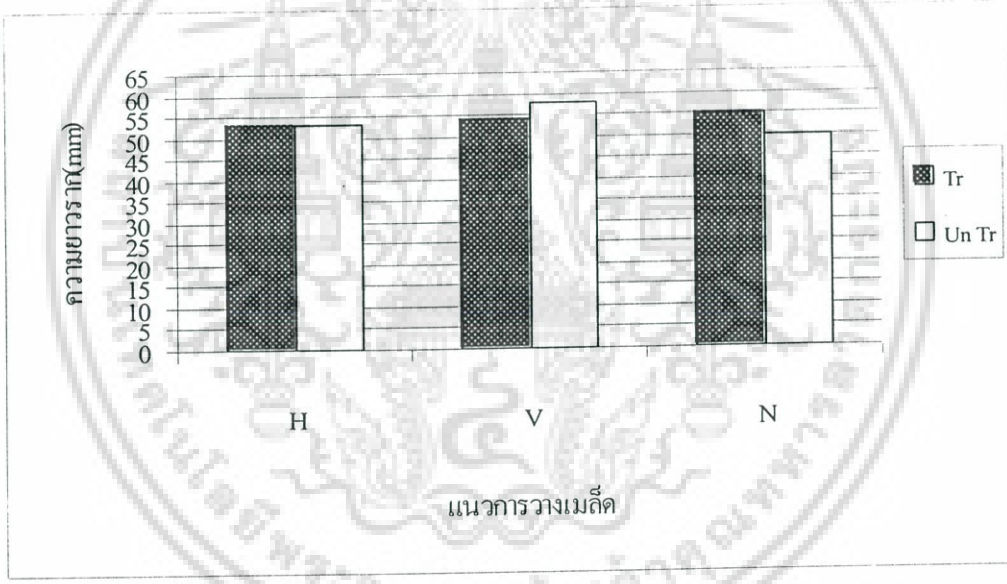
ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งเมื่อนำผลของค่าเฉลี่ยของทุกกรณีมาสรุปเป็นแผนภูมิแท่งซึ่งค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นเป็นเวลา 5 วันนับจากวันที่เริ่มทำการทดลองจะได้ดังรูปที่ 6.6 และ 6.7 ตามลำดับโดยที่รูปที่ 6.6 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m และรูปที่ 6.7 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m ซึ่งจากผลการทดลองในรูปที่ 6.6 จะเห็นว่าความสูงของลำต้นของถั่วงอกเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m พบว่าเมื่อมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า แล้วจะทำให้ความสูงของลำต้นของถั่วงอกเมื่อนำไปปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นในแนวสนามแบบแนวตั้งฉากหรือแนวขนานกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นน้อยกว่าที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า คิดเป็น 20.5% และ 13.5% ตามลำดับแต่จะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นมากกว่ากรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า เมื่อนำไปปลูกในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 26.7%

ส่วนผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 6.7 พบว่าค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นเมื่อนำไปปลูกในแนวสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับปลูกในแนวสนามไฟฟ้าขนานกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวและในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 5.1% และ 23.1 % ตามลำดับซึ่งจะทำการพิจารณาในกรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

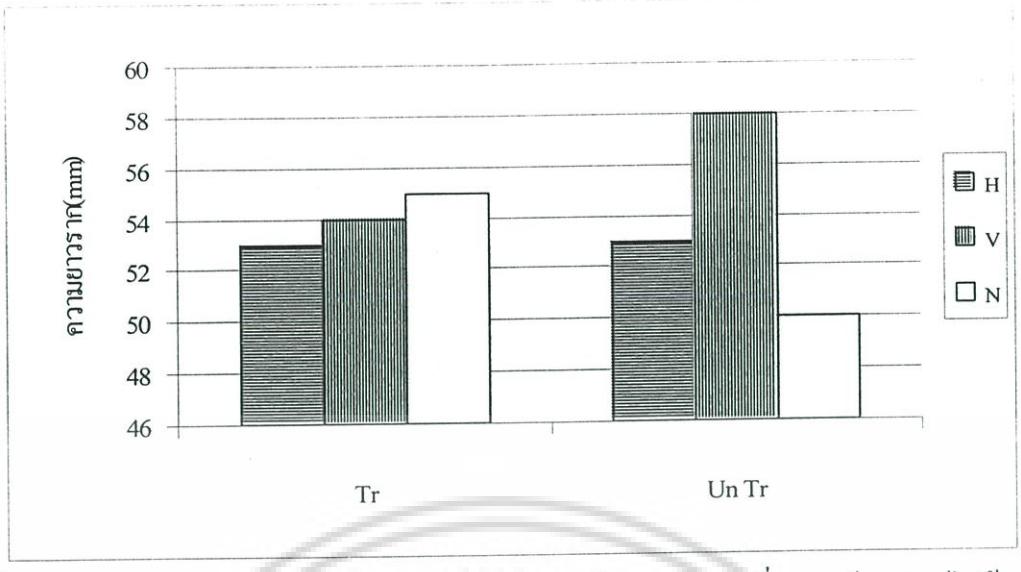
ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	53	12	85	17
	แนวตั้งฉาก	54	13	85	15
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	55	15	90	20
ไม่กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	53	14	90	14
	แนวตั้งฉาก	58	15	90	17
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	16	85	15



รูปที่ 6.8 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองของความยาวรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งเมื่อนำผลของค่าเฉลี่ยของทุกกรณีมาสรุปเป็นแผนภูมิแท่งซึ่งค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยของความยาวรากเป็นเวลา 5 วันนับจากวันที่เริ่มทำการทดลองจะได้ดังรูปที่ 6.8 และ 6.9 ตามลำดับโดยที่รูปที่ 6.8 แสดงการเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m และรูปที่ 6.9 แสดงการเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m ซึ่งจากผลการทดลองในรูปที่ 6.8 จะเห็นว่าความยาวรากของถั่วงอกเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m พบว่าเมื่อมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า แล้วจะทำให้ความยาวรากของถั่วงอกเมื่อนำไปปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้าในแนวสนามแบบแนวตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นน้อยกว่าที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า คิดเป็น 6.9% แต่จะมีค่าเฉลี่ยของความยาวรากมากกว่ากรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า เมื่อนำไปปลูกในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 10 %

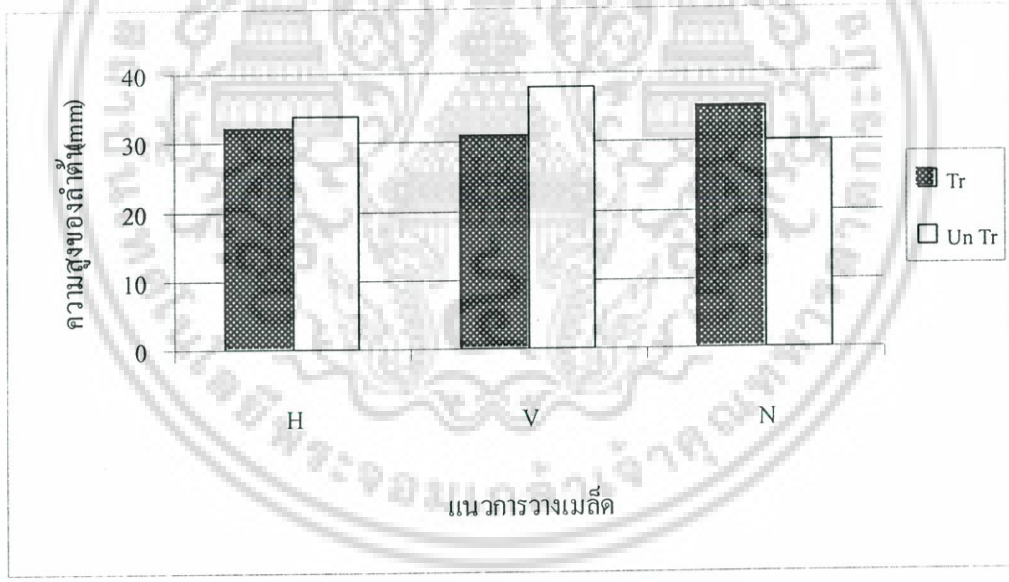
ส่วนผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 6.9 พบว่าค่าเฉลี่ยของความยาวรากเมื่อนำไปปลูกในแนวสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับปลูกในแนวสนามไฟฟ้าขนานกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวและในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 8.6% และ 13.8 % ตามลำดับซึ่งจะทำการพิจารณาในกรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ก่อนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.2 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

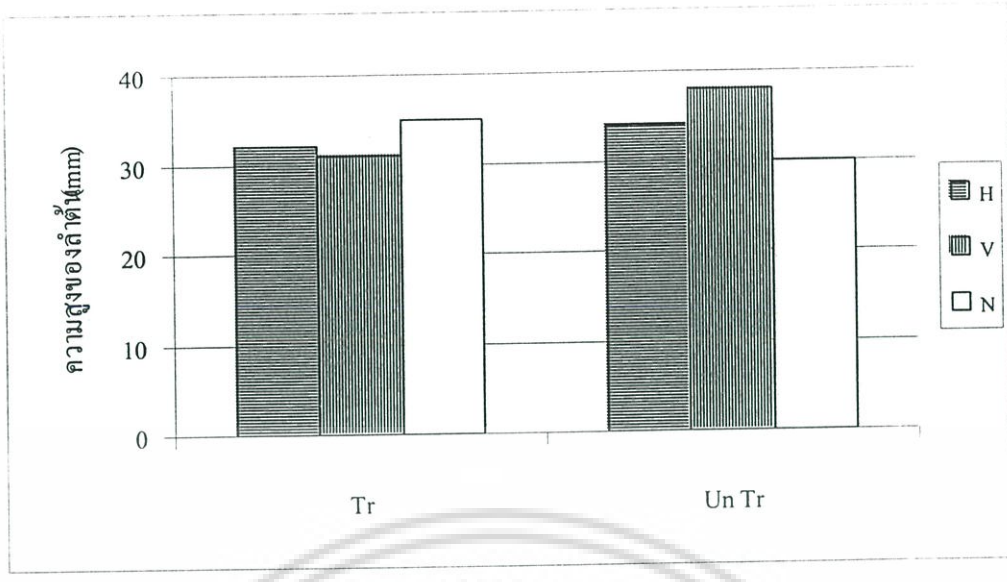
ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	32	16	70	10
	แนวตั้งฉาก	31	18	65	5
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	35	15	65	10
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	34	15	60	10
	แนวตั้งฉาก	38	15	70	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	14	65	6



รูปที่ 6.10 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

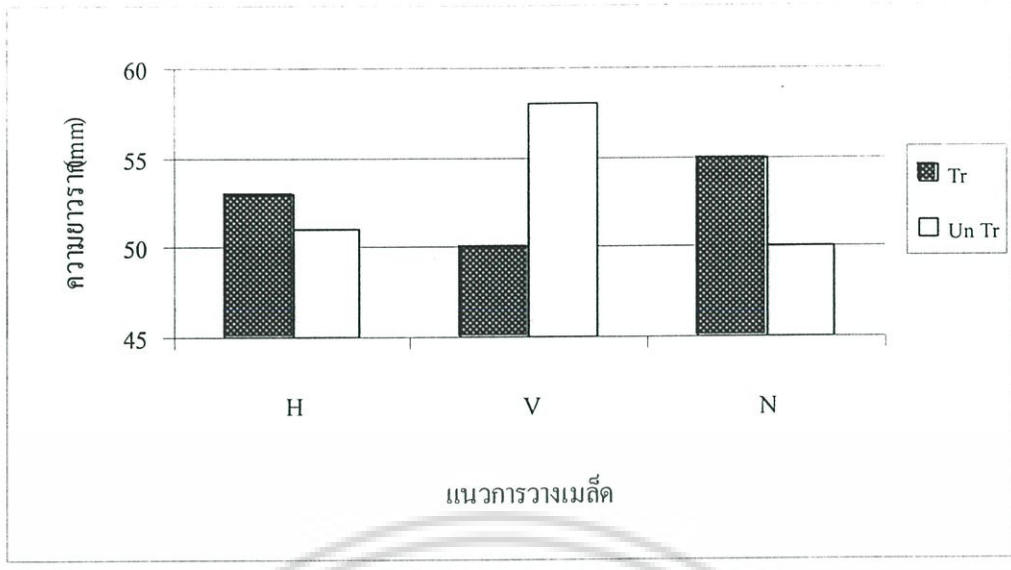


รูปที่ 6.11 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	53	17	75	5
	แนวตั้งฉาก	50	14	75	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	55	16	80	10
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	51	17	75	10
	แนวตั้งฉาก	58	14	80	5
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	15	65	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m



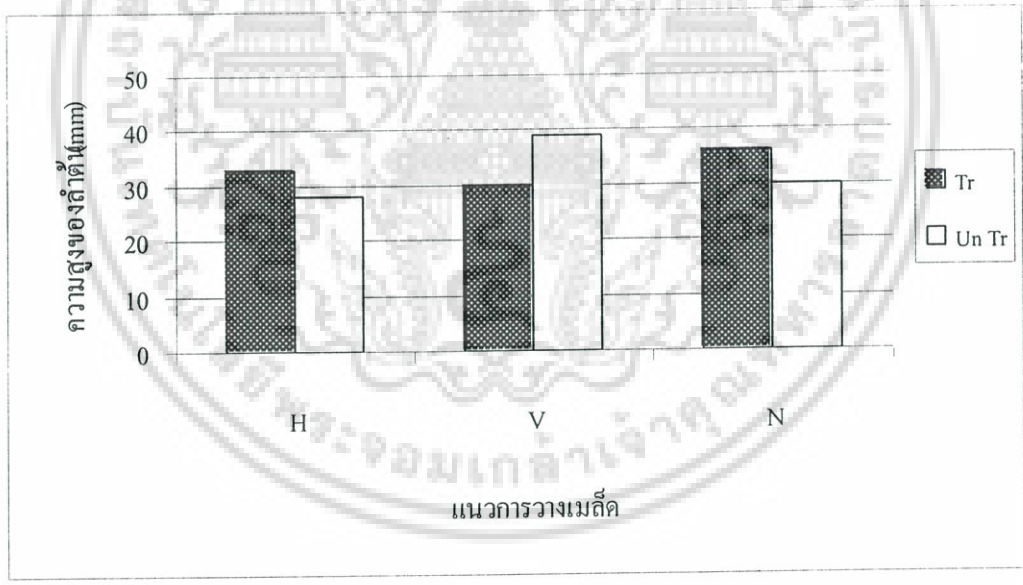
รูปที่ 6.13 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.3 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

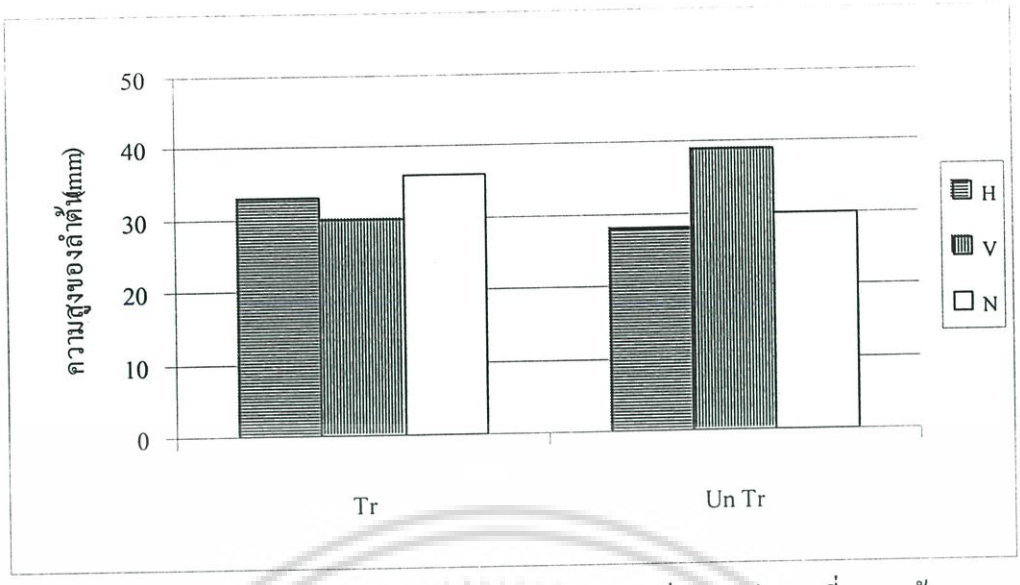
ตารางที่ 6.7 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	33	13	55	10
	แนวตั้งฉาก	30	15	60	5
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	36	17	63	10
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	28	15	65	5
	แนวตั้งฉาก	39	16	60	5
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	16	55	8



รูปที่ 6.14 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

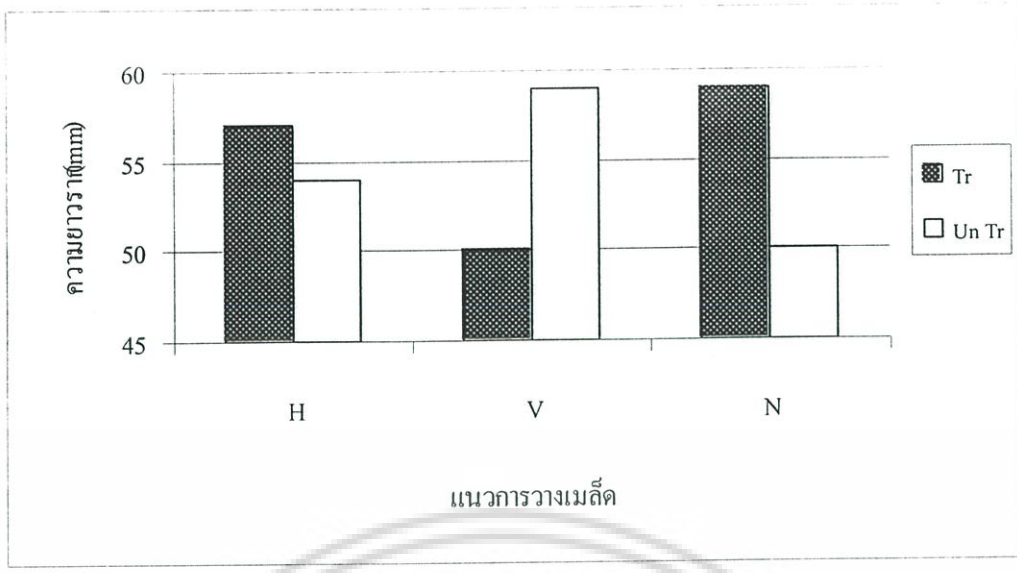


รูปที่ 6.15 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m

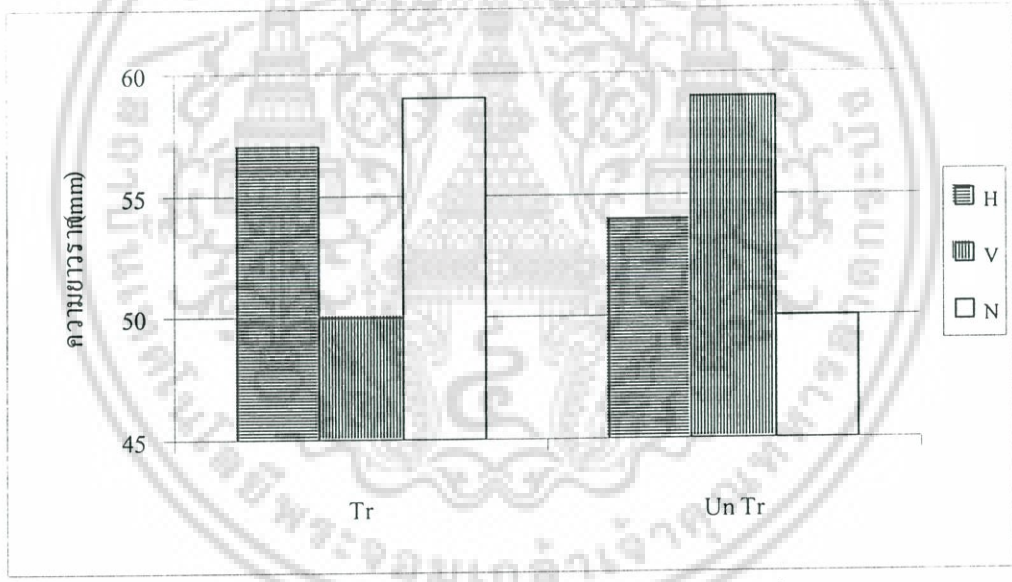
ตารางที่ 6.8 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	57	16	85	15
	แนวตั้งฉาก	50	17	80	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	59	15	85	15
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	54	14	85	10
	แนวตั้งฉาก	59	15	90	15
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	13	80	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.16 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m



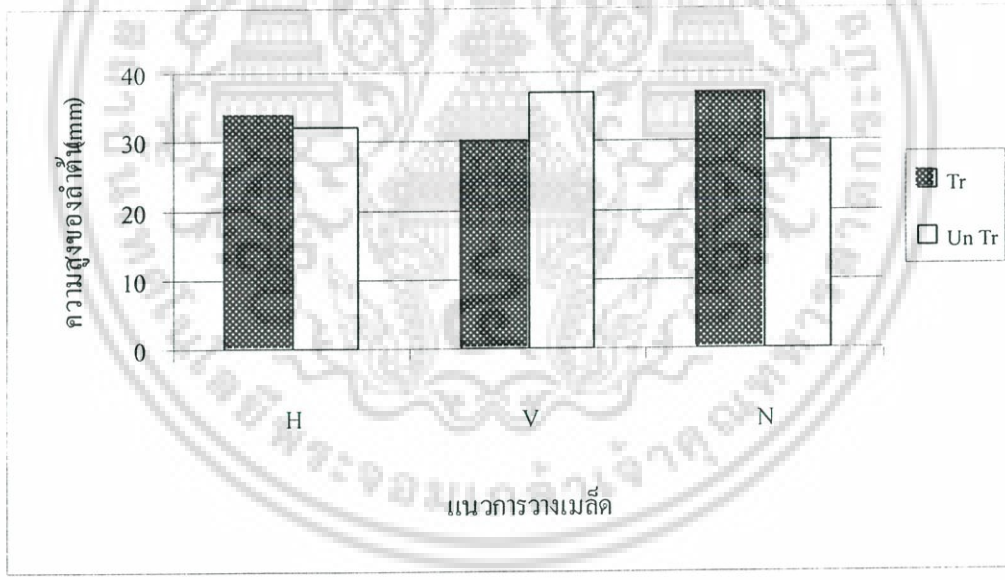
รูปที่ 6.17 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.4 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

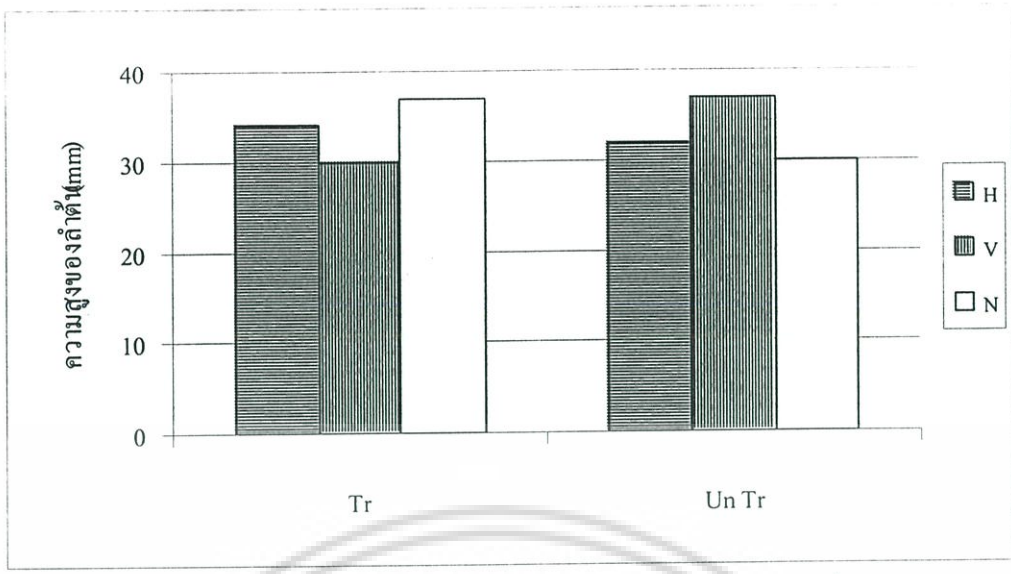
ตารางที่ 6.9 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	34	16	60	10
	แนวตั้งฉาก	30	15	55	5
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	37	14	63	10
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	32	14	60	10
	แนวตั้งฉาก	37	15	65	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	15	55	5



รูปที่ 6.18 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

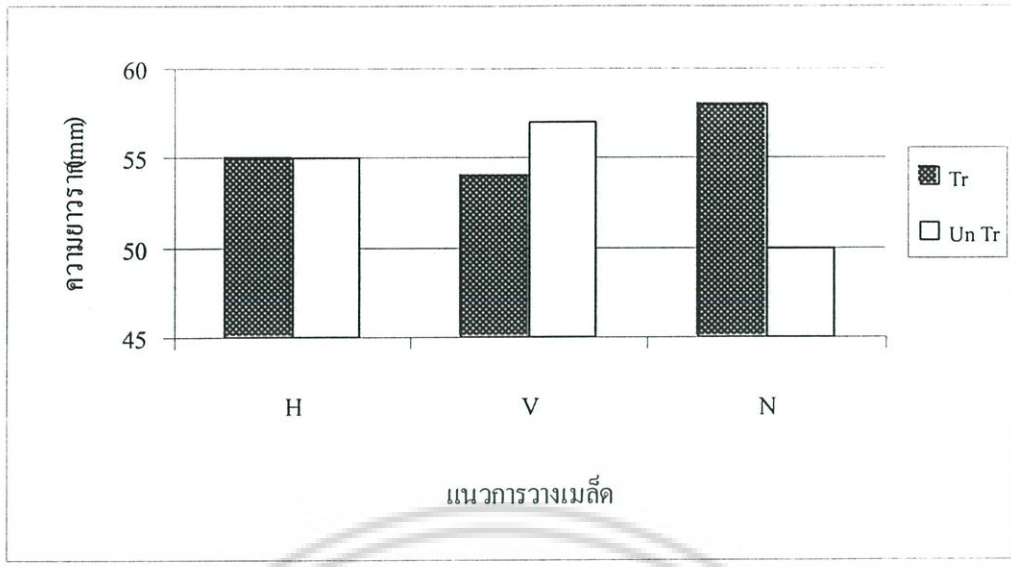


รูปที่ 6.19 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m

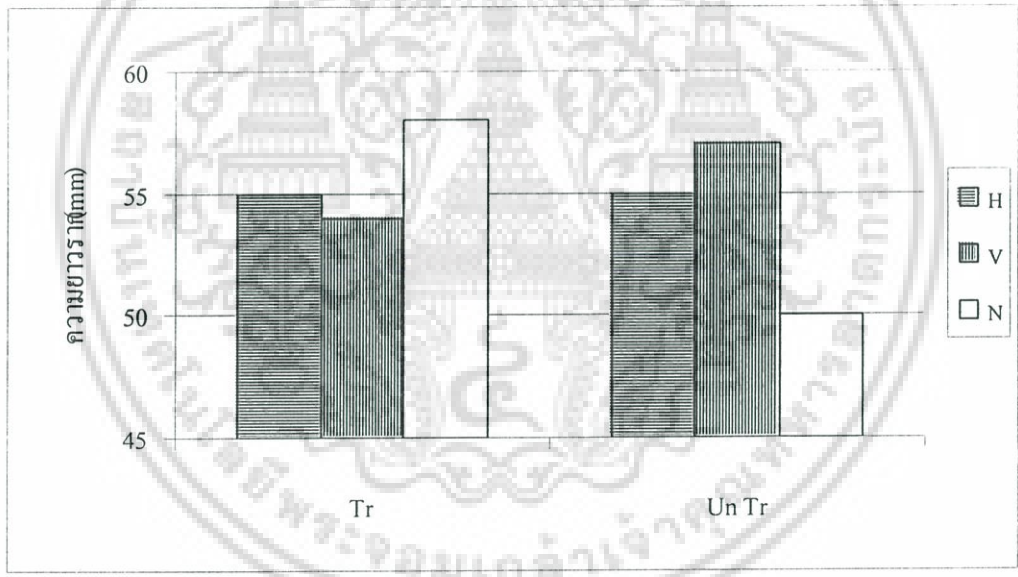
ตารางที่ 6.10 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	55	16	80	15
	แนวตั้งฉาก	54	15	80	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	58	17	85	15
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	55	15	85	15
	แนวตั้งฉาก	57	14	85	15
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	12	85	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.20 การเปรียบเทียบความยาวของรากระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m



รูปที่ 6.21 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.5 ผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

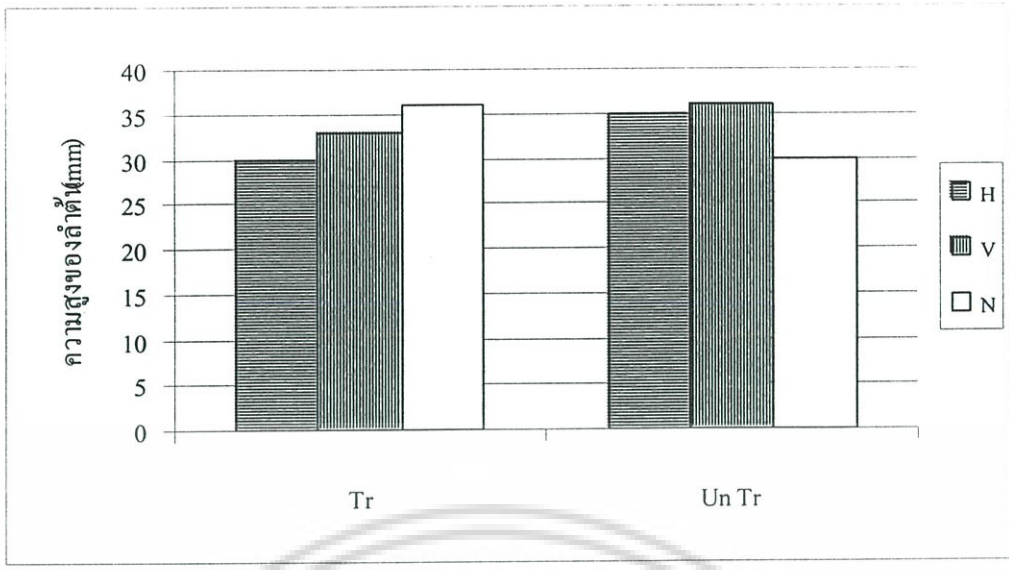
ตารางที่ 6.11 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	30	15	60	10
	แนวตั้งฉาก	33	17	60	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	36	15	65	5
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	35	16	65	5
	แนวตั้งฉาก	36	15	65	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	30	15	60	10



รูปที่ 6.22 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.23 การเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m

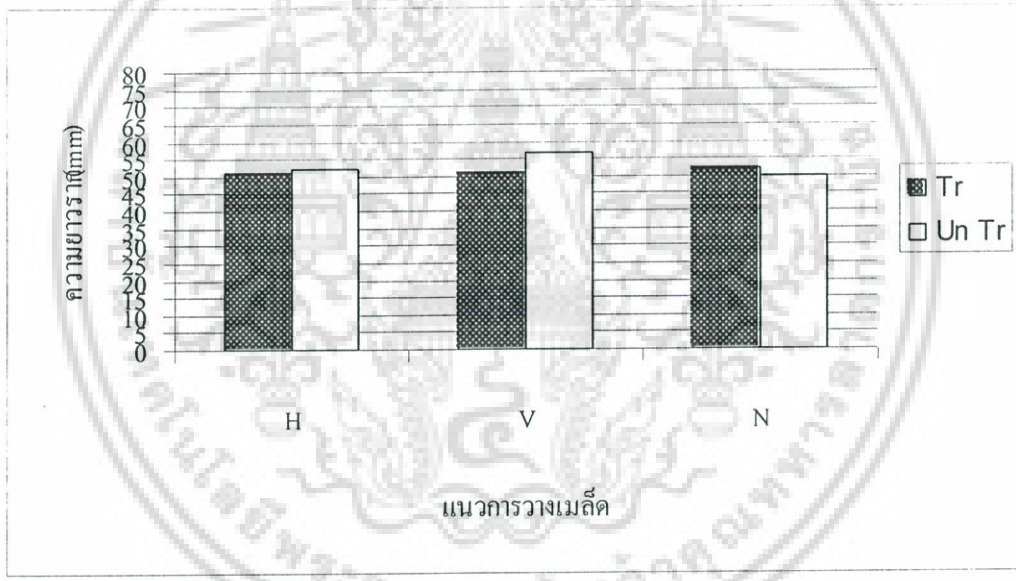
ตารางที่ 6.11 แสดงผลการทดลองของความสูงของลำต้นที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งเมื่อนำผลของค่าเฉลี่ยของทุกกรณีมาสรุปเป็นแผนภูมิแท่งซึ่งค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นเป็นเวลา 5 วันนับจากวันที่เริ่มทำการทดลองจะได้ดังรูปที่ 6.22 และ 6.23 ตามลำดับโดยที่รูปที่ 6.22 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของลำต้นระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m และรูปที่ 6.23 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m ซึ่งจากผลการทดลองในรูปที่ 6.22 จะเห็นว่าความสูงของลำต้นของถั่วงอกเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m พบว่าเมื่อมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า แล้วจะทำให้ความสูงของลำต้นของถั่วงอกเมื่อนำไปปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นในแนวสนามแบบแนวตั้งฉากหรือแนวขนานกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นน้อยกว่าที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า คิดเป็น 8.3% และ 14.3% ตามลำดับและค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นกรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า เมื่อนำไปปลูกในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าจะมากกว่าที่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าและนำไปปลูกในที่ทีมีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 20%

ส่วนผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 6.23 พบว่าค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นเมื่อนำไปปลูกในแนวสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับปลูกในแนวสนามไฟฟ้าขนานกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวและในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 2.8% และ 20% ตามลำดับซึ่งจะทำการพิจารณาในกรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

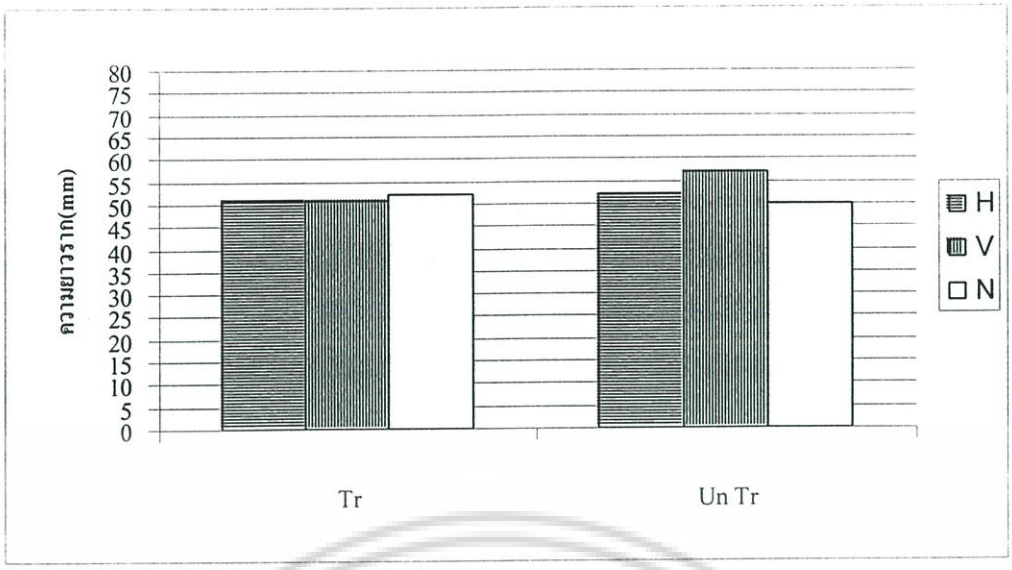
ตารางที่ 6.12 แสดงผลการทดลองของความยาวของรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ

การทำการกระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวการวางเมล็ด	ค่าเฉลี่ย (mm)	ค่าความแปรปรวน	ค่าสูงสุด (mm)	ค่าต่ำสุด (mm)
กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	51	17	80	10
	แนวตั้งฉาก	51	14	80	10
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	52	15	80	15
ไม่ทำ กระตุ้นสนามไฟฟ้า	แนวขนาน	52	14	80	15
	แนวตั้งฉาก	57	13	85	15
	ไม่มีสนามไฟฟ้า	50	15	80	15



รูปที่ 6.24 การเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า กับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.25 การเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m

ตารางที่ 6.12 แสดงผลการทดลองของความยาวรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งเมื่อนำผลของค่าเฉลี่ยของทุกกรณีมาสรุปเป็นแผนภูมิแท่งซึ่งค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยของความยาวรากเป็นเวลา 5 วันนับจากวันที่เริ่มทำการทดลองจะได้ดังรูปที่ 6.24 และ 6.25 ตามลำดับ โดยที่รูปที่ 6.24 แสดงการเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m และรูปที่ 6.25 แสดงการเปรียบเทียบความยาวรากในแนวการวางเมล็ดแบบต่าง ๆ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m ซึ่งจากผลการทดลองในรูปที่ 6.24 จะเห็นว่าความยาวรากของถั่วงอกเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m พบว่าเมื่อมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า แล้วจะทำให้ความยาวรากของถั่วงอกเมื่อนำไปปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้าในแนวสนามแบบแนวตั้งฉากและแบบขนานบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียว จะมีค่าเฉลี่ยของความยาวรากน้อยกว่าที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าคิดเป็น 10.5% และ 1.9% ตามลำดับแต่จะมีค่าเฉลี่ยของความยาวรากมากกว่ากรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า เมื่อนำไปปลูกในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าและปลูกที่ที่มีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 4%

ส่วนผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 6.25 พบว่าค่าเฉลี่ยของความยาวรากเมื่อนำไปปลูกในแนวสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับปลูกในแนวสนามไฟฟ้าขนานกับบริเวณฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียวและในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าคิดเป็น 8.8% และ 14% ตามลำดับซึ่งจะทำการพิจารณาในกรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง

จากตารางที่ 6.3-6.12 และรูปที่ 6.6-6.25 จะพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลองพบว่าค่าความสูงและความยาวรากจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงเมื่อทำการนำเมล็ดไปปลูกในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าในทุกค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

2. เมื่อไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนที่จะทำการทดลองพบว่าค่าความสูงและความยาวรากจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงเมื่อทำการนำเมล็ดไปปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้าและวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับบริเวณ ฮีลัมของเมล็ดถั่วเขียว

3. ในกรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลองพบว่าค่าความสูงของลำต้นและความยาวรากเมื่อนำไปปลูกในแนวสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับฮีลัมจะมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด

6.5.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

จากหัวข้อที่ 6.5.1-6.5.5 ผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้เป็น 2 กรณีดังที่กล่าวแล้วข้างต้นซึ่งจากตัวแปรที่จะทำการศึกษาสามารถสรุปผลได้แล้ว 2 ตัวแปรคือการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ากับแนวการวางเมล็ดในแนวสนามไฟฟ้าซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของความเข้มสนามไฟฟ้า โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในกรณีที่ไม่มีการทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง และนำเมล็ดไปปลูกในสนามไฟฟ้าแนวที่ตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมเทียบกับกรณีที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนการทดลอง และนำเมล็ดไปปลูกในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าโดยจะใช้ค่า Z-value ซึ่งจะเป็นการสุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดมาทำการทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยซึ่งมีเงื่อนไขในการทดสอบดังนี้[10]

1. ระดับนัยสำคัญคือ 0.05,
2. สมมุติฐานว่าง H_o: $\mu_1 \leq \mu_2$,
3. สมมุติฐานสำรอง H_1: $\mu_1 > \mu_2$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นหรือค่าเฉลี่ยของความยาวรากของถั่วงอกที่อยู่ในสนามไฟฟ้า

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นหรือค่าเฉลี่ยของความยาวรากของถั่วงอกที่ไม่อยู่ในสนามไฟฟ้า

จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวราก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามไฟฟ้าซึ่งเราจะยอมรับสมมุติฐานสำรองซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นหรือค่าเฉลี่ยของความยาวรากของถั่วงอกที่อยู่ในสนามไฟฟ้ามีค่าสูงกว่า ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นหรือค่าเฉลี่ยของความยาวรากของถั่วงอกที่ไม่อยู่ในสนามไฟฟ้าเมื่อค่า Z-value มีค่าที่มากกว่า 1.64 เนื่องจากได้ตั้งระดับนัยสำคัญไว้ที่ 0.05 ในตารางที่ 6.13 พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอก ที่ปลูกในสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 10 kV/m มีค่า Z-value เกินกว่า 1.64 ซึ่งเป็นค่าที่เราจะยอมรับสมมุติฐานสำรองอยู่เท่ากับและมากกว่าคิดเป็น 134.1% และ 122% ตามลำดับ

ตารางที่ 6.13 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (kV/m)	Z-Valueความสูงของลำต้น	Z-Value ความยาวราก
10 kV/m	3.84	3.64
20 kV/m	3.89	3.89
30 kV/m	3.97	4.53
40 kV/m	3.29	3.79
50 kV/m	2.82	3.52

ความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอก ที่ปลูกในสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับบริเวณ ฮีลัม ที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 20 kV/m มีค่า Z-value เกินกว่า 1.64 ซึ่งเป็นค่าที่เราจะยอมรับสมมุติฐานสำรองคิดเป็น 137.2% และ 137.2% ตามลำดับ

ความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอก ที่ปลูกในสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับบริเวณ ฮีลัม ที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 30 kV/m มีค่า Z-value เกินกว่า 1.64 ซึ่งเป็นค่าที่เราจะยอมรับสมมุติฐานสำรองคิดเป็น 142.1% และ 176.2% ตามลำดับ

ความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอก ที่ปลูกในสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับบริเวณ ฮีลัม ที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 40 kV/m มีค่า Z-value เกินกว่า 1.64 ซึ่งเป็นค่าที่เราจะยอมรับสมมุติฐานสำรองคิดเป็น 100% และ 131.1% ตามลำดับ

ความสูงของลำต้นของต้นถั่วงอกที่ปลูกในสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับบริเวณฮีลัมที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m มีค่า Z-value เกินกว่า 1.64 ซึ่งเป็นค่าที่เราจะยอมรับสมมุติฐานสำรองคิดเป็น 79.5% และ 114.6% ตามลำดับ

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามไฟฟ้าพบว่าที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10-30 kV/m ทั้งค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอกที่ปลูกในสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับบริเวณฮีลัม จะมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอกที่ปลูกในที่ไม่มีสนามไฟฟ้าและค่าของการยอมรับสมมุติฐานสำรองหรือค่า Z-value จะมีค่ามากขึ้นตามค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 และ 50 kV/m ทั้ง ค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอกที่ปลูกในสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับบริเวณฮีลัม จะมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอกที่ปลูกในที่ไม่มีสนามไฟฟ้าแต่ค่าของการยอมรับสมมุติฐานสำรองหรือค่า Z-value แต่จะมีค่าลดลงตามค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของความสูงและความยาวรากที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m

ตารางที่ 6.14 สรุปผลการทดลองของความเข้มสนามไฟฟ้า

กรณีศึกษา	ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า					รูปภาพ/ตาราง อ้างอิง
	10 kV/m	20 kV/m	30 kV/m	40 kV/m	50 kV/m	
ความสูงลำต้น	***	****	*****	**	*	ตารางที่ 6.3, 6.5, 6.7, 6.9, 6.11, 6.13
ความยาวราก	**	****	*****	***	*	ตารางที่ 6.4, 6.6, 6.8, 6.10, 6.12, 6.13

กำหนดให้ ***** หมายถึง ดีที่สุด ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

**** หมายถึง ดี ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

*** หมายถึง พอใช้ ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

** หมายถึง น้อย ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

* หมายถึง น้อยที่สุด ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

ในตารางที่ 6.14 เป็นการสรุปผลการทดลองของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับต่างกันซึ่งจะเห็นว่าที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m จะมีค่าความสูงของลำต้นและความยาวรากสูงสุดและจะมีค่าเฉลี่ยที่ลดลงที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40-50 kV/m

ในตารางที่ 6.15 เป็นการสรุปผลการทดลองของแนวการวางเมล็ดในแนวสนามไฟฟ้าจะเห็นว่าที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเดียวกัน เมื่อวางเมล็ดในแนวตั้งฉากจะมีค่าความสูงของลำต้นและความยาวของรากมีค่ามากกว่าเมื่อวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.15 สรุปผลการทดลองของแนวการวางเมล็ดในแนวสนามไฟฟ้า

กรณีศึกษา	10kV/m		20kV/m		30kV/m		40kV/m		50kV/m		รูปภาพ/ตาราง อ้างอิง
	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	
ความสูงลำต้น	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	ตารางที่ 6.3, 6.5, 6.7, 6.9, 6.11 รูปที่ 6.7, 6.11, 6.15, 6.19, 6.23
ความยาวราก	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	ตารางที่ 6.4, 6.6, 6.8, 6.10, 6.12 รูปที่ 6.9, 6.13, 6.17, 6.21, 6.25

กำหนดให้ + หมายถึง ดี

- หมายถึง ไม่ดี

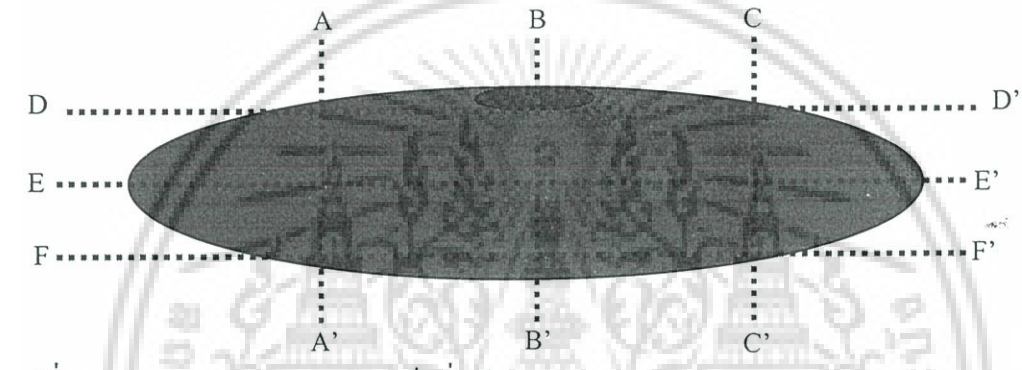
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
วิเคราะห์ผลการทดลอง

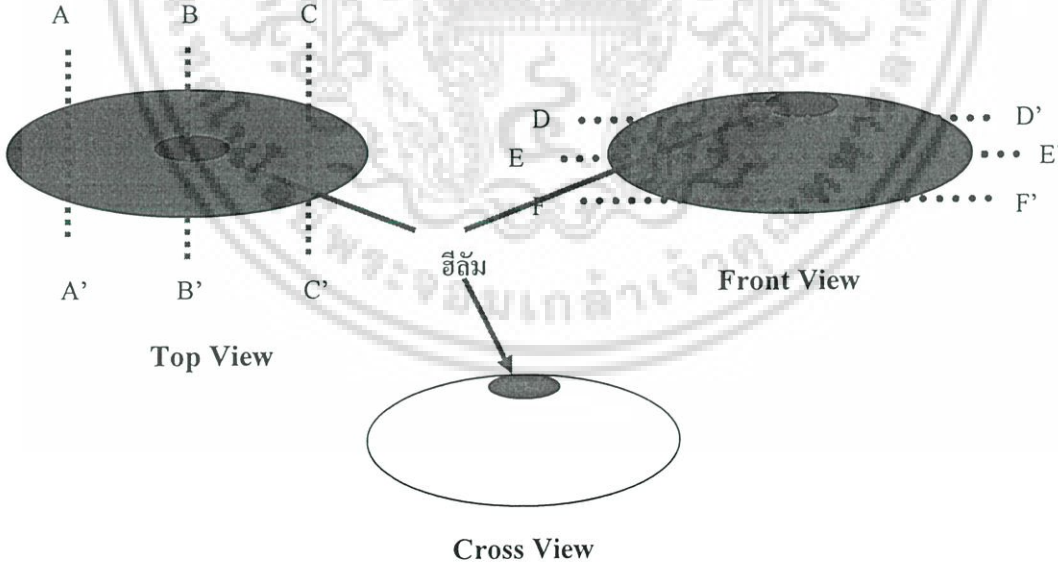
7.1 วิเคราะห์ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดโดยใช้วิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์ในการวิเคราะห์ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1.1 การแบ่ง Section ภายในเมล็ดถั่วเขียว



รูปที่ 7.1 การแบ่ง Section ภายในเมล็ดถั่วเขียว



รูปที่ 7.2 ภาพตัดภายในเมล็ดถั่วเขียว

จากรูปที่ 7.1 เป็นการแสดงการแบ่ง Section เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยจะใช้วิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์มาช่วยในการหาค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าแต่ละจุดบนอิลิเมนท์ที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งภายในเมล็ดถั่วเขียวซึ่งส่วนที่สำคัญที่มีผลกับการงอกของเมล็ดคือส่วนของ ฮีลัม จากรูปที่ 7.1 คือส่วนของ Section B ตัดกับ Section D และจุดดังกล่าวจะเป็นจุดที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้และในแต่ละ Section มีการแบ่งอิลิเมนท์ออกเป็นส่วน ๆ มีจำนวนตามตารางที่ 7.1 โดยจะทำการหา Model ของเมล็ดถั่วเขียวเพื่อใช้ในการแบ่ง Section ภายในเมล็ดถั่วซึ่งจะมีการหาค่าเฉลี่ยของเมล็ดในแต่ละ Section จากเมล็ดถั่วเขียวจำนวน 100 เมล็ด ส่วนในรูปที่ 7.2 แสดงภาพตัดภายในเมล็ดถั่วเขียวโดยแสดงภาพใน Top View, Front View และ Cross View รูปที่ 7.3 เป็นการแสดงขั้นตอนการใช้โปรแกรม Matlab ในการหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดถั่วเขียว



รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Matlab ในการหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดถั่วเขียว

ตารางที่ 7.1 การแบ่งอิลิเมนท์ในแต่ละ Section

Section	จำนวนอิลิเมนท์ทั้งหมด
A	800
B	868
C	813
D	1,098
E	1,135
F	1,096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

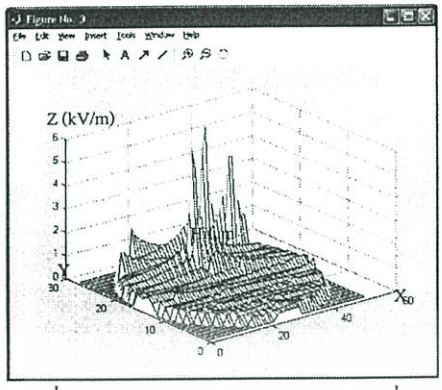
จากขั้นตอนในการคำนวณหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดถั่วเขียว จะเริ่มด้วยการกำหนดโหนดให้กับแต่ละอิลิเมนท์เช่นใน Section A มีจำนวน 800 อิลิเมนท์แต่มี 1,470 โหนด จากนั้นคำนวณหาค่าของความต่างศักย์บริเวณผิวด้านนอกของเมล็ดและใส่ค่าต่าง ๆ เข้าไปในโปรแกรม Matlab (ภาคผนวก ข.) โดยซึ่งโปรแกรมจะได้ค่าของความต่างศักย์ที่แต่ละโหนดของอิลิเมนท์ [11] แล้วใช้ค่าของความต่างศักย์ในการคำนวณหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าด้วยและกำหนดให้ $\varepsilon_r = 5.15$ ภายในเมล็ดถั่วเขียว [12]

ตารางที่ 7.2 สรุปการคำนวณค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดโดยวิธีทางไฟไนท์อิลิเมนท์

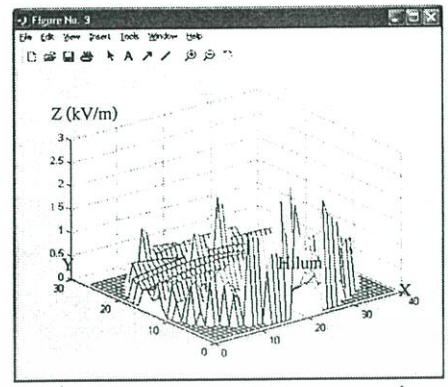
กรณีศึกษา	แนวการวางเมล็ด		Section						รูปภาพที่
	ตั้งฉาก	ขนาน	A	B	C	D	E	F	
E ที่ 10 kV/m	/					/	/	/	7.4, 7.5, 7.6
		/	/	/	/				7.7, 7.8, 7.9
E ที่ 20 kV/m	/					/	/	/	7.10, 7.11, 7.12
		/	/	/	/				7.13, 7.14, 7.15
E ที่ 30 kV/m	/					/	/	/	7.16, 7.17, 7.18
		/	/	/	/				7.19, 7.20, 7.21
E ที่ 40 kV/m	/					/	/	/	7.22, 7.23, 7.24
		/	/	/	/				7.25, 7.26, 7.27
E ที่ 50 kV/m	/					/	/	/	7.28, 7.29, 7.30
		/	/	/	/				7.31, 7.32, 7.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

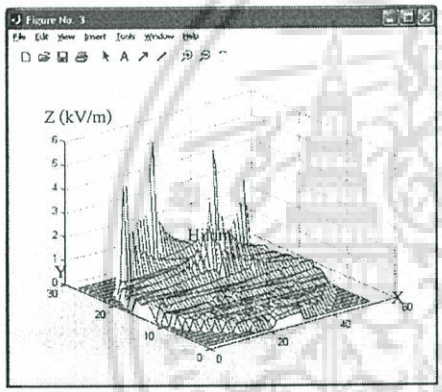
7.1.2 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m



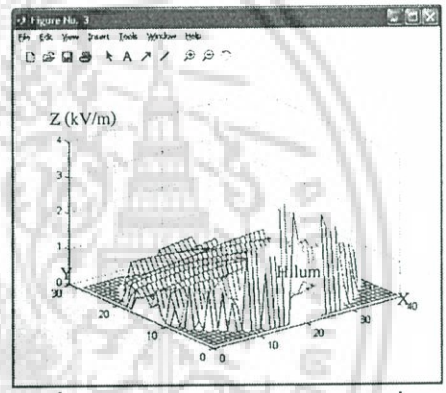
รูปที่ 7.4 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section D



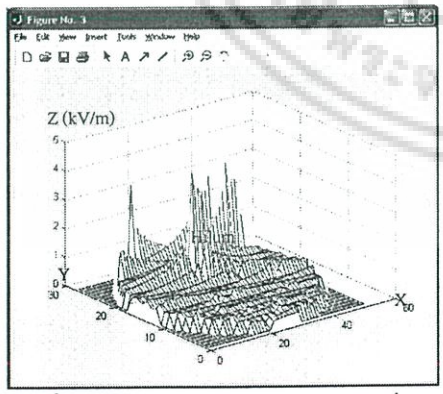
รูปที่ 7.7 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section A



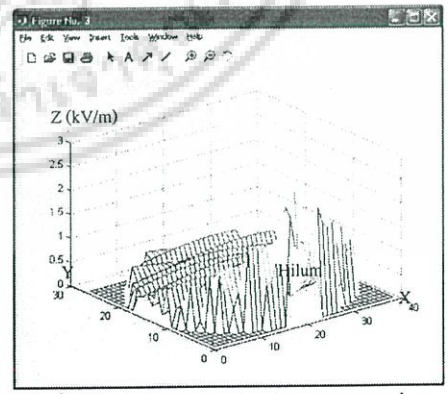
รูปที่ 7.5 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section E



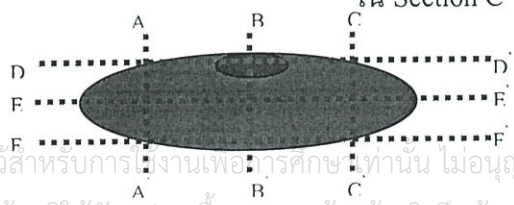
รูปที่ 7.8 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section B



รูปที่ 7.6 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section F

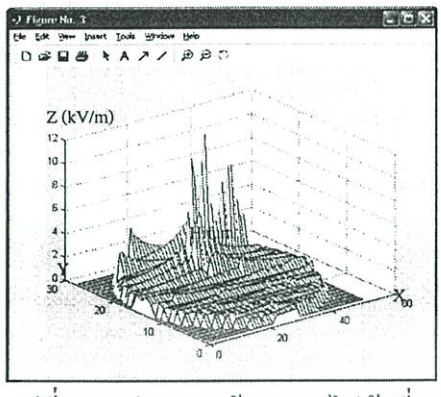


รูปที่ 7.9 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 kV/m ใน Section C

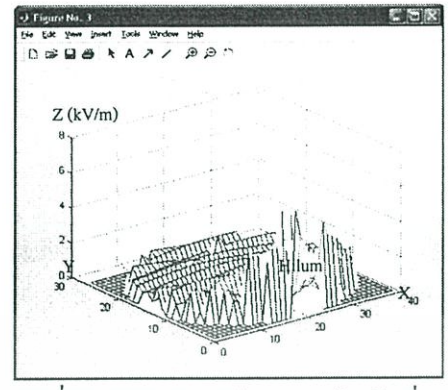


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

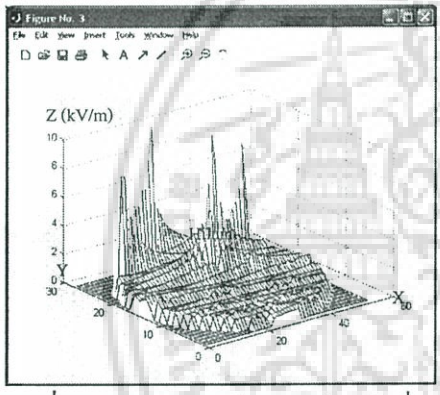
7.1.3 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m



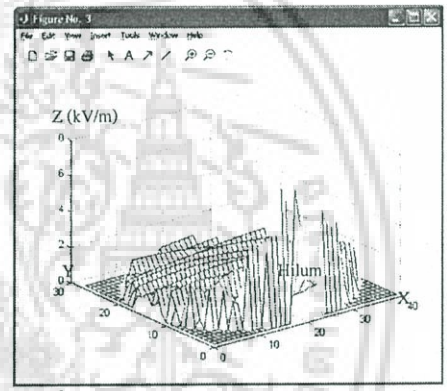
รูปที่ 7.10 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section D



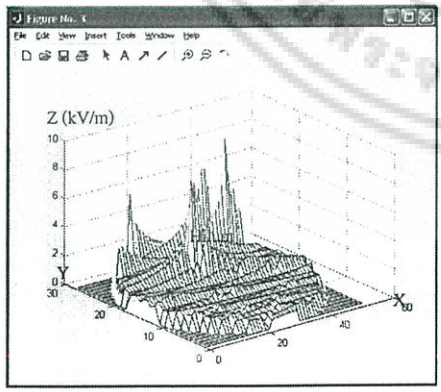
รูปที่ 7.13 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section A



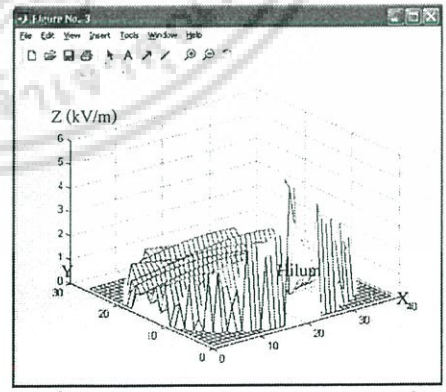
รูปที่ 7.11 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section E



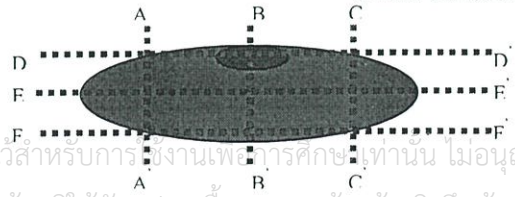
รูปที่ 7.14 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section B



รูปที่ 7.12 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section F

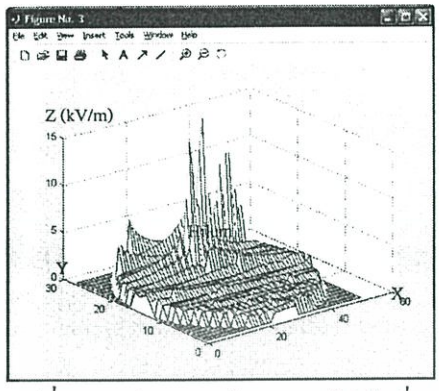


รูปที่ 7.15 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 20 kV/m ใน Section C

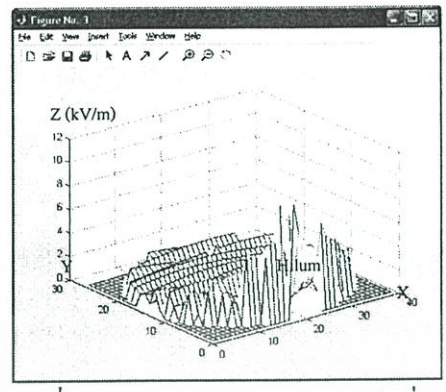


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

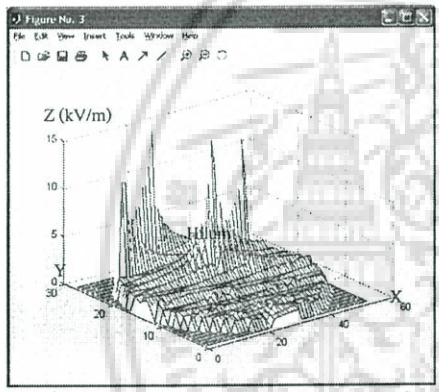
7.1.4 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m



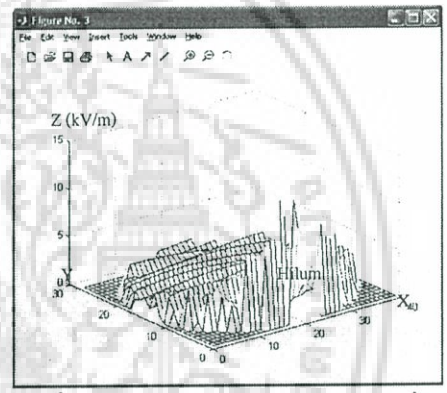
รูปที่ 7.16 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section D



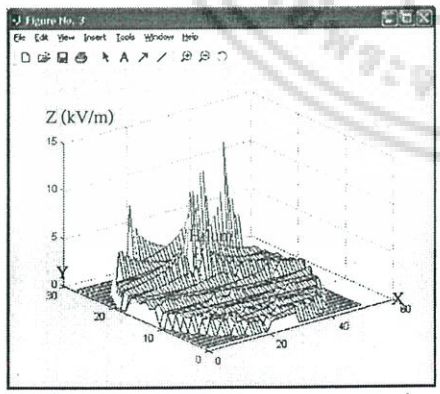
รูปที่ 7.19 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section A



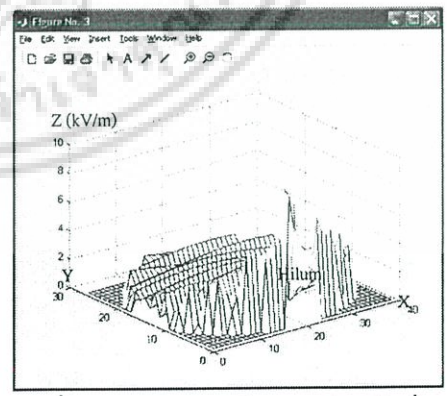
รูปที่ 7.17 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section E



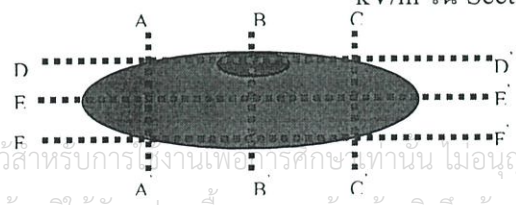
รูปที่ 7.20 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section B



รูปที่ 7.18 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section F

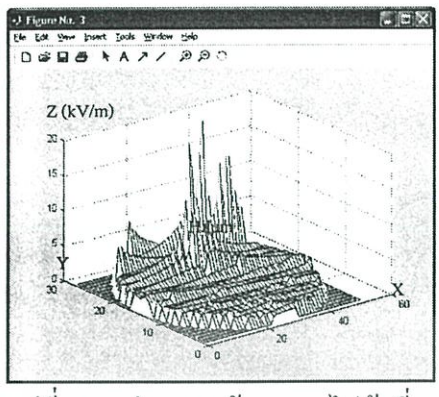


รูปที่ 7.21 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 30 kV/m ใน Section A

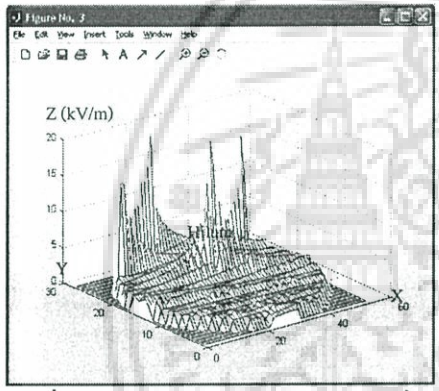


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

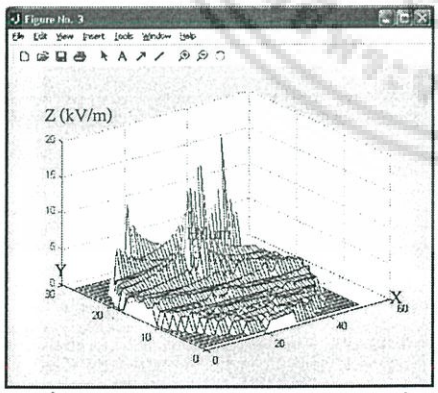
7.1.5 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m



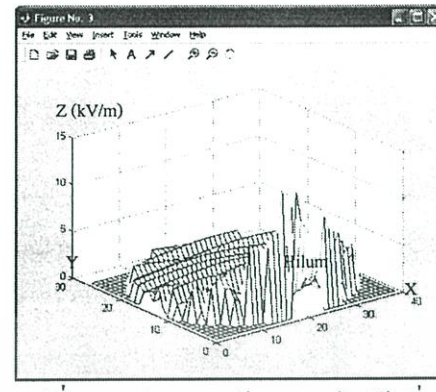
รูปที่ 7.22 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section D



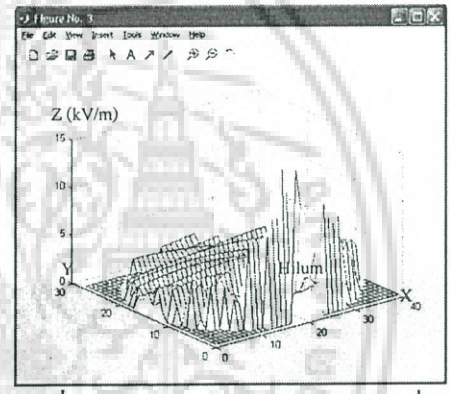
รูปที่ 7.23 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section E



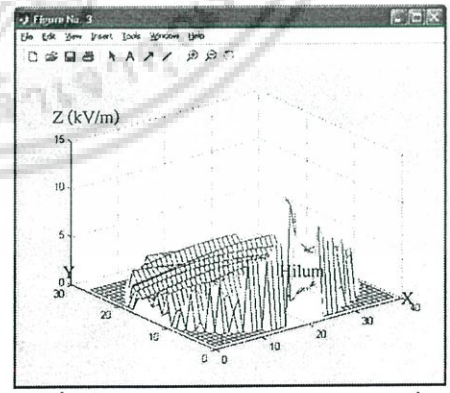
รูปที่ 7.24 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section F



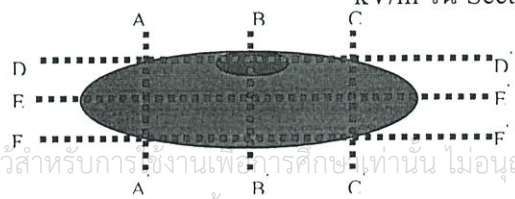
รูปที่ 7.25 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section A



รูปที่ 7.26 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section B

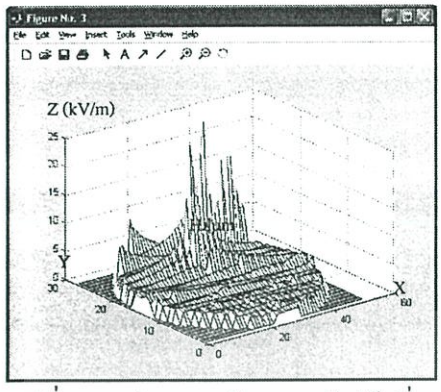


รูปที่ 7.27 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ใน Section C

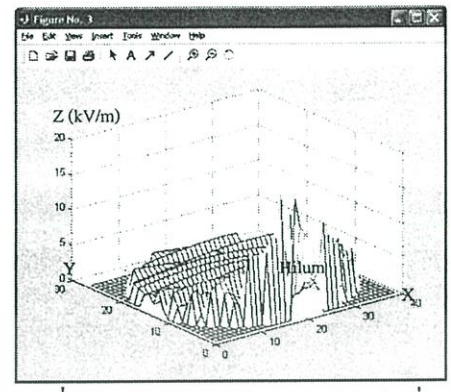


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

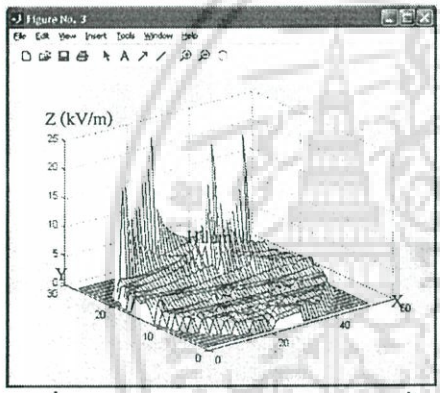
7.1.6 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m



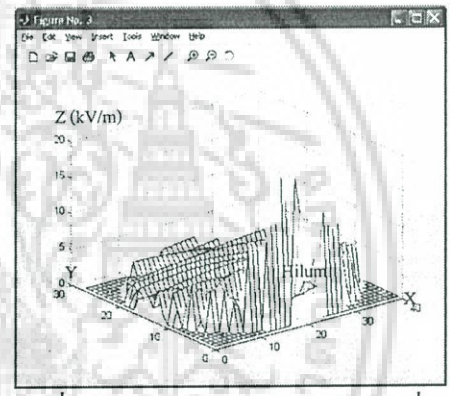
รูปที่ 7.28 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section D



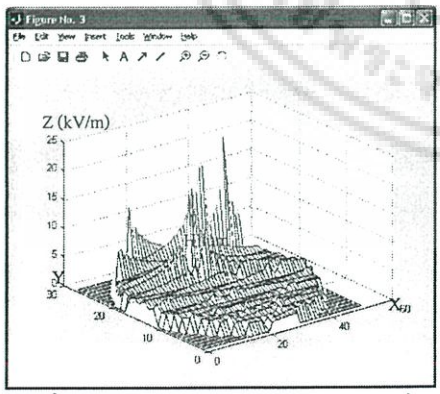
รูปที่ 7.31 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section A



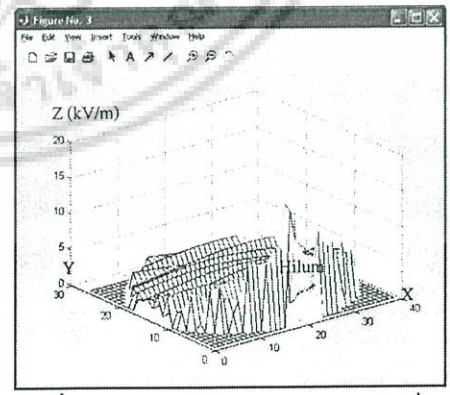
รูปที่ 7.29 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section E



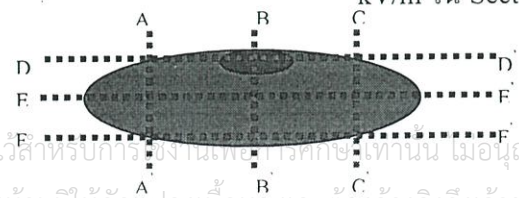
รูปที่ 7.32 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section B



รูปที่ 7.30 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section F



รูปที่ 7.33 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m ใน Section C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.4 – 7.33 แสดงค่าความเข้มสนามไฟฟ้าในเมล็ดถั่วงอกเมื่อมีการให้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าต่างกัน โดยจะแบ่งตามตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากและแนวขนาน กับสนามไฟฟ้า ในแกน X และ Y คือตำแหน่งของอิลิเมนท์ที่แบ่งในแต่ละ Section แกน Z คือค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์

เปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าในเมล็ดถั่วงอกที่ตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวตั้งฉาก ซึ่งก็คือใน Section D-F ที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเดียวกันจะเห็นว่าในแนว Section D จะมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดสูงที่สุดโดยเฉพาะส่วนของฮีลัมของเมล็ดและบริเวณที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูง ๆ จะอยู่ในบริเวณเดียวกันเมื่อเทียบกับในแนว Section E และ F ส่วนแนวการวางเมล็ดในแนวขนานคือใน Section A-C ที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเดียวกันจะเห็นว่าในแนว Section B จะมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดสูงที่สุดโดยเฉพาะส่วนของฮีลัมของเมล็ดและบริเวณที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูง ๆ จะอยู่ในบริเวณเดียวกันเมื่อเทียบกับในแนว Section A และ C ถ้าทำการเปรียบเทียบระหว่างแนวการตัด Section ที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าต่างกันจะพบว่าที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m จะมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดสูงที่สุดทั้งในแนวการวางเมล็ดแนวตั้งฉากและแนวขนานกับสนามไฟฟ้า

7.2 วิเคราะห์ผลของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าและตำแหน่งการวางเมล็ดต่อการเจริญเติบโต

จากหัวข้อที่ 7.1 ได้ทำการวิเคราะห์ค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าโดยใช้วิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์ภายในเมล็ดถั่วเขียว เมื่อนำมาสรุปเป็นตารางจะแสดงในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.3 แสดงค่าความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณฮีลัม ที่ Section B (แนวขนาน) และ Section D (แนวตั้งฉาก) ภายในเมล็ดถั่วเขียว ที่เลือกบริเวณฮีลัม มาแสดงค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่ถั่วงอกจะงอกออกมาเป็นจุดแรกจากเมล็ดถั่วเขียว ซึ่งจากตารางที่ 7.2 จะเห็นว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมากขึ้น ค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าในเมล็ดในแนวการวางเมล็ดตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้า จะมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าในเมล็ดมากกว่าในแนวการวางเมล็ดขนานกับแนวของสนามไฟฟ้าที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองค่าเดียวกัน

ในรูปที่ 7.34 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่บริเวณฮีลัมที่ Section B (แนวขนาน) และ Section D (แนวตั้งฉาก) ซึ่งจากรูปกราฟที่ได้สามารถหาสมการโพลิโนเมียลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวสนามไฟฟ้า

$$(-0.0007X^4+0.02X^3-0.2X^2+1.08X-2.2165)\ x10^5 = 0 \quad (7.1)$$

แนวการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวสนามไฟฟ้า

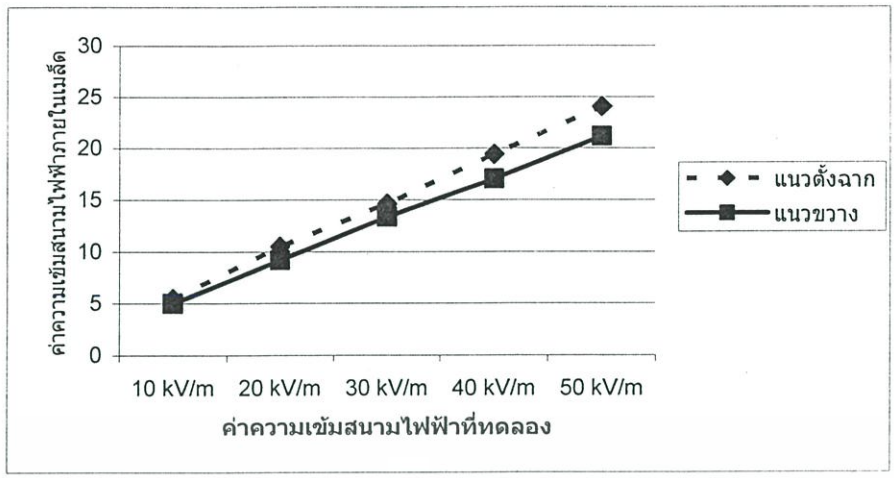
$$(-0.0007X^4+0.02X^3-0.28X^2+1.72X-3.92)\ x10^5 = 0 \quad (7.2)$$

ในรูปที่ 7.35 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดและค่าของ Z ที่ค่าความสูงของลำต้นซึ่งจะเห็นว่าเมื่อความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดก็สูงขึ้นเช่นเดียวกับค่าของ Z ยกเว้นในช่วงความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 และ 50 kV/m ในรูปที่ 7.36 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง เปรียบเทียบกับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดและค่าของ Z ที่ค่าความยาวรากซึ่งจะเห็นว่าเมื่อความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดก็สูงขึ้นเช่นเดียวกับค่าของ Z ยกเว้นในช่วงความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 40 kV/m ที่นำค่าของ Z มาทำการเปรียบเทียบเนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากการพิสูจน์แล้วว่าสนามไฟฟ้ามีผลกับการเจริญเติบโตของต้นถั่วงอกจริง รูปที่ 7.37 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10-50 kV/m ในแนวการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวสนามไฟฟ้าและรูปที่ 7.38 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่10-50 kV/m ในแนวการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวสนามไฟฟ้า

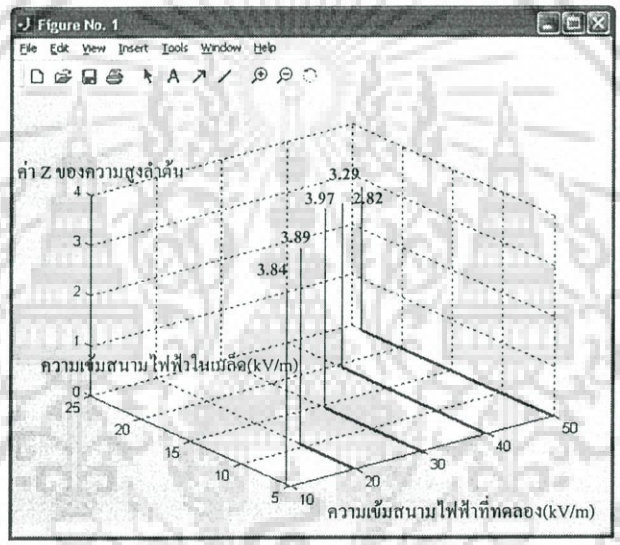
ตารางที่ 7.3 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณฮีลัม ที่ Section B (แนวขนาน) และ Section D (แนวตั้งฉาก)

ความเข้มสนามไฟฟ้า	ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณจากวิธีทางไฟไนท์อิลิเมนท์	
	การวางเมล็ดแนวตั้งฉาก	การวางเมล็ดแนวขนาน
10 kV/m	5.46 kV/m	5.01 kV/m
20 kV/m	10.51 kV/m	9.18 kV/m
30 kV/m	14.62 kV/m	13.36 kV/m
40 kV/m	19.42 kV/m	17.04 kV/m
50 kV/m	24.07 kV/m	21.17 kV/m

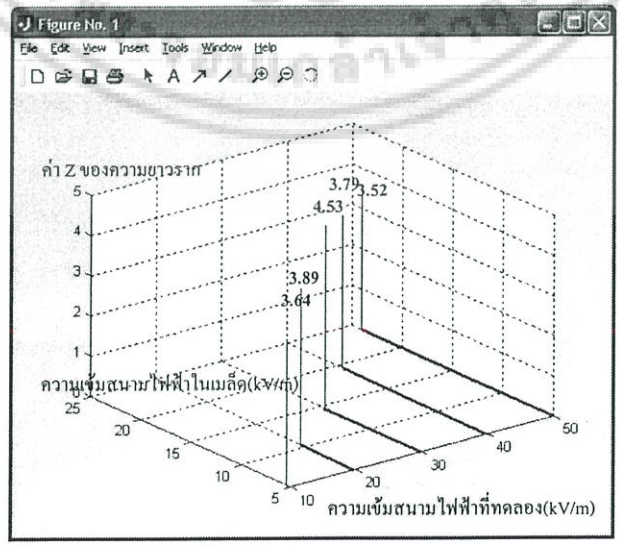
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.34 การเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ด

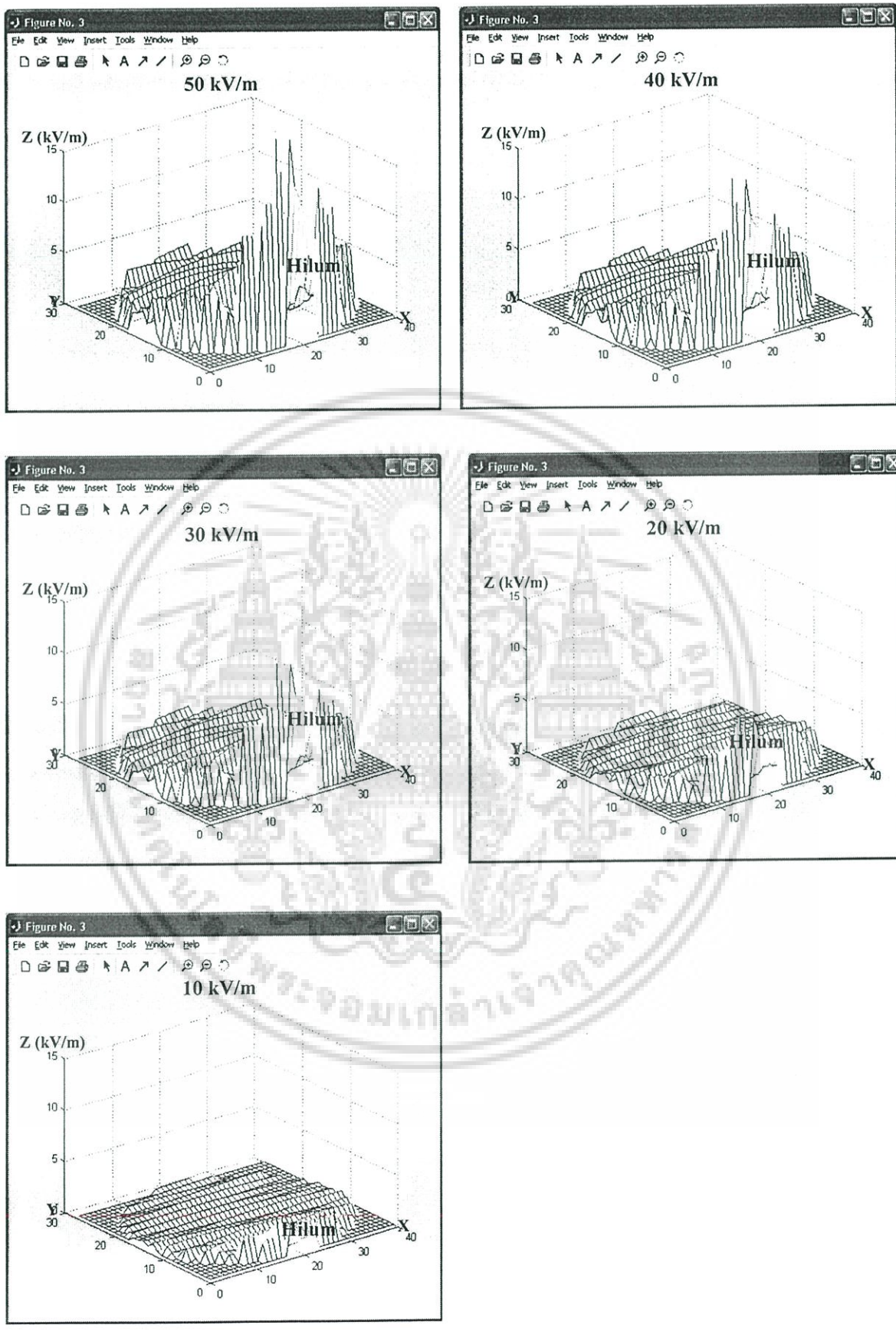


รูปที่ 7.35 เปรียบเทียบกับความสูงลำต้น



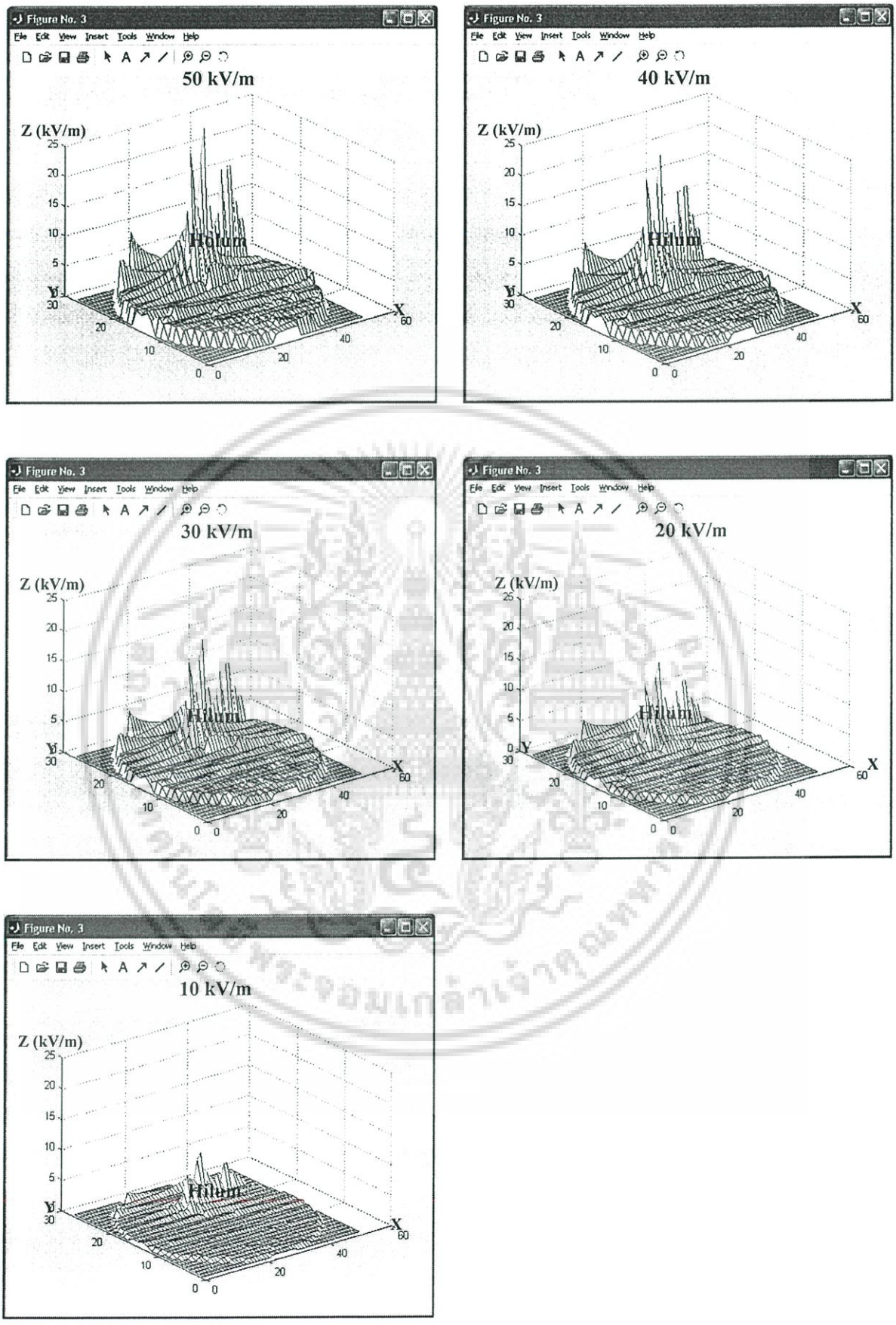
รูป 7.36 เปรียบเทียบกับความยาวราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.37 การเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10-50 kV/m ในแนวการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.38 การเปรียบเทียบค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10-50 kV/m ในแนวการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืช โดยจะทำการศึกษาผลของความเข้มสนามไฟฟ้าและตำแหน่งการวางเมล็ด ซึ่งจะทำการปรับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 20 30 40 และ 50 kV/m ส่วนตำแหน่งการวางเมล็ดนั้นจะมีตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวขนานและตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า โดยจะทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของถั่วงอกในที่ไม่มีสนามไฟฟ้าซึ่งจะทำการศึกษาการเจริญเติบโตดังกล่าว จากความสูงของลำต้นและความยาวของราก โดยก่อนที่จะทำการทดลองได้มีการนำเมล็ดพันธุ์ไปทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ก่อนที่จะทำการทดลองเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า โดยใช้เงื่อนไขในการทดลองแบบเดียวกันจากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เมล็ดถั่วเขียวที่ทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ก่อนการทดลองเมื่อนำไปปลูกในที่ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากของต้นถั่วงอกจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด
2. เมล็ดถั่วเขียวที่ไม่ได้ทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ก่อนการทดลองเมื่อนำไปปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้าระหว่างค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10, 20 และ 30 kV/m ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากของต้นถั่วงอกจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นตามระดับของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง
3. เมล็ดถั่วเขียวที่นำไปปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้า ในตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้า จะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากของต้นถั่วงอกสูงกว่าค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากของต้นถั่วงอก ที่ปลูกในที่ที่มีสนามไฟฟ้าในตำแหน่งการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวของสนามไฟฟ้า

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดถั่วเขียวโดยใช้วิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์ ซึ่งค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดที่ได้สรุปผลได้ว่า

1. ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดบริเวณฮีลัม ซึ่งเป็นส่วนแรกที่ต้นถั่วงอกงอกออกมาจากเมล็ดถั่วเขียวจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง
2. ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดบริเวณฮีลัม ในแนวการวางเมล็ดตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้าจะมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดบริเวณฮีลัม มากกว่าในแนวการวางเมล็ดขนานกับแนวของสนามไฟฟ้า

ซึ่งผลการทดลองที่ได้กับการหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า โดยวิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์พบว่าสอดคล้องกันคือเมื่อเราทำการเพิ่มค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองให้มีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นทำให้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอกมีค่าสูงขึ้นในช่วงของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 10 20 และ 30 kV/m เมื่อไม่ได้ทำการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า เมล็ดถั่วเขียวก่อนจะนำไปทำการปลูก

ส่วนแนวการวางเมล็ดในระหว่างการปลูกนั้นแนวการวางเมล็ด ในแนวที่ตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้าจะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวของรากของต้นถั่วงอกสูงกว่าแนวการวางเมล็ดในแนวขนานกับแนวสนามไฟฟ้าซึ่งจะให้ผลเช่นเดียวกับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดบริเวณฮีลัม

ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้และผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนท์ พบว่าสนามไฟฟ้ามีผลกับการเจริญเติบโตของถั่วงอก ในช่วงที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าทีค่าไม่มากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือในช่วงค่าความเข้มที่ 10, 20 และ 30 kV/m และในทิศทางที่เมล็ดพันธุ์ถูกวางในแนวที่ตั้งฉากกับแนวสนามไฟฟ้า โดยสนามไฟฟ้าอาจมีผลกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของเมล็ดถั่วเขียวที่มีผลกับการเจริญเติบโตทำการมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นเมื่อเมล็ดถั่วเขียวได้รับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่ค่าสูง ๆ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือที่ 40 และ 50 kV/m จะมีผลทำให้ค่าความสูงของลำต้นและความยาวของรากมีค่าลดลง จึงมีแนวโน้มว่าน่าจะมีผลกระทบกับสิ่งมีชีวิตอื่นด้วยจึงควรระมัดระวังในการใช้หรือได้รับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มที่สูง ส่วนในที่ที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าในระดับต่ำ ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือในช่วงค่าความเข้มที่ 10, 20 และ 30 kV/m ทำให้ค่าความสูงของลำต้นและความยาวของรากดีกว่าซึ่งน่าจะนำไปประยุกต์ใช้ในงานเกษตรกรรมได้ เพื่อลดระยะเวลาการปลูกและเพิ่มปริมาณการผลิตในพืชเศรษฐกิจที่จะนำมาซึ่งรายได้ในการพัฒนาประเทศต่อไป ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของถั่วงอกคือที่ 30 kV/m โดยในการทำการทดลองจะมีค่าของความชื้นและอุณหภูมิในระดับเดียวกันจึงไม่มีผลของความชื้นและอุณหภูมิมาเกี่ยวข้อง

ในผลการทดลองค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากการนำค่าเฉลี่ยในแต่ละครั้งที่ทำการทดลองคือจำนวน 100 เมล็ดมาหาค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากจำนวน 400 เมล็ดคือจำนวนทั้งหมดของเมล็ดพันธุ์ที่ทำการทดลองจำนวน 4 ครั้งนั้นจะมีค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นและความยาวรากเท่ากัน

<u>ข้อปัญหาที่พบในระหว่างการทำการทดลองและข้อเสนอแนะ</u>

1. ในการทดลองแต่ละครั้งถ้าเกิดไฟดับในระหว่างการทดลองจะต้องทำการทดลองใหม่
2. ขาดอุปกรณ์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ผลการเจริญเติบโตของถั่วงอกในระดับของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าที่ระดับความเข้มสูง ๆ ต้องระมัดระวังเรื่องของการเบรคดาวน์ของอุปกรณ์ด้วย

หัวข้อที่ควรศึกษาต่อไป

1. หัวข้อที่ควรทำการศึกษาต่อไปคือ การศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าโดยจะให้สนามไฟฟ้าเป็นแบบลบกับกราวน์และแบบบวกกับลบ

ตารางที่ 8.1 สรุปผลการทดลองของแนวการวางเมล็ดในแนวสนามไฟฟ้า

กรณีศึกษา	แนวตั้งฉาก	แนวขนาน	รูปภาพ/ ตารางอ้างอิง
ความสูงลำต้น	+	-	ตารางที่ 6.3, 6.5, 6.7, 6.9, 6.11 รูปที่ 6.7, 6.11, 6.15, 6.19, 6.23
ความยาวราก	+	-	ตารางที่ 6.4, 6.6, 6.8, 6.10, 6.12 รูปที่ 6.9, 6.13, 6.17, 6.21, 6.25

กำหนดให้ + หมายถึง ดี
- หมายถึง ไม่ดี

ตารางที่ 8.2 สรุปผลการคำนวณค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ดโดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ในกรณีของค่าความเข้มสนามไฟฟ้าต่างกัน

กรณีศึกษา	ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า					รูปภาพอ้างอิง
	10 kV/m	20 kV/m	30 kV/m	40 kV/m	50 kV/m	
ความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเมล็ด	*	**	***	****	*****	รูปที่ 7.4-7.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 สรุปผลการทดลองของความเข้มสนามไฟฟ้า

กรณีศึกษา	ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า					รูปภาพ/ตาราง อ้างอิง
	10 kV/m	20 kV/m	30 kV/m	40 kV/m	50 kV/m	
ความสูงลำต้น	***	****	*****	**	*	ตารางที่ 6.3, 6.5, 6.7, 6.9, 6.11, 6.13
ความยาวราก	**	****	*****	***	*	ตารางที่ 6.4, 6.6, 6.8, 6.10, 6.12, 6.13

กำหนดให้ ***** หมายถึง ดีที่สุด ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

**** หมายถึง ดี ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

*** หมายถึง พอใช้ ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

** หมายถึง น้อย ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

* หมายถึง น้อยที่สุด ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง 10 kV/m ถึง 50 kV/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ร่มฉัตร ยูรประถม, มานะ ศรียุทธศักดิ์, คมสันต์ เพ็ชรรักษ์ และ สำรวย สังข์สะอา "ผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบอิมพัลส์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20, 2540

[2] Dayal, S; Singh, R.P., "Effect of seed exposure to magnetic field on the height of tomato plants" Indian Journal of Agricultural Sciences, 1986

[3] Masafumi Muraji, Masao Nishimura, Wataru Tatebe and Tomoo Fujii "Effect of Alternating Magnetic Field on the Growth of the Primary Root of Corn", IEEE Transations on magnetics, 1992, vol 28, no. 4, pp. 1996-2000.

[4] Noriyuki Hirota, Jun Nakagawa, Koichi Kitazawa "Effects of a magnetic field on the germination of plants", Journal of applied physics, 1999, vol 85, no 8, pp. 5717-5719.

[5] William H. Hayt, JR., "Engineering Electromagnetics", McGRAW-HILL, 1989.

[6] ดร.สำรวย สังข์สะอาด "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง" สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528

[7] ดร.จวงจันทร์ ดวงพัตรา, "เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ (Seed technology)", สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529, กลุ่มหนังสือเกษตร, หน้า 5-71.

[8] คมสันต์ หุตะแพทย์และกำพล กาหลง "สารพัดวิธีเพาะถั่วงอก" มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา, 2542

[9] ผศ.กานดา พูลลาภทวี, "สถิติเพื่อการวิจัย", ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์, 2530.

[10] ฮิโตชิ คุเมะ "วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี่ (ไทย-ญี่ปุ่น) สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2543

[11]Matthew N.O. Sadiku, " Numerical Techniques in Electromagnetic", CRC Press; 2000, pp.407-492.

[12] S.O. Nelson and others, "Dielectric Properties of Grain and Seed", ASAE Standards; 2000, pp.549-558.

[13] เชาว์ ชิโนรักษ์และพรรณี ชิโนรักษ์, " ชีววิทยา 3", สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2530, หน้า 284-311.

[14] ณหทัย พีระปกรณ์, "สถิติเบื้องต้น", โครงการตำรา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2530.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] ทองคำ ไม้กลัด, " สถิติวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์", สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2527.

[16] มงคล เดชนครินทร์ "สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก" สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2524

[17] สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ "เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่" โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2539, หน้า 135-148.

[18] รศ. สมภพ ฐิตะวสันต์ "หลักการผลิตผัก" สำนักพิมพ์รั้วเขียว, 2537

[19] Albert E. Bartz, "Basic Statistical concepts", Prentice Hall; 1997, pp 50-60.

[20] Charles Polk and Elliot Postow, "Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields"; CRC Press; 1995.

[21] E.Kuff and M.Abddulah, "High-Voltage Engineering", Pergamon Press; Oxford 1977.

[22] Mario F. Triola, "Elementary statistics", Addison Wesley Longman, Inc; 1997, pp 60-78, 425-427.

[23] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The Effect of Electric Field on Bean Sprout Growing", 2002 International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEMC2002), Bangkok, Thailand, pp. 237-241.

[24] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The comparison of Electric Field Intensity Affects to the Bean Sprout Growing", Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM'2003), Hangzhou, China, pp.142-147.

[25] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The Study of Electric Field Treatment Affects on The Growing Based on Electric Field Intensity and Direction", Asia-Pacific EMF Conference, Bangkok, Thailand, Poster no.12.

[26] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "Electric Field Direction Affects on the Growth of Bean Sprouts", 2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sendai, Japan.

[27] V.Prasad Kodali, "Engineering Electromagnetic Compatibility Principles, Measurements and Technologies", IEEE PRESS, 1996, pp 11.

[28] Clayton R. Paul, Keith W. Whites and Syed A. Nasar, "Introduction to Electromagnetic Field", McGRAW-HILL, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ค่าทางสถิติ

มัธยฐาน (Median)

มัธยฐาน หมายถึง ข้อมูลที่อยู่ตรงกลางของข้อมูลทั้งหมดเมื่อได้จัดเรียงลำดับข้อมูลเหล่านั้นแล้ว การหาค่ามัธยฐานมีวิธีดังนี้

1. การหามัธยฐานสำหรับข้อมูลที่ไม่แจกแจงความถี่ ให้นำข้อมูลทั่วหมดมาเรียงลำดับแล้วพิจารณาว่าข้อมูลตัวใดมีตำแหน่งตรงกลาง ข้อมูลนั้นก็เป็นมัธยฐานที่ต้องการจะเป็นข้อมูลที่ตรงกับตำแหน่งที่ $\frac{N+1}{2}$

2. การหามัธยฐานสำหรับข้อมูลที่แจกแจงความถี่ จะมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$M_{dn} = L_o + i\left[\frac{\frac{N}{2} - cf}{f}\right] \qquad \text{(ก.1)}$$

เมื่อ M_{dn} คือ มัธยฐาน

L_o คือ ขีดจำกัดล่างจริง

i คือ อันตรภาคชั้น

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

cf คือ ความถี่สะสมจากคะแนนต่ำสุดถึงคะแนนที่เป็นขีดจำกัดบนของคะแนนในชั้นก่อนชั้นที่มีมัธยฐาน

f คือ ความถี่ของคะแนนในชั้นที่มีมัธยฐาน

ฐานนิยม (Mode)

ฐานนิยม หมายถึง คะแนนที่มีความถี่มากที่สุด การคำนวณค่าฐานนิยมมีดังนี้

1. การหาฐานนิยมสำหรับข้อมูลที่ไม่แจกแจงความถี่ให้พิจารณาว่ามีข้อมูลใดซ้ำกันมากที่สุด ข้อมูลตัวนั้นจะเป็นฐานนิยม

2. การหาฐานนิยมสำหรับข้อมูลที่แจกแจงความถี่จะมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$M_o = L_o + i[\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}] \qquad \text{(ก.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ M_o คือ ฐานนิยม

L_o คือ ขีดจำกัดล่างจริง

i คือ อันตรภาคชั้น

Δ_1 คือ ผลต่างของความถี่ของชั้นที่มีฐานนิยมตกอยู่กับชั้นที่อยู่ติดกันซึ่งมีข้อมูลต่ำกว่า

Δ_2 คือ ผลต่างของความถี่ของชั้นที่มีฐานนิยมตกอยู่กับชั้นที่อยู่ติดกันซึ่งมีข้อมูลสูงกว่า

f_o คือ ความถี่ของชั้นที่อยู่ติดกับฐานนิยม ซึ่งมีข้อมูลต่ำกว่า

f_1 คือ ความถี่ของชั้นที่มีฐานนิยมอยู่

f_2 คือ ความถี่ของชั้นที่อยู่ติดกับฐานนิยม ซึ่งมีข้อมูลสูงกว่า

3. การหาฐานนิยมโดยประมาณด้วยการใช้ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเลขคณิตและมัธยฐานสูตรในการหาค่าฐานนิยมโดยประมาณมีดังนี้

$$M_o = 3M_{dn} - 2X \qquad \text{(ก.3)}$$

เมื่อ M_o คือ ฐานนิยม

M_{dn} คือ มัธยฐาน

X คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

พิสัย

พิสัย คือ ค่าความแตกต่างของค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของข้อมูล การวัดการกระจายด้วยวิธีนี้สามารถทำได้รวดเร็วแต่ผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าอย่างคร่าว ๆ เพราะในการคำนวณ พิจารณาเฉพาะตัวเลขสองจำนวนเท่านั้น คือ ค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด

ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ (Quartile Deviation)

ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ เป็นการวัดการกระจายซึ่งคำนวณได้จากครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างควอไทล์ที่ 3 และควอไทล์ที่ 1 โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$Q.D. = \frac{Q_3 - Q_1}{2} \qquad \text{(ก.4)}$$

เมื่อ $Q.D.$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์

Q_1 คือ ควอไทล์ที่ 1

Q_3 คือ ควอไทล์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Mean Deviation)

ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย คือ ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนระหว่างข้อมูลแต่ละจำนวน กับ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลนั้น สูตรที่ใช้ในการคำนวณส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยมีดังนี้

$$M.D. = \frac{\sum\left|\left(X - \bar{X}\right)\right|}{N} \qquad (ก.5)$$

เมื่อ $M.D.$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย

X คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ลำดับขั้นในการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตั้งสมมุติฐานว่าง (H_0) และสมมุติฐานสำรอบ (H_1) ซึ่งอาจกำหนดเป็นแบบทางเดียวหรือสองทาง

2. ศึกษาการแจกแจงของประชากรและการแจกแจงของค่าสถิติจากกลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

3. เลือกสูตรสถิติที่จะนำมาใช้ทดสอบ เช่น ค่าสถิติ Z, t หรือ F ในการเลือกต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับข้อตกลงเบื้องต้นของค่าสถิตินั้น ๆ และลักษณะข้อมูลที่ศึกษา

4. คำนวณค่าสถิติที่นำมาใช้ในการทดสอบจากข้อ 3 ซึ่งจะได้อัตราส่วนวิกฤต (Critical Ratio)

5. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญ (α) หรือระดับความเชื่อมั่น

6. กำหนดขอบเขตวิกฤต (Critical Region) ที่เป็นขอบเขตในการปฏิเสธสมมุติฐานว่างโดยอาศัยการเปิดตารางตามระดับความมีนัยสำคัญที่กำหนดไว้ในข้อที่ 5 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าวิกฤต

7. สรุปผลการทดสอบสมมุติฐานโดยพิจารณาอัตราส่วนวิกฤตที่คำนวณได้ในข้อ 4 กับขอบเขตวิกฤตในข้อ 6 ซึ่งโดยทั่วไปมีหลักเกณฑ์ดังนี้

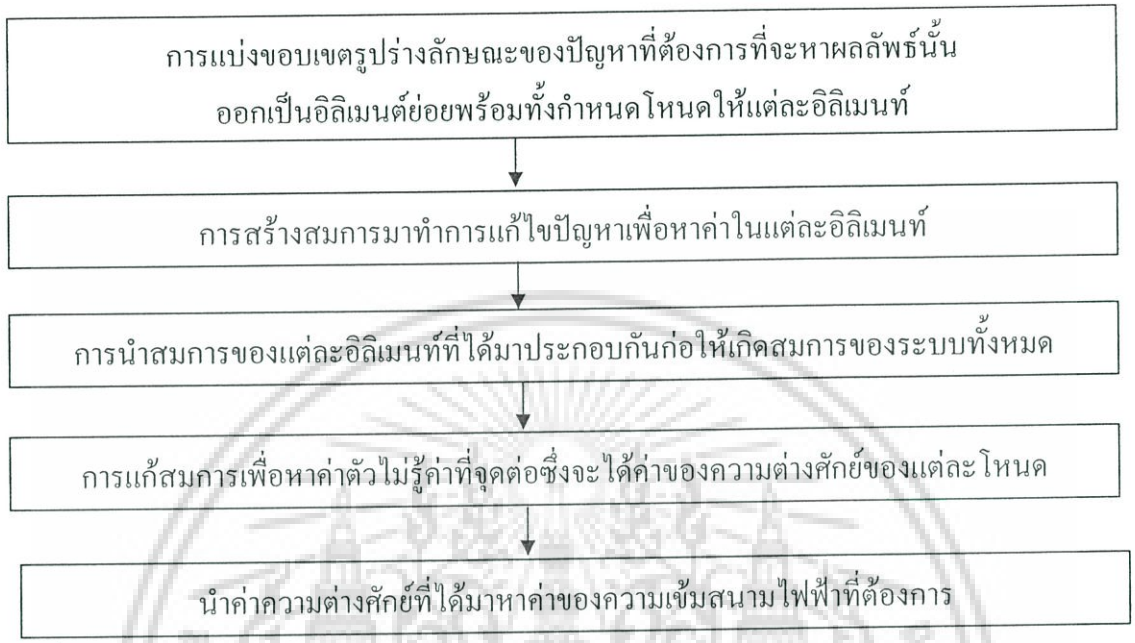
7.1 ถ้าอัตราส่วนวิกฤตที่คำนวณได้มีค่าตกอยู่ในขอบเขตวิกฤต จะปฏิเสธสมมุติฐานว่างและยอมรับสมมุติฐานสำรอง

7.2 ถ้าอัตราส่วนวิกฤตที่คำนวณได้มีค่าตกอยู่ขอบเขตวิกฤต จะยอมรับสมมุติฐานว่างและปฏิเสธสมมุติฐานสำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โปรแกรม Matlab



รูปที่ ข.1 แผงผังการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม Matlab

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

```
DataElem=
[1        2        12
2         13       12
4         15       14
790       800      799];
DataNode=
[18          1              1
19           1              1
22          27        27.47225];
DataFixNode=[1 1
   2 1
   3 1
   799 27.47225
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   800 27.47225];
Elem = 1470;
FixNode = 13;
Node = 800;
DataPermea=[5.12];
Mat=1;
XX = DataNode(:,1);
YY = DataNode(:,2);
Const = zeros(Node,1);
for i=1:FixNode
   N1=DataFixNode(i,1);
   Const (N1,1)=1;
end
GLOB=zeros(Node,Node);
VA=zeros(Node,1);
B=zeros(Node,1);
for kk=1:Mat
 perm(kk)=(DataPermea(kk)*(8.854E-12));
end
for i = 1:Elem
  N1 = DataElem(i,1);
  N2 = DataElem(i,2);
  N3 = DataElem(i,3);
  N4 = 1;
  pu=perm(N4);
  XX1 = XX(N1);
  XX2 = XX(N2);
  XX3 = XX(N3);
  YY1 = YY(N1);
  YY2 = YY(N2);
  YY3 = YY(N3);
  P1 = (YY2 - YY3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
P2 = (YY3 - YY1);
P3 = (YY1 - YY2)
Q1 = (XX3 - XX2);
Q2 = (XX1 - XX3);
Q3 = (XX2 - XX1);
Delta = 0.5 * (P2*Q3 - P3*Q2);
Aux= 4*Delta*pu;
ske(1,1,i)= (P1*P1+Q1*Q1)/Aux;
ske(1,2,i)= (P1*P2+Q1*Q2)/Aux;
ske(1,3,i)= (P1*P3+Q1*Q3)/Aux;
ske(2,1,i)= (P2*P1+Q2*Q1)/Aux;
ske(2,2,i)= (P2*P2+Q2*Q2)/Aux;
ske(2,3,i)= (P2*P3+Q2*Q3)/Aux;
ske(3,1,i)= (P3*P1+Q3*Q1)/Aux;
ske(3,2,i)= (P3*P2+Q3*Q2)/Aux;
ske(3,3,i)= (P3*P3+Q3*Q3)/Aux;
NAUX(1:3)=[N1 N2 N3];
for k = 1:3
  KK = NAUX(k);
  if Const(KK) ~= 1
    for kk = 1:3
      JJ = NAUX(kk);
      if Const(JJ) ~= 1
        GLOB(KK, JJ) = GLOB(KK, JJ) + ske(k, kk, i);
      end
      B(KK) = B(KK) - ske(k, kk, i) *  DataNode(JJ,3);  %POTENT(JJ)
    end
  else
    GLOB(KK, KK) = 1;
    B(KK) = DataNode(KK,3); %POTENT(KK)
  end
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end
  VA=GLOB\B
%plot mesh
for i =1:Elem
  N1 = DataElem(i,1);
  N2 = DataElem(i,2);
  N3 = DataElem(i,3);
  XXX(1:4) = [ XX(N1)  XX(N2)  XX(N3) XX(N1) ];
  YYY(1:4) = [ YY(N1)  YY(N2)  YY(N3) YY(N1) ];
  figure(1)
  hold on
    plot(XXX,YYY,'r')
 end
 % Fine E
Rad=zeros(Elem,1);
for i=1:  Elem
  N1=DataElem(i,1)  ; % 1 node
  N2=DataElem(i,2) ;  % 7
  N3=DataElem(i,3);   %2
  x1=DataNode(N1,1);   y1=DataNode(N1,2);
  x2=DataNode(N2,1);   y2=DataNode(N2,2);
  x3=DataNode(N3,1);   y3=DataNode(N3,2);
  %VA    v-->  at each node
A(1,1)=1;A(1,2)=x1;A(1,3)=y1; V(1,1)=VA(N1);
A(2,1)=1;A(2,2)=x2;A(2,3)=y2; V(2,1)=VA(N2);
A(3,1)=1;A(3,2)=x3;A(3,3)=y3; V(3,1)=VA(N3);
M=-A\V;
%E(i,1)=sqrt(M(2,1)^2+ M(3,1)^2);
Exy=M(2,1)+M(3,1)*j;
E(i,1)=abs(Exy);
Rad(i,1)=angle(Exy);
%Deg(i,1)=(Rad(i,1))*180/pi;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end
%Vaule of E
E(Elem,1)=abs(Exy)
Rad(Elem,1)=angle(Exy);
%Plot VA&E
   xx=DataNode(1,1);
   x=xx;
   yy=DataNode(1,2);
   y=yy;
  for j=1:Node
     if DataNode(j,1)>xx
        xx=DataNode(j,1);
     end
     if DataNode(j,1)<x
        x=DataNode(j,1);
     end
     if DataNode(j,2)>yy
        yy=DataNode(j,2);
     end
     if DataNode(j,2)<y
        y=DataNode(j,2);
     end
  end
  m=(xx+1)-x;
  n=(yy+1)-y;
  for j=1:m
      for i=1:n
      XXX(i,j)=j;
      end
  end
  for i=1:n
     for j=1:m
```

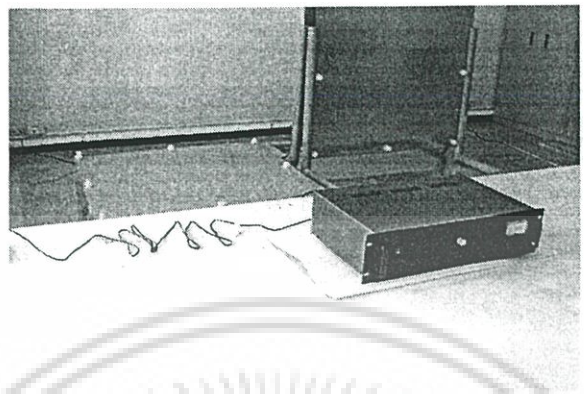
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        YYY(i,j)=i;
    end
 end
Node=0;
 for i=1:n
    for j=1:m
if((i==1&j==1)|(i==1&j==2)|(i==1&j==3)|(i==1&j==4)|(i==1&j==5)|(i==1&j==6)|(i==1&j==7)|
&j==39))
          ZZZ(i,j)=0;
        else
        Node=Node+1;
        ZZZ(i,j)=VA(Node);
        end
    end
  end
Node=0;
  for i=1:n
    for j=1:m
if((i==1&j==1)|(i==1&j==2)|(i==1&j==3)|(i==1&j==4)|(i==1&j==5)|(i==1&j==6)|(i==1&j==7)|
&j==39))
          ZZZZ(i,j)=0;
        else
        Node=Node+1;
        ZZZZ(i,j)=E(Node);
        end
    end
  end
figure(2)
 mesh(XXX,YYY,ZZZ)%Fig of VA
 figure(3)
 mesh(XXX,YYY,ZZZZ)%Fig of E
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

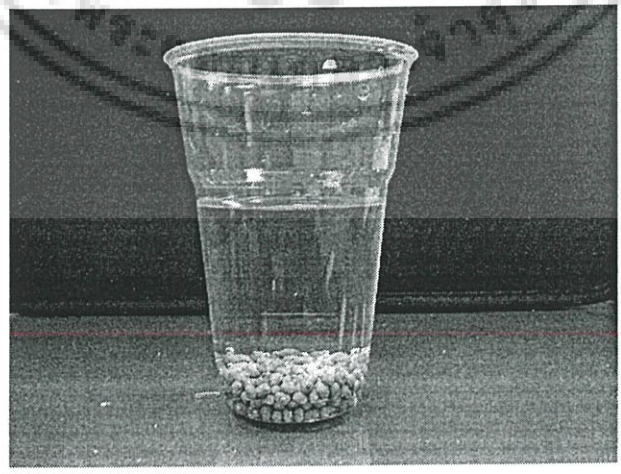
การทดลอง



รูปที่ ค.1 เครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงและแผ่นเพลตที่ใช้ในการทดลอง

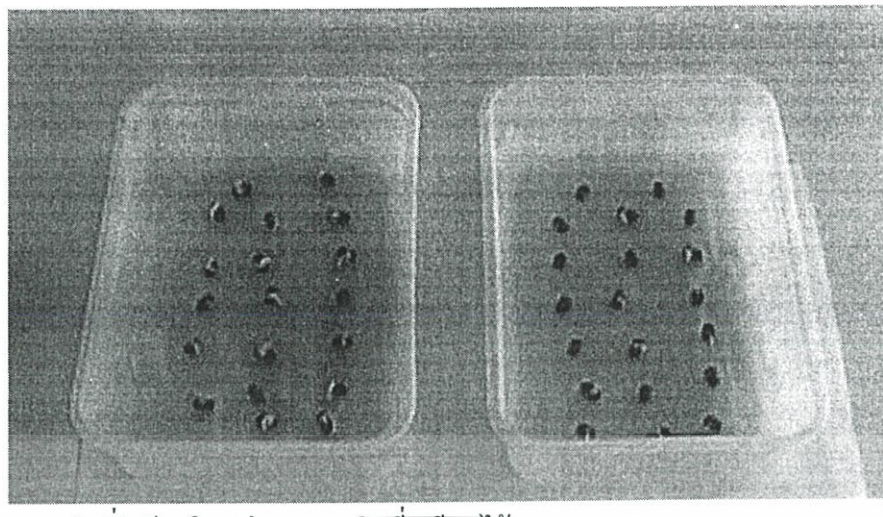


รูปที่ ค.2 เมล็ดถั่วเขียว

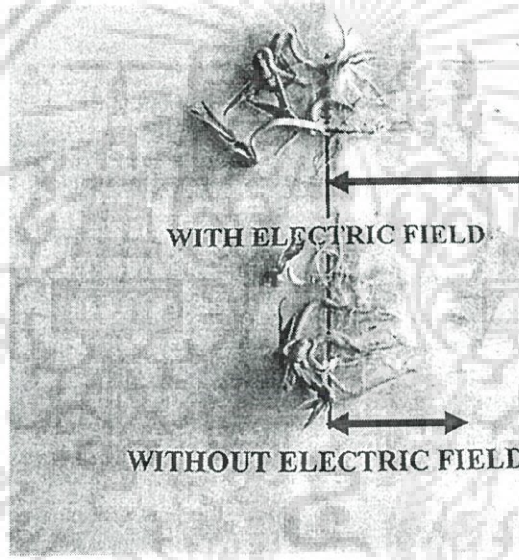


รูปที่ ค.3 แช่เมล็ดถั่วเขียวก่อนนำไปปลูกจริง

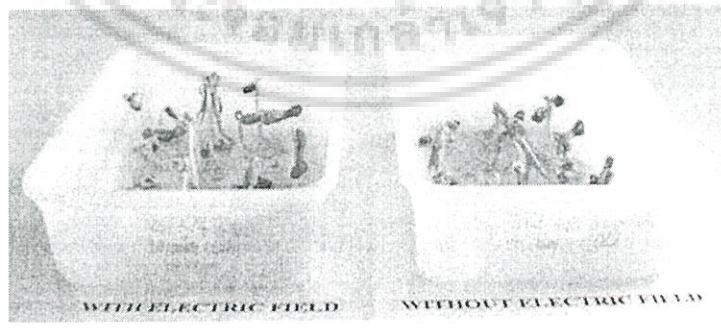
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 วางเมล็ดถั่วเขียวในกล่องพลาสติกที่เตรียมไว้



รูปที่ ค.5 เปรียบเทียบความยาวราก



รูปที่ ค.6 เปรียบเทียบความสูงของลำต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

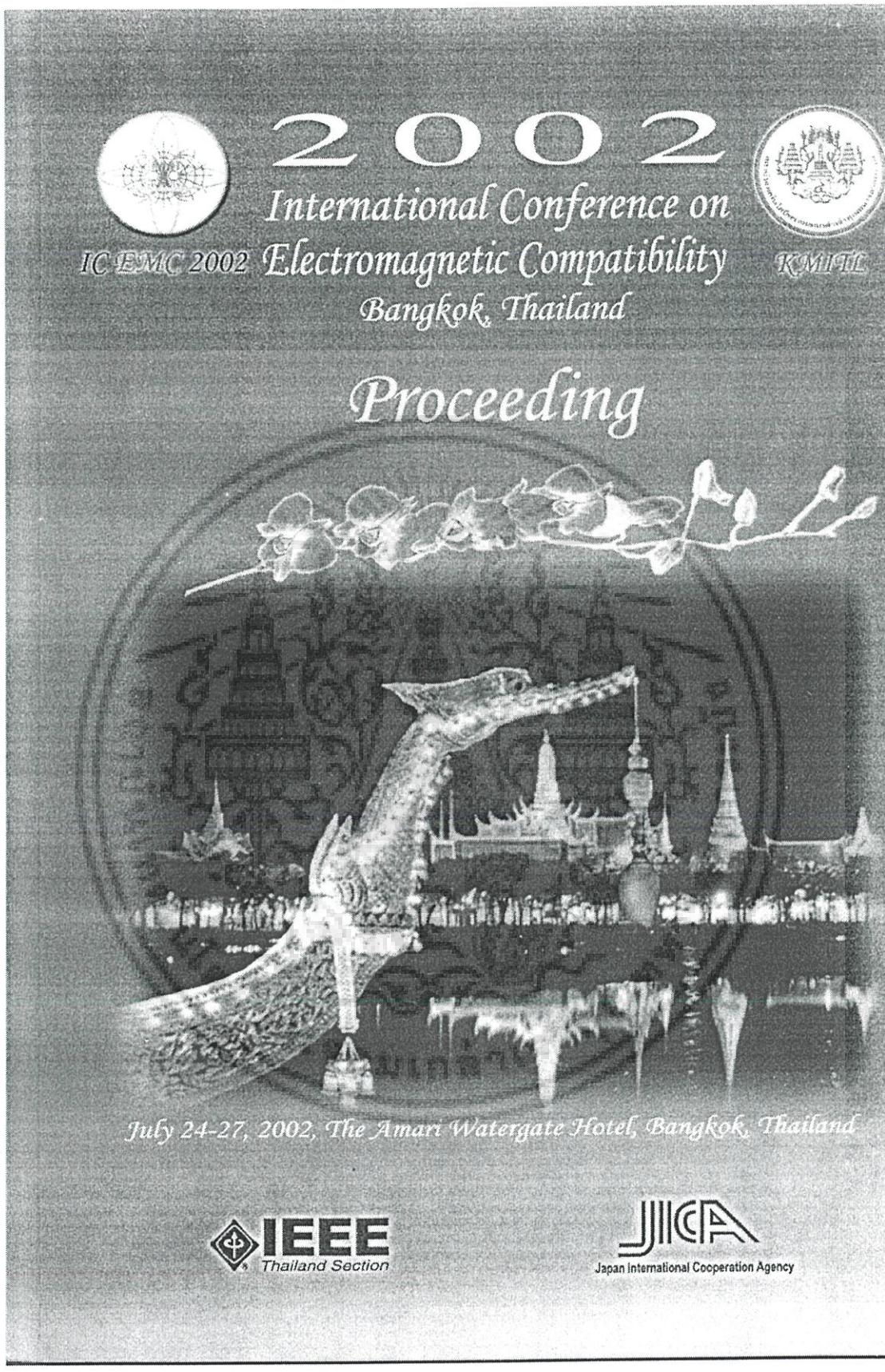
[1] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The Effect of Electric Field on Bean Sprout Growing", 2002 International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEMC2002), Bangkok, Thailand, pp. 237-241.

[2] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The comparison of Electric Field Intensity Affects to the Bean Sprout Growing", Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM'2003), Hangzhou, China, pp.142-147.

[3] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The Study of Electric Field Treatment Affects on The Growing Based on Electric Field Intensity and Direction", Asia-Pacific EMF Conference, Bangkok, Thailand, Poster no.12.

[4] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "Electric Field Direction Affects on the Growth of Bean Sprouts", 2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sendai, Japan, (Accept).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Effect of Electric Field on Bean Sprout Growing

P. Kiatgamjorn*, W. Khan-ngern* and S. Nitta**
*Research Center for Communications and Information Technology, Faculty of engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok 10520, Thailand.
Phone/Fax: +662 737-3000 Ext. 3322, E-mail: niknuk44@hotmail.com, kkveerac@kmitl.ac.th
**Graduate School, Production System Engineering
Salesian Polytechic, 2-35-11 Igusa Suginami, Tokyo, 167-0021, Japan. E-mail: nitta@cc.tuat.ac.jp

Abstract:

This paper presents the effect of electric field on the young vegetables growing. Bean sprout has been chosen because it growing rate is very fast and simple to implement. Growing between with and without electric field is presented. This research is focused on the height of stems and the length of roots. Numbers of seed in each plastic box, temperature and reactive humidity are controlled. The changing of bean sprouts are observed every day last for 5 days. The growth during the exposure is calculated by testing hypotheses about two population means. Experimental results indicate that the bean sprout in electric field has a better growth comparison to that of without electric field based on statistical analysis.

Keywords: Electric field, Bean sprout, EMI, Bio effect

1. Introduction

The effect of electric and magnetic fields on biological systems and human beings is a subject of considerable concern and investigation [1, 2]. In the last few years, some researchers show the effect of magnetic field with human body and biological tissues [3, 4]. However, the very few researches show the effect of electric field with plant growing. This paper has been proposed to present the effect of electric field on the bean sprouts growing. In this experiment, electric field is uniform field. Electric field intensity of 25 kV/m is used. An electric field is called uniform if its strength does not change with distance [5]. The electric field intensity is,

$$E = \frac{V}{d\eta^*} \quad \text{V/m} \tag{1}$$

Where d: the distance between the plates measured in meters.

η^*: field utilization factor as

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{max}} \tag{2}$$

In this experiment, η^* is 0.8. Experimental result is considered by statistics principle.

2. Theory

Numbers of the sample are 100 seeds, then the statistic approach is involved. There are different criteria for determining the center, and so there are different definitions of measure of central tendency. It is involved comparing the performance of two or more groups.

2.1 Central tendency

A measure of central tendency is value at the center or middle of a data set [6]. It is the single value that best describes the performance of the group.

2.2 Mean

The arithmetic mean of a set of scores is the value obtained by adding the scores and dividing the total by the number of scores [6]. The symbol used to represent the mean is $\bar{X}$. The formula for the mean is,

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N} \tag{3}$$

2.3 Variance and standard deviation

The most commonly used measures of variability are the variance and standard deviation. The variance is the arithmetic average of the sum of squared deviations about the mean. The standard deviation is defined as the positive square root of the variance [7]. Both of these measures are always positive and both are calculated using squared deviations about the mean. The deviation score formula for the variance of a set of X scores is,

$$S_x^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N} \tag{4}$$

The deviation score formula for the standard deviation of a set of X scores is,

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} \tag{5}$$

2.4 Inferences about two means: Independent and large samples.

The testing hypotheses about two population means and constructing confidence intervals for the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

difference between two population means are focused. The following assumptions for the methods are used as follows:

1. The two samples are independent,
2. The two samples sizes are large. That is, $n_1>30$ and $n_2>30$ [6].

The formula for test statistic for two means is,

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \qquad (6)$$

Where μ_1 is arithmetic mean of bean sprout with electric field.

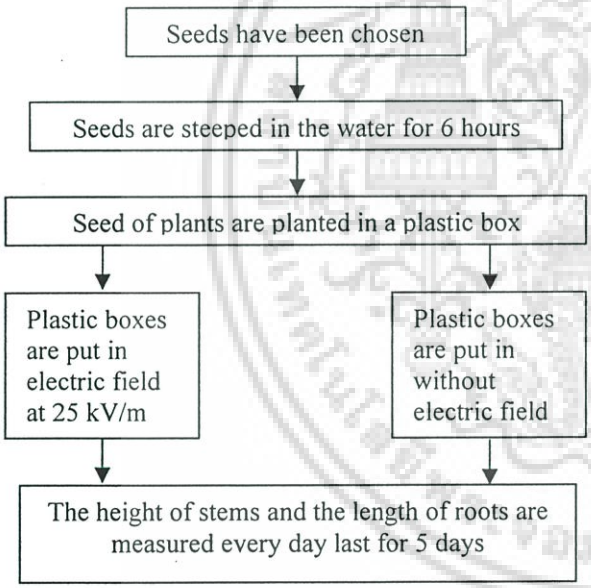
μ_2 is arithmetic mean of bean sprout without electric field.

S_1 is standard deviation of bean sprout with electric field.

S_2 is standard deviation of bean sprout without electric field.

Z is normal distribution value.

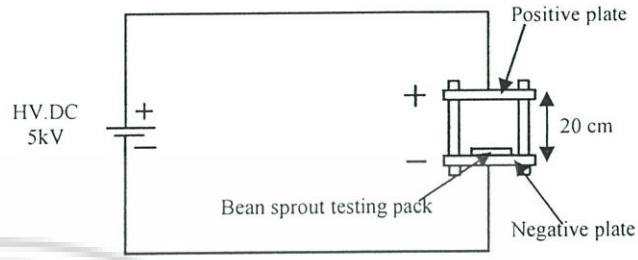
3. Experimental Setup



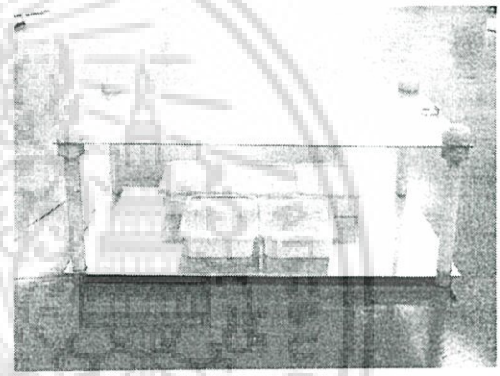
Note: Temperature and reactive humidity are controlled.

Figure 1 Flowchart of the experimental setup

Bean sprout has been chosen for this research because it growing rate is very fast and simple to implement. Seed of bean sprouts are planted in a plastic box at the room temperature. Five implemental boxes are used. There are 20 seeds in each box. The total numbers of seed are 100. Width of plastic box is 11.5 cm and length is 18 cm. Special tissue papers are used for that of plant growing where the amount of water is controlled. The comparison of the plants growing between with and without electric field is done. This research focused on two parameters of the growing for the height of stems and the length of roots. Temperature and reactive humidity are controlled at 28°C and 65 % respectively. 5 kV DC Voltage is applied to obtain electric field intensity of 25 kV/m. The diagram of experiment shows in fig. 2.



(a)



(b)

Figure 2 (a) Diagram of the experiment
(b) Aluminum high voltage plate

The distance between the plates is 20 cm. The growing of bean sprouts is observed every day last for 5 days.

4. Experimental Results

Analysis conditions of the collected data are as follows:

1. The significance level is 0.05,
2. Null hypothesis is H_o: $\mu_1 \leq \mu_2$,
3. Alternative hypothesis is H_1: $\mu_1 > \mu_2$

This experiment is analyzed by testing hypotheses of two population means and constructing confidence intervals for the difference between two population means.

The test statistic, critical value and critical region are shown in fig. 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

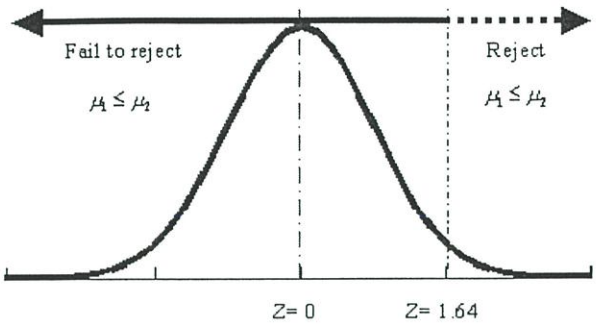


Figure 3 Critical value and critical region

Table 1 Mean, standard deviation and Z-value of the height of stem and the length of root.

	Mean		S.D		Z-value
	With E field	Without E field	With E field	Without E field	
Height of stem	36 mm	29 mm	25	25	1.98
Length of root.	41 mm	31 mm	23	16	3.57

Note: The mean, standard deviation and Z-value are the average value for day 1 to day 5.

Table 1 shows the arithmetic means of the height of stems and the length of roots with electric field are higher and longer than of those without electric field. Z-value indicates to support experimental results because z-value of the height of stems and the length of roots are more than 1.64. Then alternative hypothesis is accepted. For this reason, the arithmetic means of the height of stems and the length of roots of bean sprout with electric field are higher than of those without electric field. Those are equal to 24% and 33% respectively.

5. Analysis

Figs. 4 and 5 show the comparison of the height of stems and the length of roots between with and without electric field, which expose the bean sprout in with electric field is higher and longer than of those without electric field.

Fig. 6 shows the arithmetic means, maximum, and minimum of the height of stems from day 1 to day 5. The slope of arithmetic means of the height of stems for with and without electric field is increased during day 1 to day 5 that is raised gradually but it is maximum slope in day 4. During day 1 to day 5, the slope of arithmetic means of the height of stems for with electric field is higher than of that without electric field. Those are equal to 16.67%, 25%, 28.57%, 35% and 14.70% respectively.

Fig. 7 shows the arithmetic means, maximum, and minimum of the length of roots from day 1 to day 5. The slope of arithmetic means of the length of roots for with and without electric field is increased. During day 1 to day 5, the slope of arithmetic means of the length of roots for with electric field is higher than of that without electric field. Those are equal to 0%, 26.67%, 24.14%, 52.77% and 30.43% respectively.

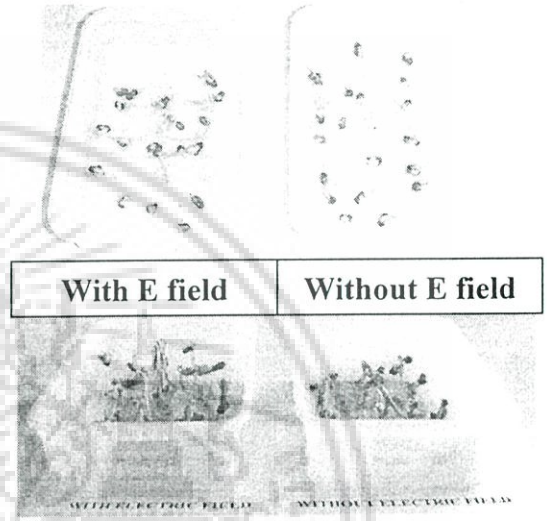


Figure 4 Comparison of the height of stems between with and without electric field. It is measured for 3 days after plant.

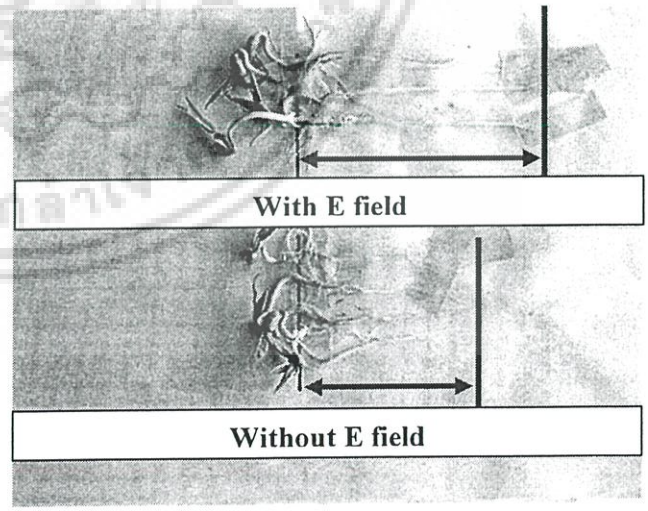


Figure 5 Comparison of the length of roots between with and without electric field. It is measured for 5 days after plant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Conclusion

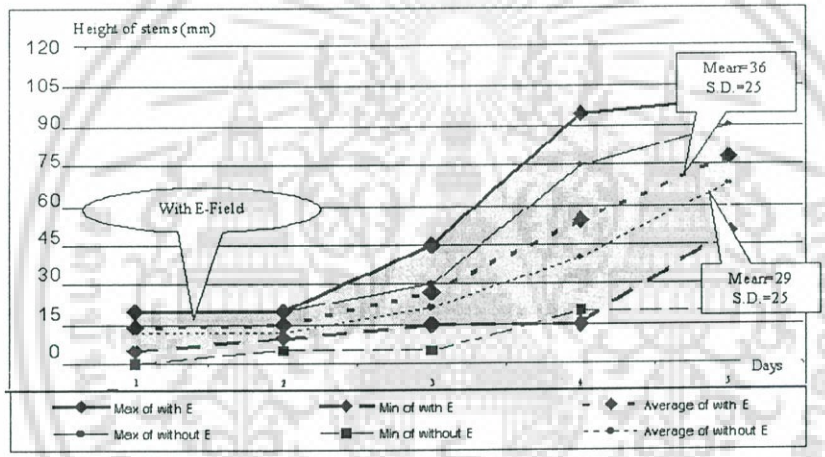
The effect of electric field on the growth of bean sprouts is presented. Electric field intensity at 25 kV/m is done. Temperature and reactive humidity are controlled at 28°C and 65% respectively. The height of stems and the length of roots have been considered in the experiment based on statistic approach. From these results, electric field influenced the height of stems and the length of roots. The height of stems and the length of roots in with electric field are higher and longer than of those without electric field. In further work, an effect of electric field intensity on the growth of bean sprout is investigated.

Table 2 Mean and standard deviation of the height of stems for each day

Day	With E-Field		Without E-Field	
	Mean (mm)	S.D	Mean (mm)	S.D
1	14	5	12	4.4
2	15	4.3	12	3.4
3	27	7.4	21	8.2
4	54	24	40	19
5	78	16	68	28

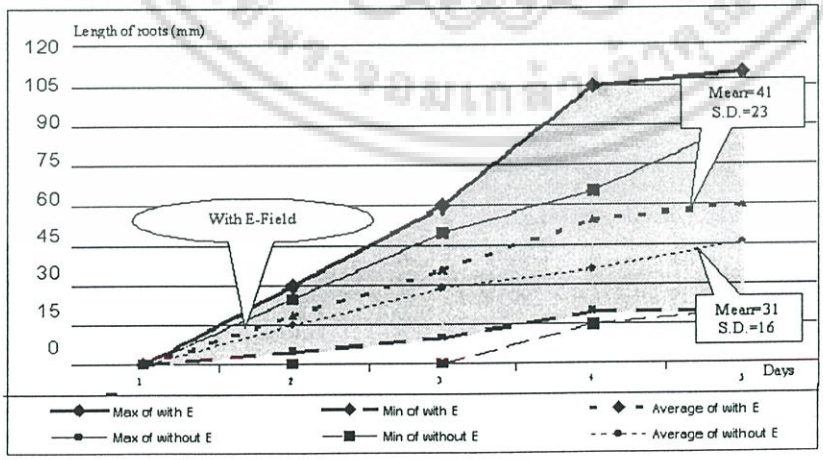
Table 3 Mean and standard deviation of the length of roots for each day

Day	With E-Field		Without E-Field	
	Mean (mm)	S.D	Mean (mm)	S.D
1	0	0	0	0
2	19	6.5	15	6
3	36	12	29	12
4	55	22	36	12
5	60	27	46	18



Note: The mean and standard deviation is calculated based on over 5 days.

Figure 6 Experimental results: the height of stems vs. days. Gray area is range of maximum and minimum for with electric field. The solid dash line shows the average for 5 days.



Note: The mean and standard deviation is calculated based on over 5 days.

Figure 7 Experimental results: the length of roots vs. days. . Gray area is range of maximum and minimum for with electric field. The solid dash line shows the average for 5 days

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Reference:

[1] V.Prasad Kodali, "Engineering Electromagnetic Compatibility Principles, Measurements and Technologies", IEEE PRESS, 1996, pp 11.

[2] Charles Polk and Elliot Postow, "Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields"; CRC Press; 1995

[3] Noriyuki Hirota, Jun Nakagawa, Koichi Kitazawa "Effects of a magnetic field on the germination of plants", Journal of applied physics, 1999, vol 85, no 8, pp. 5717-5719.

[4] Masafumi Muraji, Masao Nishimura, Wataru Tatebe and Tomoo Fujii "Effect of Alternating Magnetic Field on the Growth of the Primary Root of Corn", IEEE Transations on magnetics, 1992, vol 28, no. 4, pp. 1996-2000.

[5] E.Kuff and M.Abddulah, "High-Voltage Engineering", Pergamon Press; Oxford 1977

[6] Mario F. Triola, "Elementary statistics", Addison Wesley Longman, Inc; 1997, pp 60-78, 425-427.

[7] Albert E. Bartz, "Basic Statistical concepts", Prentice Hall; 1997, pp 50-60.



Miss Pataree Kiatgamjorn was born in 1979, in Saraburi, Thailand. She received the degree of B.Eng from Suranaree University of Technology in 2001. Her research interest is growth of young vegetables affected by electric field.



Dr. Werachet Khan-ngern was born in 1960, in Ubonratchathani, Thailand. He received the degree of B.Eng. and M.Eng. from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) in 1982 and 1988, respectively. He received his Ph.D. and DIC from Imperial Collage of Science, Technology and Medicine, the University of London in 1997 in the area of power electronics. He is also a technical committee no. 890: in EMC for the Ministry of Industry and a technical committee no. 23: Electronic Ballast for the Green Label, Ministry of Industry. Dr. Khan-ngern continues his research in the area of EMI & EMC and Power Electronics System.



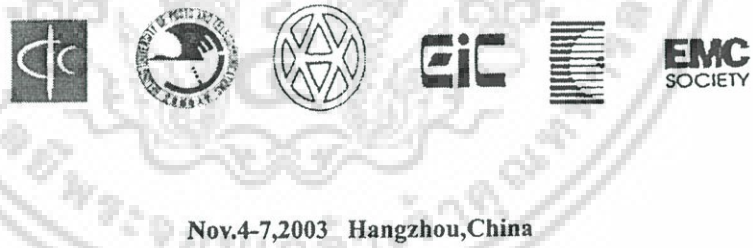
Prof. Dr. Shuichi Nitta earned BSEE and Ph.D. from Kyoto University and the University of Tokyo in 1960 and 1978, respectively. After working for the electric industry as a system engineer and quality assurance manager, he had been a professor of Tokyo University of Agriculture and Technology from 1985 to 2001. He retired the above university at the end of March 2001. Since April 2001, he is currently a professor of Salesian Polytechnic. His research interests are EMC maintainability and safety. Dr. Nitta is a member of IEEE, IEICE, IEEJ, SICEJ, REAJ and AFSMI.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS

Asia-Pacific Conference on
Environmental Electromagnetics
CEEM' 2003

Edited by
Gao Yougang
Yang Qianli



Nov.4-7,2003 Hangzhou,China

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Comparison of Electric Field Intensity Affects to the Bean Sprouts Growing

P. Kiatgamjorn*, W. Khan-ngern* and S. Nitta**
*Research Center for Communications and Information Technology, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Phone/Fax: +662 737-3000 Ext. 3322, E-mail: kkveerac@kmitl.ac.th
**Graduate School, Production Systems Engineering
Salesian Polytechic, 2-35-11 Igusa Suginami, Tokyo, 167-0021, Japan.
E-mail: nitta@cc.tuat.ac.jp

Abstract:

This paper presents the effect of electric field intensity on bean sprout growing. The electric field intensity is varied at 10, 20, 25 kV/m. This paper is focused on the height of stems and the length of roots. The effect of electric field intensity is evaluated on bean sprout growing. The electric field intensity is analyzed by model of finite element method. Experimental results indicate that the bean sprout in high electric field intensity has a better growth in comparison with that of low electric field based on statistical analysis.

Index Terms: electric field intensity, bean sprout, bio effect, finite element

1. Introduction:

In the past, the effect of the electric field on the growth of the bean sprout were investigated and presented [1]. In this paper, the effect of the various electric field intensity on the growth of the bean sprouts are investigated and experimented. Experimental results are analyzed by the statistical analysis methods.

2. Applied E-field

Electric field intensity [2] can be calculated by Equations (1)-(3).

$$E_{max} = \frac{U}{d\eta^*} \qquad (1)$$

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{max}} \le 1 \qquad (2)$$

$$E_{av} = \frac{U}{d} \qquad (3)$$

where,

U = voltage between electrodes (V)
d = distance between electrodes (m)
E_{max} = the maximum of electric field intensity (V/m)
E_{av} = average value of electric field intensity (V/m)
η^* = field utilization factor

In this experiment, $\eta^* = 0.8$ is applied.

3. Statistic Approach

The number's of the each sample are 100 seeds, the statistic approach is applied to the measured data in order to evaluate the effectiveness of the electric field on the bean sprout growth in the following equations (4)-(6)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N} \qquad (4)$$

$$S_x^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N} \qquad (5)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} \qquad (6)$$

where,

S_x^2 is variance value
S_x is standard deviation value

4. Calculation of electric field

The finite element method (FEM), FEM is applied to calculate the electric field intensity of the inside of bean sprouts.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Experimental Setup

The process of the experimental shows in Fig. 1.

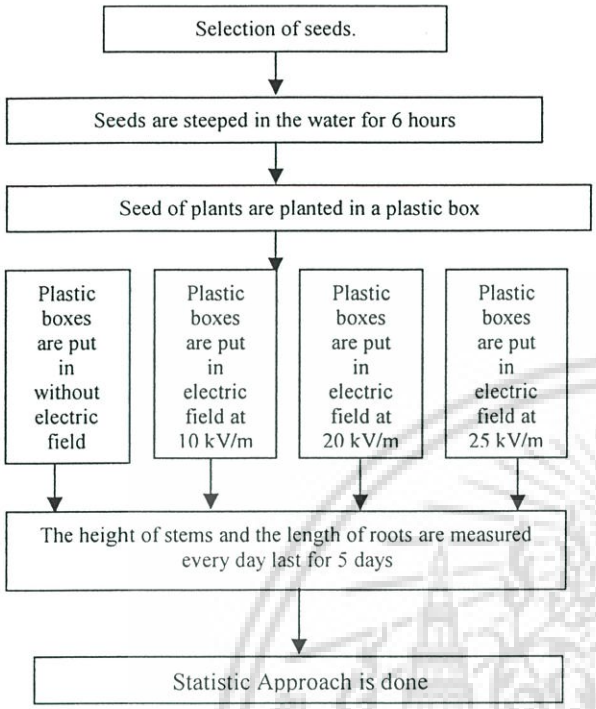


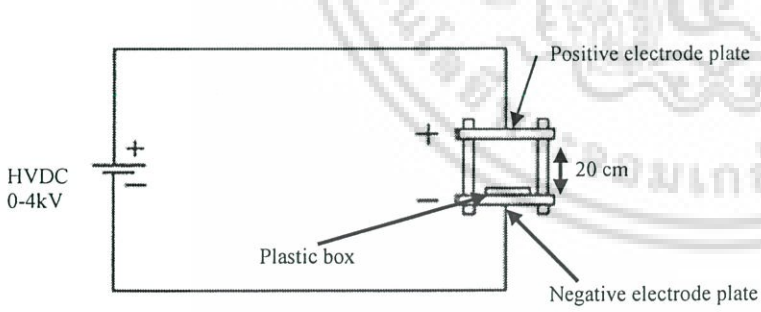
Figure 1 Flowchart of the experimental setup

Note: Temperature and relative humidity are controlled at 28°C and 65%, respectively.

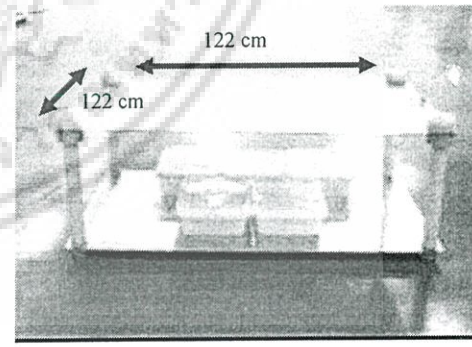
100 seeds of bean sprout are selected and then the means and the standards deviation are calculated for the measured data. The seeds are planted in a plastic box at the room temperature. Five plastic boxes are used. There are 20 seeds in each box. The total numbers of seed are 100. Special tissue papers are used for plant growing in order to control the amount of water. The effect of electric field intensity on the bean sprouts growth is studied. These conditions are as follows:

1. Bean sprouts are growing with electric field intensity at 10 kV/m.
2. Bean sprouts are growing with electric field intensity at 20 kV/m.
3. Bean sprouts are growing with electric field intensity at 25 kV/m.
4. Bean sprouts are growing without electric field.

This research is focused on two parameters of the growing of bean sprouts, that is, the height of stems and the length of roots. The growing of the bean sprouts are observed every 24 hours for 5 days. Temperature and relative humidity are controlled at 28°C and 65 %, respectively. The diagram of experiment shows in figure 2.



(a)



(b)

Figure 2
(a) Block diagram of the experimental apparatus
(b) Electrode plate (122 cm x 122 cm x 0.2 cm)

6. Experimental Results

This experiment is analyzed by testing hypotheses of two population means and constructing confidence intervals for the difference between two population means. The experimental results are shown in table 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 Mean and standard deviation of the height of stems and the length of root.

	Mean (mm)				S.D.			
	Without E-field	10 kV/m	20 kV/m	25 kV/m	Without E-field	10 kV/m	20 kV/m	25 kV/m
Height of stems	29	32	34	36	25	28	24	25
Length of root	31	38	40	41	16	23	24	23

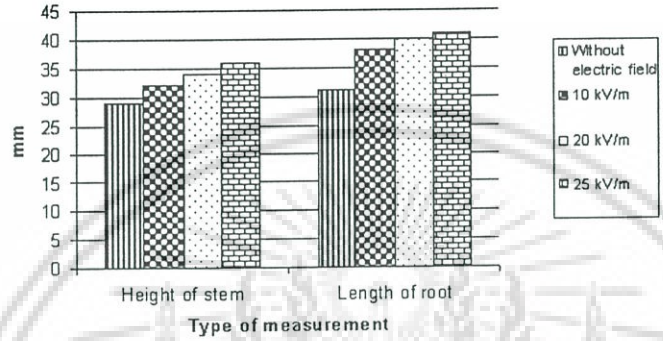


Figure 3 Experimental results: the height of stems and the length of root.

Table 1 shows the arithmetic means and standard deviation of the height of stems and the length of roots for 5 days. The comparison among without and with electric field intensity at 10 kV/m, 20 kV/m and 25 kV/m are shown. The results show the arithmetic means of the height of stems and the length of roots with electric field at 25 kV/m are the highest and longest. From the experimental results, it can be concluded that;

- The height of stems and the length of roots compare between with electric field at 25 kV/m and without electric field are equal to 24% and 33% respectively
- The height of stems and the length of roots compare between with electric field at 20 kV/m and without electric field are equal to 17% and 29% respectively
- The height of stems and the length of roots compare between with electric field at 10 kV/m and without electric field are equal to 10% and 22% respectively

Fig. 3 shows the slope of arithmetic means of the height of stems and the length of root for 5 days. It comprises without electric field and 10 kV/m, 20 kV/m and 25 kV/m. The most slope of arithmetic means of the height of stems and the length of root is with electric field at 25 kV/m and the least is without electric field.

7. Analysis

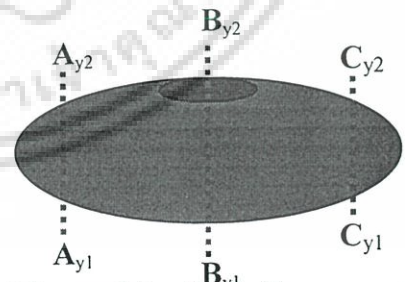


Figure 4 Section of bean sprouts

The analysis of experimental result is shown by finite element method (FEM). It is used to calculate the electric field intensity of the inside of bean sprout.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

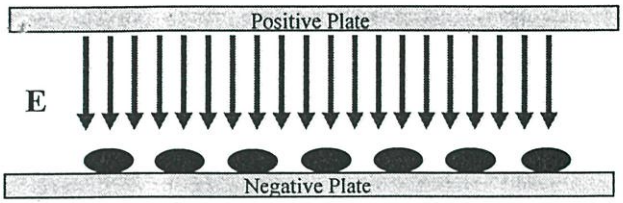


Figure 5 Diagram of setting of bean sprout

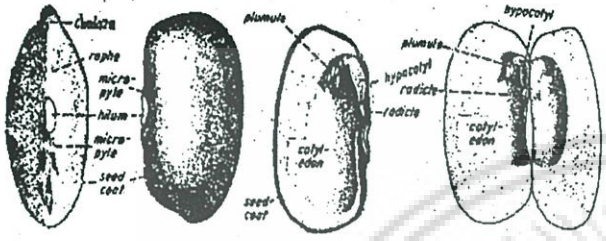


Figure 6 Component of bean sprout

Fig. 4 shows the section of bean sprout. The bean sprout is divided in three pieces. In each of piece is computed the electric field intensity by FEM. Fig. 5 displays the diagram of setting of bean sprout. Fig. 6 indicates the component of bean sprout. In the bean sprout, the hilum is in the brown area or the top of section B_{y2}-B_{y1}. It is the initial grow of bean sprout. [7]

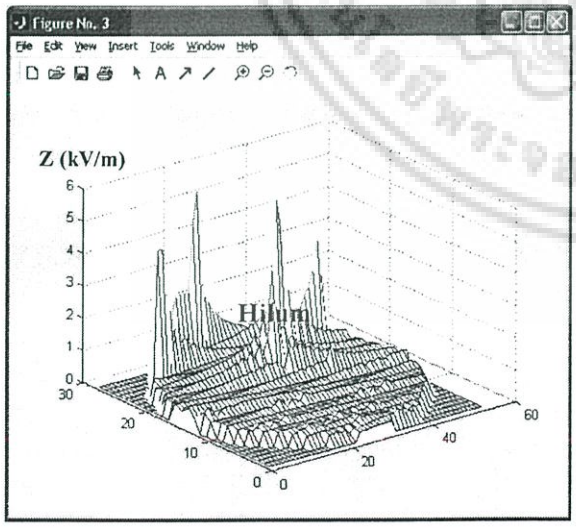


Figure 7 Section B_{y1}-B_{y2} with electric field intensity at 10 kV/m

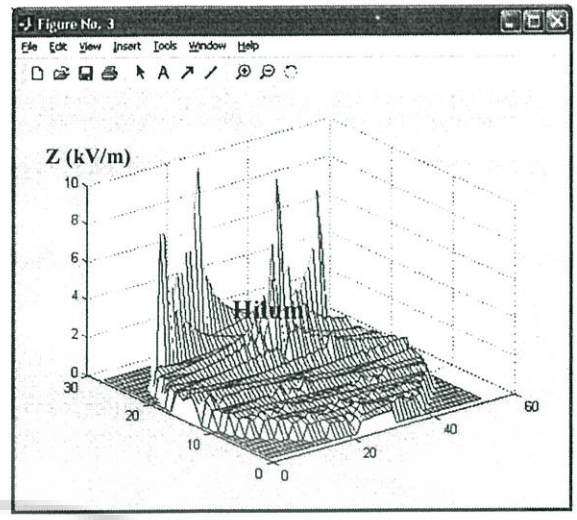


Figure 8 Section B_{y1}-B_{y2} with electric field intensity at 20 kV/m

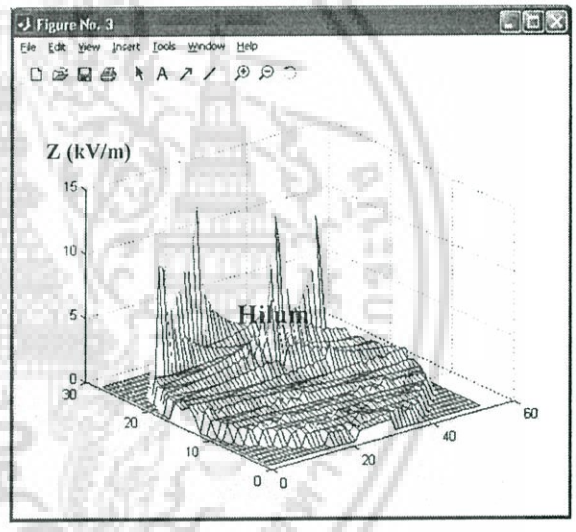


Figure 9 Section B_{y1}-B_{y2} with electric field intensity at 25 kV/m

Figs. 7-9 show the electric field intensity in section B_{y1}-B_{y2} with electric field at 10 kV/m, 20 kV/m and 25 kV/m respectively. It is computed by FEM. For those figures, the electric field intensity in the hilum of bean sprout at 25 kV/m is the highest. Fig 10 shows the comparison among height of stem, electric field intensity and electric field intensity at hilum. Fig 11 shows the comparison among length of root, electric field intensity and electric field intensity at hilum. X-axis is electric field intensity. Y-axis is electric field intensity at hilum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z-axis is growing of bean sprout. For those figure, if electric field intensity has high level then the electric field intensity at hilum and the growing of bean sprout are high too.

8. Conclusion

The effect of electric field intensity on the growth of bean sprouts is presented. Electric field intensity at 10 kV/m, 20 kV/m and 25 kV/m and without electric field are done. Temperature and relative humidity are controlled at 28°C and 65% respectively. The have been considered in the experiment based on statistic approach and finite element method. From these results, the height of stems and the length of roots of bean sprout are depended on intensity of electric field at 10-25 kV/m. In further work, an effect of various period times for apply electric field intensity on the growth of bean sprouts are investigated.

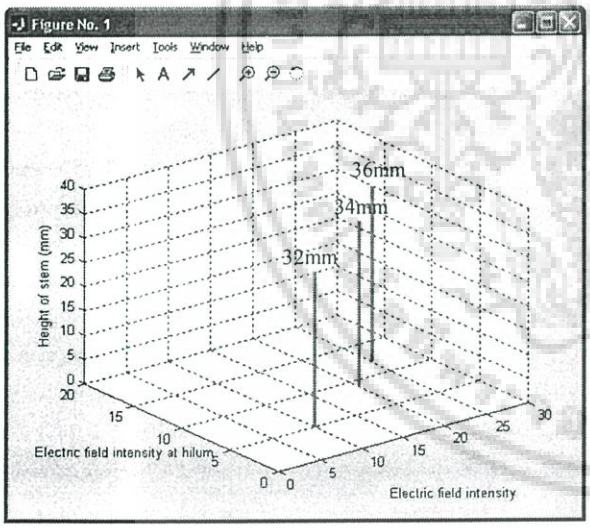


Figure 10 Comparison among height of stem, electric field intensity and electric field intensity at hilum

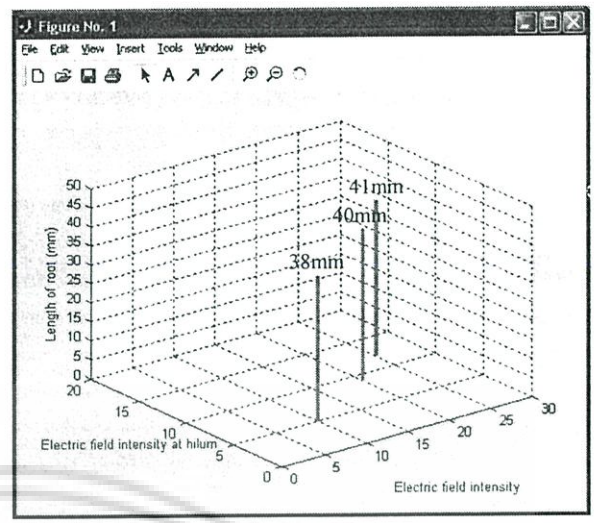


Figure 11 Comparison among length of root, electric field intensity and electric field intensity at hilum

9. References

[1] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The Effect of Electric Field on Bean Sprout Growing", 2002 International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEMC2002), Bangkok, Thailand, pp. 237-241.

[2] E.Kuff and M.Abddulah, "High-Voltage Engineering", Pergamon Press, Oxford 1977.

[3] Mario F. Triola, "Elementary statistics", Addison Wesley Longman, Inc, 1997, pp. 60-78.

[4] Albert E. Bartz, "Basic Statistical concepts", Prentice Hall, 1997, pp. 50-60.

[5] Matthew N.O. Sadiku, "Numerical Techniques in Electromagnetics", CRC Press, 1992, pp.407-500.

[6] Matthew N.O. Sadiku, "A simple Introduction to Finite Element analysis of Electromagnetic Problems

[7] Chon Chinorat, "Biology 3", Chulalongkorn publication, 1987, pp 284-311.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Miss Pataree Kiatgamjorn was born in 1979, in Nakhonratchasima, Thailand. She received the degree of B.Eng from Suranaree University of Technology in 2001. Her research interest is growth of young vegetables affected by electric field.

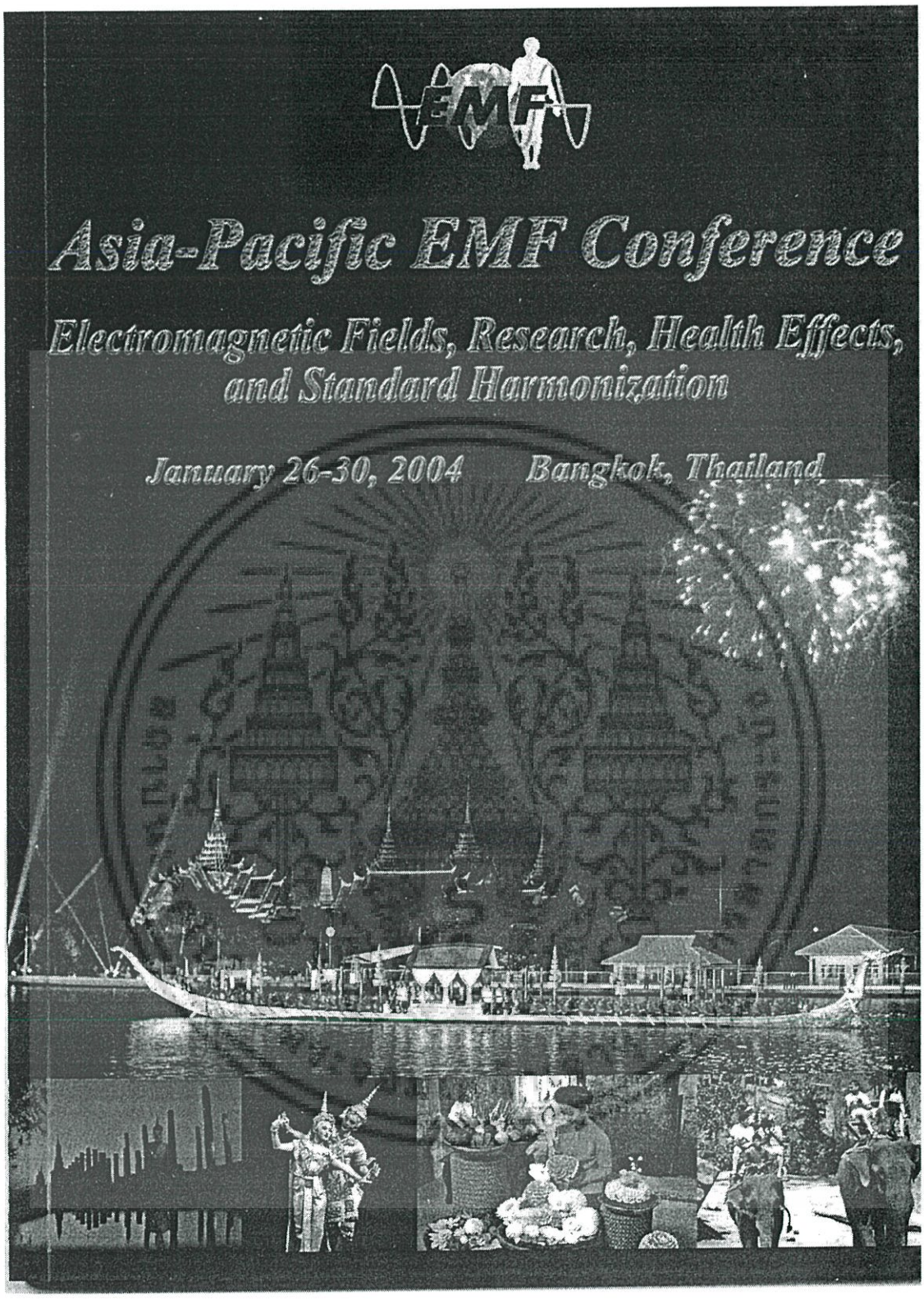


Dr. Werachet Khan-ngern was born in 1960, in Ubonratchathani, Thailand. He received the degree of B.Eng. and M.Eng. from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) in 1982 and 1988, respectively. He received his Ph.D. and DIC from Imperial Collage of Science, Technology and Medicine, the University of London in 1997 in the area of power electronics. He is also a chairman of technical committee no. 890: in EMC for the Ministry of Industry. Dr. Khan-ngern continues his research in the area of EMI & EMC and Power Electronics System.



Prof. Dr. Shuichi Nitta earned BSEE and Ph.D. from Kyoto University and the University of Tokyo in 1960 and 1978, respectively. After working for the electric industry as a system engineer and quality assurance manager, he had been a professor of Tokyo University of Agriculture and Technology from 1985 to 2001. He retired the above university at the end of March 2001. Since April 2001, he is currently a professor of Salesian Polytechnic. His research interests are EMC maintainability and safety. Dr. Nitta is a member of IEEE, IEICE, IEEJ, SICEJ, REAJ and AFSMI.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Study of Electric Field Treament Affect on the Growing Based On Electric Field Intensity and Direction

P. Kiatgamjorn*, W. Khan-ngern* and S. Nitta**
*Research Center for Communications and Information Technology
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
E-mail: kwerachet@hotmail.com, niknuk44@hotmail.com
**Graduate School, Production Systems Engineering
Salesian Polytechic, E-mail: nitta@cc.tuat.ac.jp

Abstract:

In this paper, the review of the effect of the electric field on the bean sprout growing is presented. The bean sprouts are experimented under condition the electric field intensity and direction. The electric field intensity is varied at 10, 20 and 25 kV/m, where the electric field direction is vertical and horizontal direction. Numbers of seed, temperature and reactive humidity are controlled. The height of stem and the length of root are focused. The experimental result shows the bean sprout with high level of electric field intensity at vertical electric field direction is the best treatment, at 25 kV/m based on statistical analysis and supported by finite element method simulation.

Key word: electric field intensity, electric field direction, bean sprout, bio effect, finite element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวภัทรี เกียรติกำจร เกิดเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ปีการศึกษา 2543

ปี พ.ศ. 2545 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรระดับ 4 แผนกระบบควบคุมอุปกรณ์ระบบจำหน่าย กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ปัจจุบันสนใจงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช มีบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในระดับนานาชาติจำนวน 3 บทความ และตอบรับแล้วจำนวน 1 บทความดังนี้

[1] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The Effect of Electric Field on Bean Sprout Growing", 2002 International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEMC2002)

[2] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The comparison of Electric Field Intensity Affects to the Bean Sprout Growing", Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM'2003)

[3] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "The Study of Electric Field Treatment Affects on The Growing Based on Electric Field Intensity and Direction", Asia-Pacific EMF Conference

[4] P. Kiatgamjorn, W. Khan-ngern and S. Nitta, "Electric Field Direction Affects on the Growth of Bean Sprouts", 2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (ตอบรับแล้ว).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้