

เครื่องคัดเมล็ดหยาบจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

SEPARATING MACHINE FOR BROKEN-MILLED RICE
BY ELECTRIC FIELDS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 48952
ัน, เดือน, ปี..... 13 ส.ค. 2547

พ.ศ.2546
ISBN 974-324-869-2

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้

**SEPARATING MACHINE FOR BROKEN-MILLED RICE
BY ELECTRIC FIELDS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-869-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องตัดแม่เหล็กหุ้มจากปลายข้าว โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า
นักศึกษา	นายจักรพงษ์ กลิ่นสะอาด
รหัสประจำตัว	43061013
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องตัดแม่เหล็กหุ้มจากปลายข้าว โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า โดยนำทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและทฤษฎีทางด้านฟิสิกส์ รวมถึงหลักการเกิดไฟฟ้าสถิตมาประยุกต์ใช้ในการตัดแม่เหล็กหุ้มที่ปะปนมากับปลายข้าวสาร การตัดแยกจะอาศัยแรงของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดแบบระนาบ 2 แผ่น โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงขับเคลื่อนให้กับแผ่นอิเล็กโทรดบนและต่อแผ่นอิเล็กโทรดล่างกับกราวด์ ซึ่งจะทำให้แรงสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางจากแผ่นอิเล็กโทรดล่างไปยังแผ่นอิเล็กโทรดบน เมื่อแม่เหล็กหุ้มที่ปะปนมากับปลายข้าวสารถูกปล่อยผ่านสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น แรงของสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อแม่เหล็กหุ้มให้เคลื่อนที่แยกออกตามทิศทางของแรงสนามไฟฟ้า ซึ่งได้นำหลักการไฟไนต์อิเลเมนต์มาช่วยในการคำนวณค่าการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้า คำนวณค่าสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ และทิศทางขนาดของแรงสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการเลือกลักษณะชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการตัดแยก โดยในวิทยานิพนธ์ได้ทำการทดสอบคุณลักษณะของเครื่องตัดแยกแม่เหล็กหุ้มจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น ซึ่งจากการทดสอบเครื่องต้นแบบสามารถมีพิกัดอัตราการตัดแยกได้ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้แรงดันไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ และมีขีดความสามารถในการตัด 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเทคนิคการตัดแยกด้วยสนามไฟฟ้าจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำ ไม่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Separating Machine For Broken-Milled Rice By Electric Fields.
Student	Mr. Chakarpong Klinsa-ard
Student ID.	43061013
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Siriwat Potivetkul

ABSTRACT

This article presents the rice selecting machine using the electric field technique. In order to apply selecting process, the machine uses the high voltage engineering theory and physics theory as well as electrostatics principles. The selecting process uses two electrode panels to generate an electric field. The upper panel is connected to the negative pole of a high voltage DC generator while the other panel is connected to ground. As a result, the electric field has a direction pointing from the bottom panel to the top panel. This process can hold the good broken-milled rice along the direction of electric field. In order to set up the proper electrode for generating the electric field of selecting machine, the contribution level of electric field, the amount of electric field in a particular area and the direction of electric field are identified by finite element methods. This thesis describes characteristics of the selecting machine. The prototype has 100 kg/hr of selecting resolution rate, voltage equal to 40 kV and 90 % of selecting efficiency from test results. This machine is well-designed for low power consumption and give no pollution from producing dust during the process.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับเทคนิคด้านสนามไฟฟ้าจาก รองศาสตราจารย์ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ซึ่งเป็นผู้จุดประกายความคิดการประยุกต์ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดหญ้า อีกทั้งช่วยเหลือให้คำแนะนำในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหา ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้ทำวิจัยเข้าใจในปัญหานั้น จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริโชค ปรีดโตทกพร ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบสวิตชิ่ง งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล(วิทยาเขต คลอง 6) ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการในการทดสอบ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อเคลือ กลิ่นสะอาด คุณยายโหมค ศรีโสภณ ซึ่งท่านเป็นผู้ที่ให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัยและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จักรพงษ์ กลิ่นสะอาด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและการเคลื่อนที่ของวัตถุ.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของสนามไฟฟ้า.....	3
2.3 คุณสมบัติของสนามไฟฟ้า.....	9
2.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ.....	14
2.5 ทฤษฎีพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของวัตถุ.....	15
2.6 การประยุกต์ใช้งาน FEM ในทางวิศวกรรมไฟฟ้า.....	18
บทที่ 3 คุณลักษณะชุดคัตแบกเมล็ดหญาจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า.....	29
3.1 บทนำ.....	29
3.2 พิกัดอัตราการผลิตแบกเมล็ดหญาจากปลายข้าว.....	29
3.3 การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ทรอดสร้างสนามไฟฟ้า.....	32
3.4 บทสรุปและวิเคราะห์ผล.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 เครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า.....	56
4.1 บทนำ.....	56
4.2 โครงสร้างเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า.....	56
4.2.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง.....	56
4.2.2 ชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้า.....	57
4.3 การทดสอบองค์ประกอบหลักที่มีผลกับขีดความสามารถในการคัดแยก.....	62
4.3.1 การทดสอบเครื่องต้นแบบที่อัตราการไหลของปลายข้าวสารระดับต่างๆ...62	
4.3.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า ชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าระดับต่างๆ.....	64
4.3.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับขีดความสามารถในการคัดแยก.....	66
4.3.4 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอากาศกับขีดความสามารถ ในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ.....	68
4.4 บทสรุปและวิเคราะห์ผล.....	70
บทที่ 5 การทดสอบเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวในขณะใช้งานจริงและวิเคราะห์ผล.....	71
5.1 บทนำ.....	71
5.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบร่วมกับโรงสีกลุ่มเกษตรกรทำนาชุมทอง.....	71
5.3 สรุปและวิเคราะห์ผล.....	75
บทที่ 6 บทสรุปและเสนอแนะ.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก.....	82
ก รูปต้นแบบเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วยสนามไฟฟ้า.....	83
ข ตารางผลการทดสอบ.....	89
ค การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของเมล็ดพืช.....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	124
ประวัติผู้เขียน.....	134



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 คุณสมบัติของเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วยสนามไฟฟ้า.....	2
3.1 ผลการทดสอบการปรับความกว้างช่องปล่อยปลายข้าวสาร.....	31
3.2 คุณสมบัติของเมล็ดพืช.....	35
3.3 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางแนวระนาบเฉลี่ย.....	41
3.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย.....	42
3.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย.....	44
ก.1 คุณสมบัติเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วยสนามไฟฟ้า.....	88
ข.1 ผลการทดสอบหามุมเริ่มต้นสำหรับการติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดต่าง.....	90
ข.2 ผลการทดสอบการกระจายของปลายข้าวที่ความกว้างของอิเล็กโทรดต่าง.....	90
ข.3 ผลการชั่งน้ำหนักของเมล็ดหญ้า.....	90
ข.4 ผลการชั่งน้ำหนักของปลายข้าว.....	93
ข.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย.....	95
ข.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย.....	97
ข.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย.....	100
ข.8 อัตราการเจือปนเมล็ดหญ้าในปลายข้าว.....	104
ข.9 จำนวนแผ่นอิเล็กโทรดบนกับขีดความสามารถในการคัดแยก.....	104
ข.10 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับอัตราการไหลต่างๆ.....	105
ข.11 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับแรงดันไฟฟ้า.....	106
ข.12 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่อุณหภูมิของอากาศต่างๆ.....	108
ข.13 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับความชื้นอากาศสัมพัทธ์ต่างๆ.....	109
ข.14 ผลการทดสอบขีดความสามารถของต้นแบบเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว ด้วยสนามไฟฟ้า.....	111
ค.1 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักของเมล็ดพืช.....	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1	อิลีคโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆกัน.....	4
2.2	เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิลีคโทรดลักษณะต่างๆ.....	6
2.3	ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ.....	7
2.4	เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย Uniform field ฉนวนซ้อนกัน ที่ V และ d คงที่ โดยเปลี่ยนค่า d_1 และ $d_2 = d - d_1$ ฉนวนที่ $\epsilon_2/\epsilon_1 = 4$	8
2.5	การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ.....	14
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างกรไหลกับความเร็ว.....	17
2.7	ขอบเขตพื้นที่ของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์.....	19
2.8	อิลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม:แสดงการวน โหนด 1-2-3 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา.....	20
2.9	Shape Function α_1, α_2 และ α_3 ของอิลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม.....	21
2.10	การรวม 3 อิลิเมนต์เข้าด้วยกัน ; $i-j-k$ เป็นการระบุ โหนด.....	24
3.1	กล่องปล่อยปลายข้าว.....	30
3.2	การรวมแรงทางเวกเตอร์และหลักการของเทคนิคการตัดเมล็ดหญ้าด้วยสนามไฟฟ้า.....	33
3.3	การทดสอบโดยใช้เครื่อง C tan δ (Tettex 2809a) และการทดสอบโดยใช้หลักการ วัดค่าประจุแบบ Faraday Ice Pail.....	34
3.4	การทดสอบหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักของเมล็ดพืช.....	35
3.5	การเริ่มขยับตัวของเมล็ดหญ้าโดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง.....	37
3.6	ชุดอิลีคโทรดทดสอบ.....	40
3.7	ผลการทดลองหาระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย.....	41
3.8	ผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ที่กระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย.....	43
3.9	ผลการทดสอบผลของน้ำหนักที่กระยะทางแนวระนาบเฉลี่ย.....	45
3.10	การแบ่งอิลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ FEM ลักษณะอิลีคโทรดแบบระนาบ.....	46
3.11	การกระจายระดับแรงดันไฟฟ้าของชุดอิลีคโทรดแบบระนาบพื้นฐาน.....	47
3.12	ทิศทางแนวแรงสนามไฟฟ้าวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	47
3.13	ลักษณะแผ่นอิลีคโทรด.....	48
3.14	การแบ่งอิลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ FEM.....	49
3.15	การกระจายระดับแรงดันไฟฟ้าของชุดอิลีคโทรดโดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.16 ทิศทางแนวแรงสนามไฟฟ้าวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	50
3.17 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์มุม 15°	51
3.18 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์มุม 20°	51
3.19 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์มุม 25°	51
3.20 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ด้วยจนวนอะคลิคบางๆและไดอะแกรม.....	53
3.21 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์.....	54
4.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง.....	56
4.2 โครงสร้างเครื่องตัดแม่เหล็กไฟฟ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า.....	57
4.3 กล้องปล่อยปลายข้าวและตำแหน่งการติดตั้ง.....	57
4.4 ลักษณะการติดตั้งอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า.....	58
4.5 แท่งพลาสติกกวนรูปเปอร์สีน.....	58
4.6 ปล่องสำหรับทิ้งแม่เหล็กไฟฟ้า.....	59
4.7 ปล่องสำหรับปลายข้าวที่ตัดแยกแล้วไปยังระบบอื่น.....	59
4.8 โครงสร้างภายในเครื่องตัดแม่เหล็กไฟฟ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า.....	60
4.9 เครื่องตัดแม่เหล็กไฟฟ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าพร้อมฝาปิด.....	60
4.10 หลักการทำงานของเครื่องตัดแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยสนามไฟฟ้า.....	61
4.11 แผนภาพการทำงานของเครื่องตัดแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยสนามไฟฟ้า.....	61
4.12 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่อัตราการไหลของปลายข้าวสารระดับต่างๆ.....	63
4.13 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้ชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า.....	65
4.14 ผลของอุณหภูมิอากาศกับขีดความสามารถในการตัดแยกของเครื่องต้นแบบ.....	67
4.15 ผลของความชื้นอากาศกับขีดความสามารถในการตัดแยกของเครื่องต้นแบบ.....	69
5.1 สถานที่ทดสอบ.....	71
5.2 ชุดเป่าลมของโรงสีสำหรับเป่าสิ่งเจือปนที่มากับข้าวเปลือกของโรงสี.....	72
5.3 ตะแกรงลอนเพื่อแยกข้าวสารและข้าวที่หักจากการสี.....	72
5.4 การติดตั้งเครื่องต้นแบบ.....	73
5.5 การต่อท่อปลายข้าวสารระหว่างโรงสีกับเครื่องต้นแบบ.....	73
5.6 ปลายข้าวที่ออกจากกล้องวัสดุรอกตัดแยก.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

5.7 ลักษณะการทำงานร่วมกับโรงสี.....	74
5.8 ปลายข้าวที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องด้นแบบ.....	75
ก.1 โครงสร้างภายในเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า.....	84
ก.2 เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าพร้อมฝาปิด.....	84
ก.3 เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า(ด้านหน้า).....	85
ก.4 เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า(ด้านข้าง).....	85
ก.5 เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า(ด้านบน).....	86
ก.6 ลักษณะของเมล็ดหญ้า.....	86
ก.7 ปลายข้าวสารที่ยังไม่ผ่านการคัดแยกเมล็ดหญ้า.....	87
ก.8 ปลายข้าวสารที่ผ่านด้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วยสนามไฟฟ้า.....	87
ค.1 เครื่อง C Tan O (Tettex 2809a).....	114
ค.2 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ในการทดสอบ.....	114
ค.3 การใส่ตัวอย่างในการทดสอบ.....	115
ค.4 ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ.....	115
ค.5 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ในการทดสอบ.....	116
ค.6 การใส่ตัวอย่างในการทดสอบ.....	117
ค.7 ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ.....	117
ค.8 Faraday Ice Pail.....	118
ค.9 วิธีการวัดค่าประจุของวัตถุ.....	118
ค.10 วงจรจำลองการวัดในอุดมคติ.....	119
ค.11 การเปลี่ยนแปลงของค่าความจุ 2 ตัวต่อประจุของวัตถุ.....	119
ค.12 การใช้ Faraday Ice Pail.....	120
ค.13 การทดสอบ โดยใช้หลักการวัดค่าประจุไฟฟ้าแบบ Faraday Ice Pail.....	121
ค.14 ตัวอย่างเมล็ดปลายข้าวใช้ในการทดสอบ.....	122
ค.15 การทดสอบหาความหนาแน่นและน้ำหนักของเมล็ดพืช.....	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีการใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวแทนการใช้แรงงานจากคน ทำให้ประหยัดเวลาและสะดวกในการเก็บเกี่ยว การใช้เครื่องจักรกลจะทำให้มีเมล็ดหญ้าปะปนมากับเมล็ดข้าวเปลือก โรงสีจะรับซื้อข้าวมาจากเกษตรกรแล้วทำการแปรรูปออกมาเป็นผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น ข้าวสาร, ถั่วข้าว, ข้าวหักครึ่งท่อน, ข้าวหักสามส่วนและข้าวหักสี่ส่วนซึ่งเกิดจากขบวนการสีข้าว ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สนใจที่ข้าวหักสามส่วน โดยเรียกว่า “ปลายข้าวสาร” ซึ่งในปัจจุบันโรงสีส่วนใหญ่ประสบปัญหาการเจือปนของเมล็ดหญ้าขนาดเล็กในปลายข้าว เนื่องจากเมล็ดหญ้ามักมีขนาดที่ใกล้เคียงกับปลายข้าวสารจากการคัดแยกด้วยตะแกรงร่อน ทำให้ปลายข้าวที่ได้มีคุณภาพที่ต่ำไม่สามารถนำไปแปรรูปได้ทันทีที่ต้องผ่านขบวนการแยกเมล็ดหญ้าออกเสียก่อน ซึ่งขบวนการแยกเมล็ดหญ้าในโรงสีหรือโรงงานแปรรูปปลายข้าว เช่น โรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว จะใช้เครื่องจักรจากต่างประเทศที่มีราคาที่สูงมากมาใช้ในการคัดแยก ซึ่งปัญหา คือ การบำรุงรักษาไม่สะดวกเนื่องจากไม่มีศูนย์บริการในประเทศ อีกทั้งโรงสีขนาดกลางและขนาดเล็กที่ไม่มีทุนมากพอในการซื้อเครื่องจักรจากต่างประเทศก็จะไปจ้างโรงสีที่มีทำการคัดแยก ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มมากขึ้นหรือถ้านำมาจำหน่ายโดยที่ไม่ทำการคัดแยกก็ได้ราคาที่ไม่สูงมากนัก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สร้างเครื่องจักรเพื่อใช้ในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เป็นการนำทฤษฎีไฟฟ้าสถิตมาประยุกต์ใช้แรงสนามไฟฟ้าคัดแยกเมล็ดหญ้าออกจากปลายข้าว การใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าใช้พลังงานในการคัดแยกที่ต่ำ ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง การสึกหรอของอุปกรณ์ทางกลน้อยและมีขนาดเล็ก ติดตั้งได้สะดวก มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ทำให้การบำรุงรักษาง่าย ต้นทุนในการสร้างไม่สูงมากนัก ลดการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศที่มีราคาแพง สามารถติดตั้งในโรงสีขนาดกลางและขนาดเล็กได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงมาใช้ในการอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพที่สูง ซึ่งการประยุกต์ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้ามาใช้ในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในการคัดแยกที่ต่ำ ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ โดยใช้วัสดุที่มีในประเทศเพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุงและมีราคาที่ไม่สูงมากนัก สามารถติดตั้งในโรงสีขนาดกลางและขนาดเล็กได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สร้างเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า พิกัดอัตราการคัด 100 kg/hr. ชีดความสามารถในการคัดแยก 90 % ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0-60 kV มีพิกัดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 10 W มีขนาดเล็ก ติดตั้งสะดวก

1.4 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

ในการประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว เพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อมูลต่างๆเพียงพอ สำหรับการสร้างเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า จึงได้แบ่งโครงงานวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ออกเป็น

1.4.1 โครงสร้างของเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

ส่วนโครงสร้างของเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้สนามไฟฟ้า โดยการวิจัยเพื่อหารูปแบบลักษณะโครงสร้างของเครื่องคัดแยกพิกัดอัตราการคัด 100 kg/hr. เพื่อนำไปเลือกวัสดุในการสร้างและการออกแบบบิเล็กโตรดสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม ส่วนในโครงงานวิจัยได้ทำการวิจัยหาค่าประกอบและความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบโครงสร้างเครื่องคัดแยก เช่น อัตราการคัด, อุณหภูมิของอากาศ, ความชื้นของอากาศ และตัวแปรอื่น ๆ รวมทั้งยังทำการหาลักษณะการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้า ขนาดความเครียดสนามไฟฟ้า พร้อมทั้งทิศทางของแนวแรงที่ทำให้เมล็ดหญ้าถูกคัดแยกออกไป (บทที่ 3 และ บทที่ 4)

1.4.2 การทดสอบใช้งานเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

เป็นส่วนโครงงานเพื่อทดสอบขีดความสามารถการคัดแยกเมล็ดหญ้าที่การใช้งานจริง เพื่อเก็บผลในการปรับปรุงเลือกวัสดุในการสร้างและองค์ประกอบต่างๆที่มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยก การใช้พลังงานไฟฟ้า การบำรุงรักษา เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครื่องต้นแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง (บทที่ 5) สามารถสรุปคุณสมบัติของเครื่องต้นแบบได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 คุณลักษณะเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

ขีดความสามารถในการคัด	90 %
กำลังไฟฟ้า	5 – 10 W
แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า	0 – 60 kV _{dc}
มลพิษทางอากาศขณะใช้งาน	ไม่ฟุ้งกระจาย เสียงเบา
การซ่อมบำรุง	สามารถทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าใช้จ่ายต่ำ
การติดตั้งใช้งาน	สามารถเคลื่อนย้ายได้ ติดตั้งได้ง่าย
ขนาดเครื่อง	50 x 200 x 120 cm ³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและการเคลื่อนที่วัตถุ

2.1 บทนำ

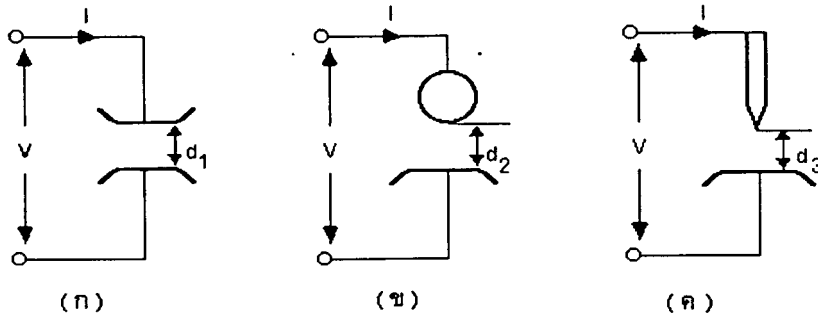
เนื่องจากในโครงการวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้าในการ คัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสาร ซึ่งในการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์โทรศรัสร้างสนามไฟฟ้าและ โครงสร้างของเครื่องคัดแยก รวมถึงการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น ในบทนี้จึงเป็นการอธิบายถึงทฤษฎีที่ ใช้ในการอ้างอิงของโครงการวิจัยนี้โดยละเอียด เพื่อให้เข้าใจในวิทยานิพนธ์ได้สะดวก จึงได้ แบ่งหัวข้อทฤษฎีออกตามลำดับของการอ้างอิงตั้งแต่ลักษณะของสนามไฟฟ้า รูปร่างของอิเล็กโทรด ขบวนการไอออไนเซชัน (ionization) การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ (electron emission from metallic surface) กลไกการเบรกดาวน์ (breakdown) ผลการเกิดเบรกดาวน์ในสภาวะต่างๆ การใส่ประจุให้อนุภาคและการใช้วิธีไฟไนล์เอลิเมนต์ในวิเคราะห์แก้ปัญหา

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของสนามไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าและความเครียดสนามไฟฟ้า สภาพฉนวนจะเริ่มเปลี่ยนไปสู่สภาพนำไฟฟ้า อย่างดี เมื่อเกิดการสปาร์กหรือวาบไฟหรือมีการเบรกดาวน์ผ่านฉนวนในก๊าซหรือของเหลวหลังจากสภาพฉนวนเปลี่ยนเป็นสภาพนำไฟฟ้าและจะคงอยู่ถ้าแรงดันนั้นสูงพอ และจะกลับคืนสู่สภาพ การเป็นฉนวนดั้งเดิม หลังจากการเบรกดาวน์หรือสปาร์กได้ผ่านพ้นไปแล้ว ซึ่งแตกต่างไปจาก ฉนวนที่เป็นของแข็งหลังจากการเกิดเบรกดาวน์แล้วสภาพการเป็นฉนวนจะเสียไปอย่างถาวร

2.2.1 ความคงทนของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric Strength)

ความคงทนของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า หมายถึง ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (Electric Field Stress) สูงสุดที่ฉนวนนั้นทนอยู่ได้โดยไม่เกิดความเสียหายหรือเกิดการเบรกดาวน์หรือทำให้ การเป็นฉนวนเสื่อมสภาพ มีหน่วยเป็นค่าแรงดันต่อความหนาของฉนวนหรือระยะห่างของ อิเล็กโทรดเป็นโวลต์ต่อเซนติเมตร (V/cm) หรือกิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร (kV/cm) ค่าความเครียด สนามไฟฟ้าที่ใช้กำหนดค่าความคงทนของการฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไปจะหาจากสนามไฟฟ้าที่ สมบูรณ์ (Uniform Field) ความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า E_b ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ต่างๆ เช่น รูปลักษณะเรขาคณิตของอิเล็กโทรด ลักษณะสมบัติของไดอิเล็กตริก (Dielectric), เวลา เป็นต้น



รูปที่ 2.1 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆ กัน

- (ก) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform Field)
- (ข) สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly Nonuniform Field)
- (ค) สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง (Highly Nonuniform Field)

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆ ที่วางอยู่ในอากาศดังรูปที่ 2.1 พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์จะไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะจัดระยะ d_1 , d_2 และ d_3 เป็นค่าสถิติหรือค่าโดยประมาณ มักจะกำหนดโดยค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{max} ที่เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งระหว่างอิเล็กโทรดในขณะที่การเบรกดาวน์เริ่มเกิดขึ้นซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอีกหลายประการ

2.2.2 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่มีค่าสนามไฟฟ้าทุกๆ จุดในช่วงระหว่าง อิเล็กโทรดสม่ำเสมอเท่ากันตลอด เช่น อิเล็กโทรดในรูปที่ 2.1 (ก) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$E_{max} = E_{av} = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

เมื่อ V : แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด หน่วย โวลต์ หรือกิโลโวลต์

d : ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด หน่วย เซนติเมตร

E_{av} : ความเครียดสนามไฟฟ้าเฉลี่ย ณ จุดใดๆ ระหว่างอิเล็กโทรดหน่วยโวลต์ต่อเซนติเมตรหรือกิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร

E_{max} : ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะเกิดเบรกดาวน์ทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดซึ่งเท่ากันทุกจุดถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด โดยที่ค่ากระแสก่อนจะเกิดเบรกคาวนนั่นจะวัดไม่ได้ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกคาวนนี้อีกก็คือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนนั่นเอง ซึ่งคำนวณได้จาก

$$E_b = \frac{V_b}{d} \quad (2.2)$$

เมื่อ V_b : แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกคาวนด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

E_b : ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกคาวนหรือความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวน

2.2.3 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ

อิเล็กโทรดแบบนี้ความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้นๆ ความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆ มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งรูปทรงเรขาคณิตของอิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากหรือน้อย เช่น อิเล็กโทรดในรูปที่ 2.1 (ข) ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรดทรงกลมอาจคำนวณได้จาก

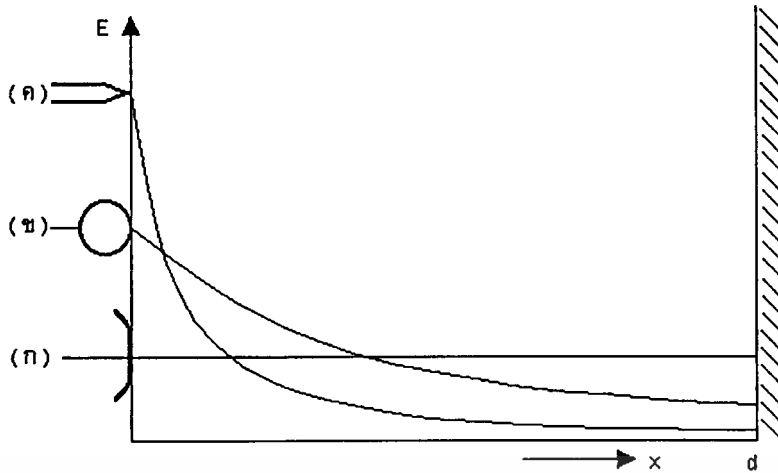
$$E_{max} = \frac{V}{d \cdot \eta^*} \quad (2.3)$$

η^* : แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field Utilization Factor) นิยามว่า $\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{max}}$; ซึ่งโดย

ทั่วไปจะมีค่า ≤ 1 ดังนั้นกล่าวได้ว่า η^* คือ ดัชนีบอกให้ทราบว่าอิเล็กโทรดนั้นมีลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากน้อยเพียงใดและโดยอาศัยแฟกเตอร์สนามไฟฟ้านี้เองจึงสามารถคำนวณหาความเครียดเบรกคาวนของฉนวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยได้คือ

$$E_b = \frac{V_b}{d \cdot \eta^*} \quad (2.4)$$

สมการนี้ใช้ได้เฉพาะในกรณีที่อิเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยหรือใช้กับกรณีที่ไม่มีโคโรนา (Corona) หรือพรีดิสชาร์จ (Predischarge) เกิดก่อนเบรกคาวน อิเล็กโทรดรูปที่ 2.1 (ข) กล่าวคือ ก่อนการเบรกคาวนจะไม่ปรากฏว่ามีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโทรดเลยและลักษณะสนามไฟฟ้าวิกฤติ E_b จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงและจะเกิดเบรกคาวนทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดสูงถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติ



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิลเล็กโทรดลักษณะต่างๆ

ในกรณีที่อิลเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงซึ่งค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวอิลเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเช่นปลายแหลมดังรูปที่ 2.1 (ก) ที่ระยะห่างออกจากผิวอิลเล็กโทรด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งอิลเล็กโทรดแบบนี้แม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤติแล้วก็ตามจะยังไม่เกิดการเบรกดาวน์แต่จะเกิดโคโรน่าพริคิสซาร์จขึ้นในบริเวณผิวอิลเล็กโทรดคือบริเวณที่มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ส่วนบริเวณอื่นๆยังมีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจะไม่เกิดโคโรน่า ฉะนั้นในช่องว่างระหว่างอิลเล็กโทรดจะเกิดการคิสซาร์จ (Discharge) ที่ไม่สมบูรณ์ คือไม่ตลอดแนวระหว่างอิลเล็กโทรด เรียกว่าการคิสซาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ปกติการคิสซาร์จจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นช่วงๆ จึงทำให้มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิลเล็กโทรดกระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเบรกดาวน์เรียก กระแสโคโรน่า (Corona Circuit) หรือกระแสพริคิสซาร์จการเกิดโคโรน่าเป็นผลทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตเปลี่ยนไปเพราะมีประจุค้าง (Space Charge) แต่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดยังคำนวณได้จากสมการ (2.3) แต่ η^* จะเปลี่ยนไป ดังนั้นค่าความเครียดเบรกดาวน์จะคำนวณจากสมการ (2.4) ไม่ได้ anymore ดังนั้นค่าความเครียดเบรกดาวน์จะคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดได้เพราะสนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตยังไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ

$$E_i = \frac{V_i}{d \eta^*} \quad (2.5)$$

เมื่อ E_i : ความเครียดสนามไฟฟ้าเริ่มเกิด

V_i : แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนที่โคโรน่าเริ่มเกิด (Corona Inception Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย E_i และ V_i เป็นค่าความเครียดสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่โคโรนาเริ่มเกิดฉะนั้นจึงใช้ได้เฉพาะกรณีที่ไม่มีประจุค้างระหว่างอิเล็กโทรดหรือกล่าวได้ว่าสมการที่ (2.5) นี้ใช้สำหรับคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเริ่มต้น (Starting Voltage, Threshold Voltage, Inception Voltage) ซึ่งหมายถึงแรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องระหว่างอิเล็กโทรด อาจจะเป็นเบรกดาวน์ ในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและอาจจะเป็นแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด ในกรณีที่ป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงซึ่งค่าแรงดันเบรกดาวน์จะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้นจึงอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการทั่วไปว่า

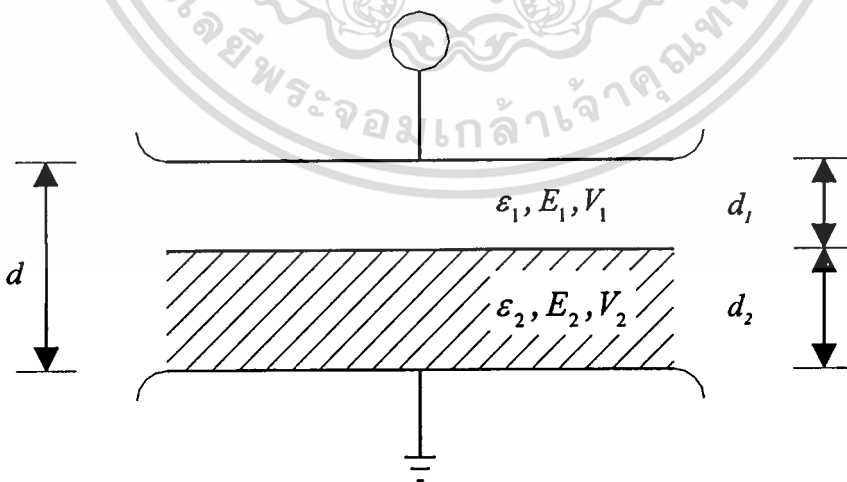
$$V_i = E_i \cdot d \cdot \eta \quad (2.6)$$

เมื่อ V_i : แรงดันเริ่มต้น

E_i : ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันเริ่มต้น V_i

2.2.4 สนามไฟฟ้าในวัสดุสารเนื้อต่างชนิดกัน

ในอิเล็กโทรดแบบระนาบ กรณีที่มีฉนวนต่างค่า permittivity กัน ซ้อนกันอยู่เป็น dielectric และค่าความต้านทานจำเพาะต่างกัน ย่อมทำให้เกิดเป็นชั้นต่อของฉนวน อันเป็นผลให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนต่างๆการกระจายจะกำหนดด้วยความต้านทานของการฉนวน การวางฉนวนต้องให้รอยต่อฉนวนขนานกับระนาบของอิเล็กโทรด ค่าสัมบูรณ์ของความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นมีค่าคงตัวหรือเท่ากันตลอด



รูปที่ 2.3 ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนทั้งสองคือ

$$E_1 = \frac{V}{d_1 + d_2 \left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \right)} \quad (2.7)$$

$$E_2 = \frac{V}{\left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right) d_1 + d_2} \quad (2.8)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \rightarrow \epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2 = \dots \quad (2.9)$$

เมื่อ

E_1 คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 1

E_2 คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 2

V คือ แรงดันไฟฟ้า

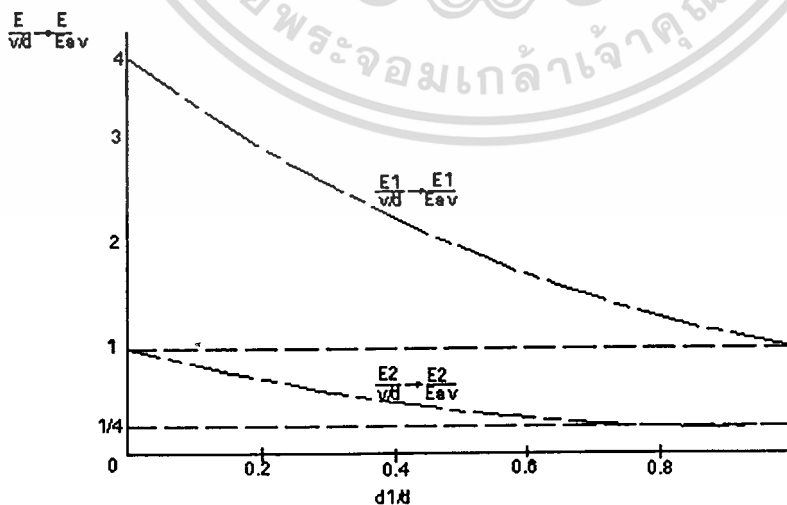
d_1 คือ ระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 1

d_2 คือ ระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 2

ϵ_1 คือ เปรอริมิตติวิตีของฉนวนที่ 1

ϵ_2 คือ เปรอริมิตติวิตีของฉนวนที่ 2

จะเห็นว่าความเครียดสนามไฟฟ้า E_1 จะมากกว่า E_2 ตามอัตราส่วน ϵ_2/ϵ_1 เมื่อ $\epsilon_2 > \epsilon_1$ ถ้าเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนฉนวนแต่ละชั้นกับความเครียดสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ จะเห็นได้ว่า ถ้าในส่วนฉนวนที่มีค่า ϵ ต่ำ ยิ่งบาง สนามไฟฟ้าจะยิ่งสูงมาก



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย Uniform field

ฉนวนชั้นกัน ที่ V และ d คงที่ โดยเปลี่ยนค่า d_1 และ $d_2 = d - d_1$ ฉนวนที่ $\epsilon_1/\epsilon_2 = 4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติของสนามไฟฟ้า

2.3.1 ไอออนไนเซชัน

ขบวนการที่แยกอิเล็กตรอนให้หลุดออกอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซ เมื่อได้รับพลังงานเพียงพอและทำให้เกิดไอออนบวกเพิ่มขึ้น เรียกว่า ไอออนไนเซชันหรือการแตกตัวของอิเล็กตรอนจากโมเลกุล ส่วนขบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากของแข็ง (Solid) เรียกว่าการปล่อยอิเล็กตรอน (Electron Emission) ซึ่งในที่นี้จะ เป็นขบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นขบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ก๊าซมีสภาพนำไฟฟ้าขึ้นมาได้ การเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนและไอออนในก๊าซมีเนื่องจากขบวนการไอออนไนเซชันมีอยู่หลายวิธี ซึ่งจะขอกล่าวเพียงบางวิธีที่สำคัญๆ พอสังเขป

2.3.2 ไอออนไนเซชันโดยการชน (Collision Ionization)

เมื่ออนุภาคมีมวล m (อิเล็กตรอน, ไอออนหรืออะตอมเป็นกลาง) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v และชนกับอะตอมมีมวล m จะมีการถ่ายทอดพลังงานจลน์ ถ้าไม่มีผลทำให้เกิดการตื่นกระตุ้น (Excitation) หรือทำให้เกิดไอออนไนเซชันเรียกว่าชนแบบยืดหยุ่น (Elastic Collision) แต่ถ้าชนแล้วอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซที่ถูกชนได้รับพลังงานจากอนุภาคที่ชนเกิดตื่นกระตุ้นหรือไอออนไนเซชันขึ้น เรียกว่าชนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Collision) นั้นหมายความว่ามีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานศักย์ไอออนไนเซชันเกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซ โดยที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าในขณะที่วิ่งเข้าหาอะตอมพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับจะเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งถ้ามากกว่าพลังงานไอออนไนเซชัน (Ionization Energy) ของโมเลกุลของก๊าซ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของก๊าซแต่ละชนิด ก็จะให้เกิดการไอออนไนเซชันขึ้น ถ้าพลังงานที่ได้รับจากสนามไฟฟ้าไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดการไอออนไนเซชันก็อาจจะเป็นผลทำให้โมเลกุลที่ถูกชนนั้นอยู่ในสภาวะตื่นกระตุ้นได้ พลังงานที่ทำให้โมเลกุลตื่นกระตุ้นได้พอๆ เรียกว่า พลังงานตื่นกระตุ้น (Excitation Energy)

2.3.3 โฟโตไอออนไนเซชัน (Photoionization)

เมื่ออะตอมของธาตุบางชนิด เช่น อะตอมไฮโดรเจนได้รับพลังงานจากภายนอกจะทำให้วงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสสลายห่างออกมามากกว่าปกติ แต่ยังคงอยู่รอบนิวเคลียสในวงโคจรที่แน่นอนวงหนึ่งโดยไม่หลุดออกมา ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่าอะตอมอยู่ในสภาวะตื่นกระตุ้นพลังงานจะคงสภาพอยู่ในช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 10^{-8} ถึง 10^{-7} วินาทีเท่านั้นแล้วอะตอมก็จะกลับเข้าสู่สภาพปกติ ขณะเดียวกันก็จะปล่อยพลังงานที่ได้รับในตอนแรกกลับคืนมาในรูปของโฟตอน (Photon) ถ้าวิ่งไปกระทบเข้ากับอะตอมหรือโมเลกุลเป็นกลางอาจทำให้เกิดการตื่นกระตุ้นหรือไอออนไนเซชันได้

2.3.4 เทอร์มัลไอออไนเซชัน (Thermal Ionization)

เทอร์มัลไอออไนเซชัน เป็นการไอออไนเซชันอะตอมหรือ โมเลกุลของก๊าซด้วยพลังงานความร้อน ในก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงๆ ไอออไนเซชันอาจเกิดขึ้นได้จาก

- ไอออไนเซชันโดยการชนกันเองของโมเลกุล หรือ อะตอมเนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้มีความเร็วสูง จึงให้พลังงานจลน์สูง ทำให้เกิดไอออไนเซชันได้
- ก๊าซร้อนทำให้มีโฟตอนปล่อยออกมาและเกิดโฟโตไอออไนเซชันขึ้นได้
- การชนของอิเล็กตรอน ที่มีพลังงานจลน์สูง จากข้อข้างต้น

2.3.5 การเกิดไอออนลบ (Negative ion formation)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ไอออไนเซชันเป็นขบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมหรือ โมเลกุลของก๊าซและที่เหลือเป็น ไอออนบวกใน โอกาสเดียวกัน ไอออนลบอาจเกิดขึ้นได้ โดยถ้าอิเล็กตรอนมีพลังงาน ไม่เพียงพอที่จะชนให้อะตอมหรือ โมเลกุลที่เป็นกลางของก๊าซบางชนิดแตกตัวออกได้ แต่อิเล็กตรอนอาจจับหรือเกาะบน โมเลกุล (Electron Attachment) ทำให้กลายเป็นอนุภาคที่มีมวลเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เคลื่อนที่ได้ช้า นั่นคือไอออนลบจะได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า น้อยโอกาสจะเกิด ไอออไนเซชัน โดยการวิ่งชนของไอออนลบจึงมีน้อยเท่ากับเป็นการหน่วงการเกิด ไอออไนเซชัน การหน่วงนี้จะมีผลอย่างยิ่งถ้าเกิดขึ้นในบริเวณใกล้ๆ โดดอันเป็นที่เริ่มต้นของอิเล็กตรอน เป็นผลให้อิเล็กตรอนอิสระที่เป็นตัวเริ่มลดลงไปโมเลกุลของก๊าซประเภทฮาโลเจน คือพวกที่มีองค์ประกอบของ F , Cl , Br , I และ At รวมทั้งพวก O₂ , CO₂ , SF₆ เป็นต้น จะจับอิเล็กตรอนได้ง่ายและเป็น ไอออนลบที่มันคงก๊าซที่มีอะตอมหรือ โมเลกุลเหล่านี้รวมอยู่ด้วย เรียกว่าก๊าซไฟฟ้าลบ (Electronegative gases) ในก๊าซอื่นๆ หากมีก๊าซไฟฟ้าลบเจือปนแม้เพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ลักษณะสมบัติทาง ไฟฟ้าของก๊าซนั้นเปลี่ยนไปอย่างเห็น ได้ชัด

2.3.6 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ

การที่อิเล็กตรอนวิ่งชน โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากโมเลกุล ซึ่งจัดเป็นขบวนการเบื้องต้นที่สำคัญในการสร้างจำนวนอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มทวีคูณนั้น แต่ตามลำพังขบวนการเบื้องต้น ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเบรกดาวน์ได้ จำเป็นต้องมีขบวนการอื่นมาช่วยเสริมจำนวนอิเล็กตรอนด้วย การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะถือได้ว่าเป็นขบวนการที่สำคัญในการช่วยเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนอิสระนำไปสู่การเบรกดาวน์ได้ ซึ่งมีหลากหลายวิธีแต่การจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสนามไฟฟ้าที่ผิวของโลหะเป็นสำคัญ ซึ่งจะกล่าวถึงกลวิธีต่าง ๆ พอสังเขปดังนี้

2.3.7 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะโดยการชนของไอออนบวก

ไอออนบวกซึ่งเกิดจากขบวนการเบี่ยงเบนที่อิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุลหรืออะตอมทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเหลือไอออนบวกวิ่งเข้าหาอะโนด โดยเหตุที่ไอออนบวกมีมวลมากจึงเคลื่อนที่ได้ช้าพลังงานจลน์ที่ไอออนบวกได้จากสนามไฟฟ้าจึงมีน้อยไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดไอออนในเซชันโดยการชนของไอออนบวกกับโมเลกุลของก๊าซได้แต่ไอออนบวกมีพลังงานศักย์พอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดกระจายออกจากผิวโลหะได้เมื่อไอออนบวกวิ่งกระทบ

2.3.8 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะโดยพลังงานโฟตอน (Photo – Emission)

โมเลกุลที่อยู่ในสภาพต้นกระตุ้นปล่อยพลังงานโฟตอนออกมาในขณะที่อะตอมคืนเข้าสู่สถานะภาพพื้นฐาน (Ground State) โดยอิเล็กตรอนกลับเข้าสู่วงโคจรเดิมพลังงานโฟตอนตกลงบนโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากโลหะหรือโมเลกุลที่อยู่ในสถานะภาพ เมตาเสถียร(Metastable) นั้นอาจแพร่กระจายกลับไปหาโลหะแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้ เมื่อโมเลกุลนั้นวิ่งเข้าไปประกบโลหะ

2.3.9 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากโลหะโดยพลังงานแสง

อิเล็กตรอนอาจหลุดหรือกระจายออกจากผิวโลหะได้ เมื่อได้รับพลังงานแสงมากพออาจมีพลังงานเหลือเพื่อและเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์วิ่งเข้าหาอะโนดได้ถึงแม้จะไม่มีสนามไฟฟ้าก็ตาม

2.3.10 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะด้วยความร้อน (Thermionic Emission)

ที่อุณหภูมิสูงๆบางอิเล็กตรอนที่ผิวของโลหะจะมีพลังงานมากพอที่จะเอาชนะหรือข้ามกำแพงศักย์(Potential Barrier) ที่ผิวของโลหะไปได้และมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิของผิวโลหะซึ่งการหลุดของอิเล็กตรอนจากผิวของโลหะโดยไม่มีแหล่งพลังงานใด ๆ จากภายนอกนี้เรียกว่า การปล่อยอิเล็กตรอนด้วยความร้อน

2.3.11 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากโลหะโดยสนามไฟฟ้า (Field Emission)

ผลจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนจากภายนอกเข้าไปจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดหรือปล่อยออกมาจากผิวโลหะได้นั้น ต้องมีพลังงานมากพออย่างน้อยมีพลังงานมากกว่าการปล่อยออกด้วยความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิดของโลหะลักษณะของอิเล็กโทรดเป็นต้น โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงมาก อาศัยแรงดึงดูดของสนามไฟฟ้าดึงอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอม ซึ่งผลของขบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากโลหะโดยสนามไฟฟ้านี้ จะทำให้เกิดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนตรงบริเวณขั้วอิเล็กโทรด

สูงมาก ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีความสำคัญมากในโคโรนาดีสชาร์จของปลายแหลมขั้วลบ (Negative Point Co-rona Discharge)

2.3.12 เบรกคาวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ(Breakdown in Nonuniform Field)

ปรากฏการณ์เบรกคาวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมีลักษณะที่แตกต่างออกไป จากกรณีการเบรกคาวนในสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ โดยมีโคโรนาเกิดขึ้นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงและเกิดขึ้นที่แรงดันต่ำกว่าแรงดันเบรกคาวน โคโรน่ายังคงสภาพอยู่ได้ในบางจุดโดยไม่เกิดเบรกคาวน ลักษณะเบรกคาวนในสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า ($\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{max}}$) พิจารณาจากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่มี η^* ยิ่งต่ำความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (E_{max}) ที่ผิวอิเล็กโทรดรัศมีมีน้อยยิ่งมีค่ามากและความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ฉะนั้นไอออนในเซชันจะเกิดขึ้นได้เฉพาะบริเวณที่ผิวอิเล็กโทรดซึ่งมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงเท่านั้น ที่ระยะห่างออกไปความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำเกินไปที่จะเกิดไอออนในเซชันจึงไม่อาจเกิดการเบรกคาวนและจัดเป็นเบรกคาวนแบบโคโรนา

2.3.13 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อแรงดันเบรกคาวน

มีเงื่อนไขสถานะแวดล้อมหลายประการที่มีผลกระทบต่อแรงดันเบรกคาวน เช่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด ,รัศมีมีความโค้ง , ลักษณะผิว,ช่วงเวลาที่ย้อนแรงดัน ,ความถี่, รูปคลื่น ,แรงดัน, อุณหภูมิ , ชนิดของก๊าซ รวมทั้งขั้วแรงดันบนอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ได้เสนอไปแล้ว ดังนั้นจะขอกล่าวถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีความสำคัญส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันเบรกคาวนของก๊าซ โดยกำหนดระยะห่างของอิเล็กโทรดคงที่พอสังเขปดังนี้

1. รูปลักษณะอิเล็กโทรด

ลักษณะอิเล็กโทรดจะมีผลต่อแรงดันเบรกคาวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะสนามไฟฟ้าว่าเป็นแบบสม่ำเสมอ,ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย หรือไม่สม่ำเสมอมาก ในกรณีไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดกับค่าเฉลี่ยจะแตกต่างกัน ไม่มากนักค่าแรงดันเริ่มต้นกับค่าแรงดันเบรกคาวนเป็นค่าเดียวกัน กล่าวคือ เมื่ออะวาลานซ์วิกฤติได้ตามเงื่อนไข ก็จะเกิดเบรกคาวนทันที จะไม่มีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนเบรกคาวนจึงเรียกลักษณะเบรกคาวนโดยตรงเช่นเบรกคาวนบนช่องว่างระหว่างทรงกลมที่มีระยะห่างไม่มากนัก เมื่อเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางความแตกต่างของขั้วแรงดันมีผลต่อค่าแรงดันเบรกคาวนเล็กน้อย ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดมีมากเมื่อเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของอิเล็กโทรด ค่าแรงดันเริ่มต้นจะต่ำกว่าแรงดันเบรกคาวนอย่างเห็นได้ชัด ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอแบบสมมาตร เช่น แท่งกลม – แท่งกลมมีปลายเหมือนกัน รูปลักษณะอิเล็กโทรดไม่มีผลต่อแรงดันเบรกคาวน จะมีผลในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบไม่สมมาตรมาก ๆ เช่น แท่งกลมกับแผ่นระนาบ และจะเกิดโคโรนาก่อนเบรกคาวน

2. ผลของความหนาแน่นของก๊าซ

ในทางปฏิบัติความหนาแน่นของอากาศมีบทบาทสำคัญต่อการจนวนกลางแจ้ง บรรยากาศเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจึงถือได้ว่าค่าแรงดันเบรกดาวน์หรือวาบไฟ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า P/T ซึ่งแสดงถึงความหนาแน่นของก๊าซ ให้ความหนาแน่นของก๊าซ $\delta = 1$ เมื่อความดันบรรยากาศ $p = 760 \text{ Torr}$, อุณหภูมิ $t = 20^\circ\text{C}$ (ซึ่งเท่ากับ $T = 273 + 20 = 293 \text{ }^\circ\text{K}$) เป็นสภาวะมาตรฐานของ IEC

$$V_b(\delta) = \delta \cdot V_{bn} \quad (2.10)$$

โดย

V_b คือ ค่าแรงดันเบรกดาวน์ที่ความหนาแน่นอากาศ = δ

V_{bn} คือ ค่าแรงดันเบรกดาวน์ที่สภาวะมาตรฐาน

ค่าความหนาแน่นของอากาศคำนวณได้จาก

$$\delta = \frac{p}{760} \cdot \frac{293}{273 + t} = 0.386 \frac{p}{273 + t} \quad (2.11)$$

เมื่อ

p คือ ความดันอากาศ เป็น Torr

t คือ อุณหภูมิ เป็น $^\circ\text{C}$

3. ผลของความชื้นในอากาศ

โมเลกุลของ H_2O ในอากาศมีลักษณะเป็นก๊าซไฟฟ้าลบอ่อนๆ เพราะมีอะตอมของออกซิเจนประกอบอยู่ ทำให้อากาศมีความชื้นมีความคงทนต่อแรงดันสูงขึ้นตรงเท่าที่ความชื้นนี้ยังไม่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ในสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอ ผลของความชื้นที่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวน์น้อยมากเลยได้ แต่ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงที่มีดิสชาร์จก่อนความชื้นมีผลต่อแรงดันเบรกดาวน์และมีผลมากที่สุดสำหรับแรงดันกระแสดตรง แรงดันเบรกดาวน์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความชื้นสมบูรณ์ในอากาศ

แรงดันเบรกดาวน์กระแสดตรงในแก๊ปของแท่งกระบอกกลม ม (rod-rod gap) จากผลการทดลองได้ความสัมพันธ์ (Zaengl) คือ

$$V_b = (a + bd) \cdot \delta \cdot \sqrt{5.1 \times 10^{-2} (h_a + 8.65)} \quad \text{kV} \quad (2.12)$$

เมื่อ

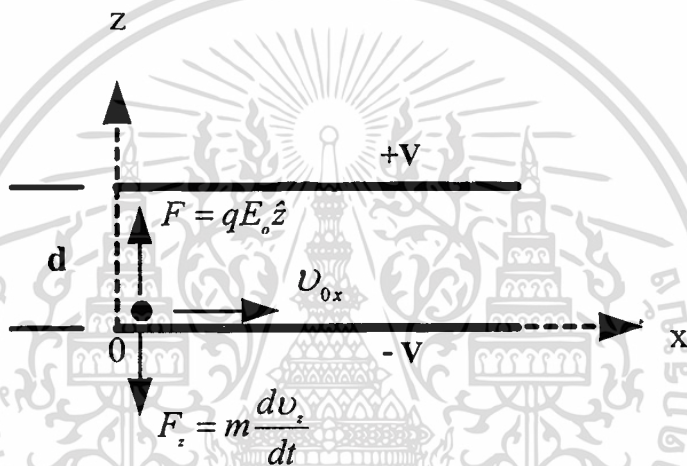
δ คือ ความหนาแน่นอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 a &= 20 \text{ kV (สำหรับ DC)} \\
 &15 \text{ kV (สำหรับ DC)} \\
 b &= 5.1 \text{ kV/cm, } d = \text{ระยะแคป เป็น cm} \\
 h_u &= 4 \dots 40 \text{ g/m}^3 \text{ (ความชื้นสัมบูรณ์)}
 \end{aligned}$$

2.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ

ในกรณีพิจารณาอนุภาคที่มีมวลและมีค่าประจุที่เข้าไปในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ สมมติ ที่ $t = 0$ ความเร็วเริ่มต้นของอนุภาค คือ $v_0 = v_{0x}\hat{x} + v_{0y}\hat{y} + v_{0z}\hat{z}$ และที่สนามไฟฟ้า คือ $E = E_0\hat{z}$ คำนวณความเร็วของอนุภาคและตำแหน่งที่เวลา t



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ

แรงที่กระทำกับอนุภาค

$$F = qE_0\hat{z} \quad (2.13)$$

แรงกระทำในทิศทาง \hat{z} จากกฎของนิวตัน

$$F_z = m \frac{dv_z}{dt} \quad (2.14)$$

รวมสมการที่ 2.13 และสมการที่ 2.14 จะได้

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{q}{m} E_0 \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิเกรตสมการที่ 2.15 จะได้

$$v_z(t) = \left(\frac{q}{m} E_0 \right) t + C \quad (2.16)$$

ที่ Initial condition คือ

$$v_z(0) = v_{0z}$$

ค่าคงที่ C ในสมการที่ 2.16 อาจคำนวณจากผลลัพท์

$$v_z(t) = v_{0z} + \frac{qE_0}{m} t$$

ดังนั้น ความเร็วรวม คือ

$$v(t) = \hat{x}v_{0x} + \hat{y}v_{0y} + \hat{z}\left(v_{0z} + \frac{qE_0}{m} t\right) \quad (2.17)$$

ตำแหน่งของอนุภาคที่เวลา t คือ

$$r = \hat{x}(v_{0x}t + x_0) + \hat{y}(v_{0y}t + y_0) + \hat{z}\left(v_{0z}t + z_0 + \frac{qE_0}{2m} t^2\right) \quad (2.18)$$

โดยที่ (x_0, y_0, z_0) แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของอนุภาคที่ $t=0$

2.5 ทฤษฎีพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2.5.1 กฎของนิวตัน

มวล

มวลของวัตถุใดๆเป็นปริมาณที่วัดความเฉื่อยของวัตถุ ความเฉื่อย คือ ความโน้มเอียงที่วัตถุซึ่งอยู่นิ่งจะยังคงอยู่นิ่งต่อไปและวัตถุที่เคลื่อนที่จะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยเวกเตอร์ความเร็วคงที่

กิโลกรัมมาตรฐาน

กิโลกรัมมาตรฐาน คือวัตถุใดๆที่นิยามว่ามีมวลหนึ่งกิโลกรัม มวลของวัตถุอื่นหาได้โดยการเปรียบเทียบกับมวลนี้ หนึ่งกรัมมามีค่าเทียบเท่ากับมวล 0.001 kg

แรง

แรง คือ การดันหรือการดึงที่กระทำต่อวัตถุ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์มีขนาดและทิศทาง ส่วนแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุมีความเร่งในทิศของแรงความเร่งมีค่าแปรผันตรงกับแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็ว

อัตราเร็วหมายถึงระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาที่พิจารณาเป็นปริมาณ สเกลาร์

ความเร็วเฉลี่ย

ความเร็วเฉลี่ย หมายถึง การขจัดต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เป็นปริมาณเวกเตอร์

นิวตัน

นิวตันเป็นหน่วยของแรงในระบบ SI หนึ่งนิวตัน (1 N) คือ แรงลัพธ์ที่จะทำให้มวล 1 kg มีความเร่ง 1 m/s^2 แรงหนึ่งคาน์มีค่าเท่ากับ 10^5 N แรงหนึ่งปอนด์มีขนาด 4.45 N

2.5.1.1 กฎของนิวตันข้อที่หนึ่ง

ถ้าแรงลัพธ์เนื่องจากแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ เวกเตอร์ความเร่งของวัตถุจะไม่เปลี่ยนวัตถุที่อยู่นิ่งจะอยู่นิ่งต่อไปวัตถุที่เคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงที่ วัตถุมีความเร่งต่อเมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์กระทำต่อมัน มักเรียกกฎนี้ว่ากฎความเฉื่อย

2.5.1.2 กฎของนิวตันข้อที่สอง

ถ้าแรงลัพธ์ (หรือแรงสุทธิ) F ที่กระทำต่อวัตถุมวล m มีค่าไม่เป็นศูนย์ วัตถุจะมีความเร่งในทิศทางของแรงลัพธ์นั้น ความเร่ง a แปรผันตรงกับแรงลัพธ์และจะแปรผกผันกับมวล m ของวัตถุ เมื่อ F มีหน่วยเป็นนิวตัน, m มีหน่วยเป็นกิโลกรัม และ a มีหน่วยเป็น เมตร / วินาที² จึงเขียนการแปรผันนี้เป็นสมการได้

$$a = \frac{F}{m} \quad (2.19)$$

หรือ $F = ma \quad (2.20)$

เมื่อใช้กฎนี้และกฎอื่นๆ ที่ได้จากกฎนี้ F , m และ a จะต้องอยู่ในหน่วยที่ถูกต้อง ความเร่ง a มีทิศเดียวกับแรงลัพธ์ F

สามารถเขียนสมการเวกเตอร์ $F = ma$ ให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบได้ว่า

$$\sum F_x = ma_x, \quad \sum F_y = ma_y, \quad \sum F_z = ma_z \quad (2.21)$$

โดยที่แรงต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ

2.5.1.3 กฎของนิวตันข้อที่สาม

สำหรับแรงทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุจะต้องมีแรงที่มีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้ามกระทำต่อวัตถุอื่น มักเรียกกฎนี้ว่า กฎของแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา สังเกตว่าแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยากระทำคนละวัตถุ

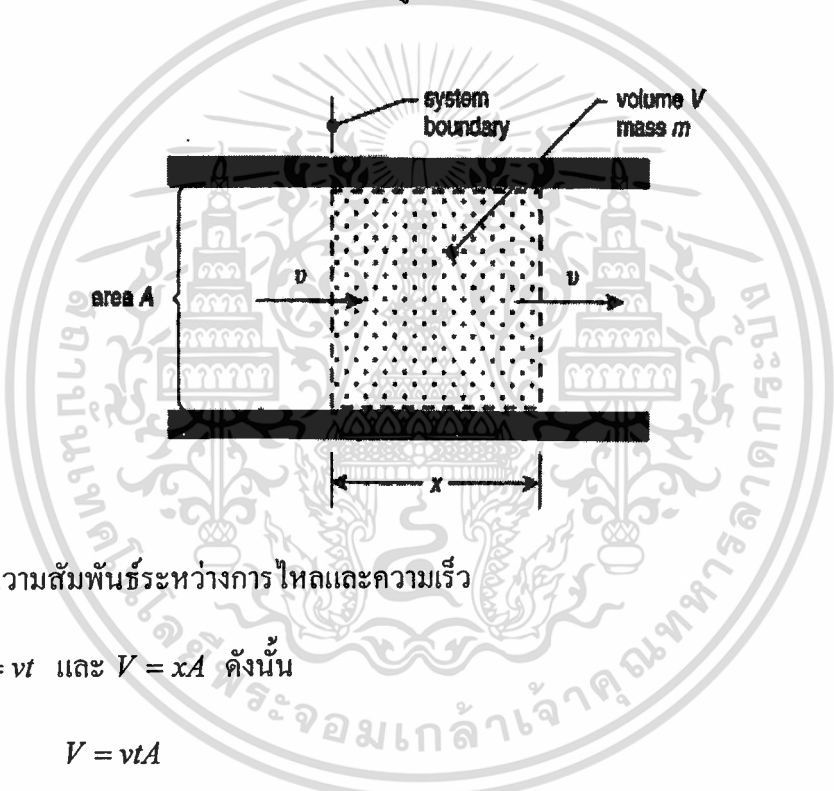
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลและน้ำหนัก

วัตถุมวล m ซึ่งตกอย่างเสรีเข้าหาโลกเป็นวัตถุซึ่งถูกกระทำด้วยแรงเพียงแรงเดียวเท่านั้น คือ แรงดึงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงซึ่ง เรียกว่าน้ำหนัก w ของวัตถุ ความเร่งของวัตถุเนื่องจาก w คือ ความเร่งในการตกอย่างเสรี g ดังนั้น $F = ma$ ให้ความสัมพันธ์ระหว่าง $F = w$, $a = g$ และ m กับแรง นั่นคือ $w = mg$ เนื่องจาก $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ บนผิวโลกวัตถุมวล 1 kg จะหนัก 9.81 N บนผิวโลก

2.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลและความเร็ว

พิจารณาเวลา (t) ซึ่งของไหลมีมวล (m) และมีปริมาตร (V) เคลื่อนที่ไปในระยะทาง (x) ผ่านไปในบริเวณซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด (A) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลและความเร็ว

ขณะที่ $x = vt$ และ $V = xA$ ดังนั้น

$$V = vtA \tag{2.22}$$

$$\frac{V}{t} = vA \tag{2.23}$$

หรือ

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = vA \quad \text{m}^3 / \text{s} \tag{2.24}$$

เมื่อ \dot{V} คือ อัตราไหลเชิงปริมาตร (volume – flow rate)

v คือ ความเร็วเฉลี่ย ($= u_0 + at \text{ m/s}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าของไหลมีความหนาแน่น ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.25)$$

$$\therefore m = vt\rho A \quad (2.26)$$

หรือ

$$\frac{m}{t} = v\rho A \quad (2.27)$$

ดังนั้น

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = v\rho A \quad \text{kg/s} \quad (2.28)$$

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราไหลเชิงมวล (mass – flow rate)

v คือ ความเร็วเฉลี่ย

A คือ พื้นที่หน้าตัด

ρ คือ ความหนาแน่น

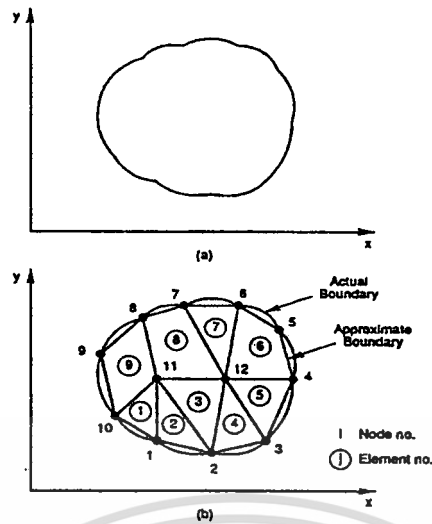
2.6 การประยุกต์ใช้งาน FEM ในทางวิศวกรรมไฟฟ้า

2.6.1 การแบ่งขอบเขตของปัญหาเป็นอิลิเมนต์

ทำการแบ่งบริเวณของปัญหาที่พิจารณาออกเป็นส่วนย่อยหรือ อิลิเมนต์ที่รู้จำนวน ดังในรูปที่ 2.7 ซึ่งบริเวณของปัญหาถูกแบ่งออกเป็นอิลิเมนต์ 9 ชิ้น ซึ่งไม่ซ้อนทับกัน (สามเหลี่ยม 6 ชิ้นและสี่เหลี่ยม 3 ชิ้น) และประกอบด้วย 12 โหนด เมื่อทำการหาค่าศักย์ค่าไฟฟ้าโดยประมาณภายใน อิลิเมนต์ คือ V_e แล้วทำการเชื่อมโยงการกระจายศักย์ค่าไฟฟ้าภายในอิลิเมนต์หลายๆ อิลิเมนต์จะทำให้ศักย์ค่าไฟฟ้ามีความต่อเนื่องภายในขอบเขตของอิลิเมนต์ (interelement boundary) คำตอบโดยประมาณของบริเวณทั้งหมดของปัญหาที่พิจารณาคือ

$$V(x, y) = \sum_{e=1}^N V_e(x, y) \quad (2.29)$$

เมื่อ N เป็นจำนวนอิลิเมนต์ที่บริเวณของปัญหาถูกทำการแบ่ง



รูปที่ 2.7 (a) ขอบเขตพื้นที่ของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์
(b) การแบ่งพื้นที่ของปัญหาออกเป็นส่วนย่อย

รูปแบบทั่วไปที่ใช้ในการประมาณค่า V ภายในอิเลเมนต์เป็น Polynomial Approximation
สมการที่ 2.30 ใช้ในกรณีที่เป็นอิเลเมนต์รูปสามเหลี่ยม

$$V_e(x, y) = a + bx + cy \quad (2.30)$$

สมการที่ 2.31 ใช้ในกรณีที่เป็นอิเลเมนต์รูปสี่เหลี่ยม

$$V_e(x, y) = a + bx + cy + dxy \quad (2.31)$$

ค่าศักย์ไฟฟ้า V_e โดยปกติแล้วภายในอิเลเมนต์จะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ส่วนภายนอกจะเท่ากับศูนย์โดยข้อเท็จจริงจะพบว่าอิเลเมนต์รูปที่นิยมใช้มากจะเป็นอิเลเมนต์รูปสามเหลี่ยมเนื่องจากการปรับแต่งรูปร่างของอิเลเมนต์ให้เข้ากับขอบเขตของปัญหาทำได้ง่ายกว่าอิเลเมนต์รูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นในโครงการนี้จะใช้อิเลเมนต์รูปสามเหลี่ยมในการพิจารณาสังเกตว่าการตั้งสมมติฐานให้ linear variation ของ V_e ภายในรูปสามเหลี่ยมเป็นดังสมการที่ 2.30 เหมือนกับเป็นการสมมติว่าสนามไฟฟ้าภายในอิเลเมนต์เป็นแบบสม่ำเสมอ

$$\vec{E}_e = -\nabla V_e = -(b\vec{a}_x + c\vec{a}_y) \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การหาสมการของแต่ละอิลิเมนต์

พิจารณาอิลิเมนต์พื้นฐานรูปสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2.8 ค่าศักย์ไฟฟ้า ณ โหนด 1,2,3 คือ V_{e1}, V_{e2}, V_{e3} ตามลำดับ จากสมการที่ 2.30 จะได้ว่า

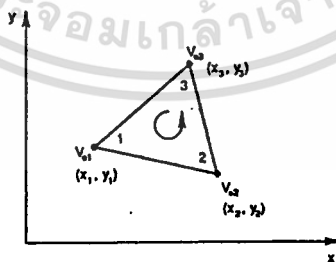
$$\begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

ค่า a, b, c สามารถหาได้จาก

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.30

$$\begin{aligned} V_e &= \begin{bmatrix} 1 & x & y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & x & y \end{bmatrix} \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} (x_2y_3 - x_3y_2) & (x_3y_1 - x_1y_3) & (x_1y_2 - x_2y_1) \\ (y_2 - y_3) & (y_3 - y_1) & (y_1 - y_2) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.8 อิลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม : แสดงการวน โหนด 1-2-3 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

หรือ
$$V_e = \sum_{i=1}^3 \alpha_i(x, y) V_{ei} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\alpha_1 = \frac{1}{2A} [(x_2 y_3 - x_3 y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y] \quad (2.36)a.$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2A} [(x_3 y_1 - x_1 y_3) + (y_3 - y_1)x + (x_1 - x_3)y] \quad (2.36)b.$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{2A} [(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y] \quad (2.36)c.$$

และ A เป็นพื้นที่ของอิติเมนต์

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

หรือ

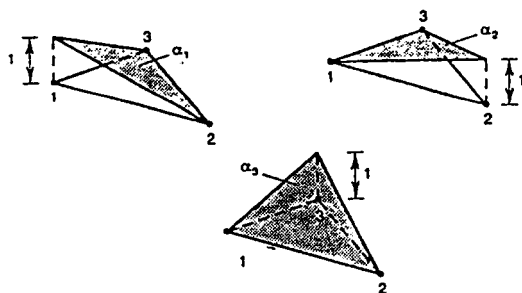
$$A = \frac{1}{2} [(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)] \quad (2.37)$$

ค่าของ A จะเป็นบวกถ้าการวนโหนดมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (เริ่มต้นจากโหนดใดก็ได้) ดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 2.8 สังเกตว่าสมการที่ 2.35 ให้ค่าศักย์ค่าไฟฟ้า ณ จุด (x, y) ใดๆ ภายในอิติเมนต์ที่รู้ค่าศักย์ค่าไฟฟ้าที่มุมของมัน สิ่งนี้เองที่ต่างจาก finite difference method เนื่องจากรู้ค่าเฉพาะ grid point เท่านั้น และข้อสังเกตอีกอย่างคือ ค่า α เป็นฟังก์ชันการประมาณภายในแบบเชิงเส้น เรียกว่า element shape function ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

$$\alpha_i(x_j, y_j) = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (2.38)a.$$

$$\sum_{i=1}^3 \alpha_i(x, y) = 1 \quad (2.38)b.$$

ตัวอย่างของ Shape Function แสดงให้ป็นดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 แสดง Shape Function α_1 , α_2 และ α_3 ของอิติเมนต์รูปสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานต่อหนึ่งหน่วยความยาวที่สัมพันธ์กับอิลิเมนต์ e คือ

$$W_e = \frac{1}{2} \int \epsilon |\bar{E}|^2 dS = \frac{1}{2} \int \epsilon |\nabla V_e|^2 dS \quad (2.39)$$

เมื่อ สมมติให้บริเวณของปัญหาในลักษณะสองมิติที่พิจารณาไม่มีประจุอิสระ ($\rho_s = 0$) แต่จาก สมการที่ 2.35 พบว่า

$$\nabla V_e = \sum_{i=1}^3 V_{ei} \nabla \alpha_i \quad (2.40)$$

แทนสมการที่ 2.40 ลงในสมการที่ 2.39

$$W_e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \epsilon V_{ei} \left[\int \nabla \alpha_i \cdot \nabla \alpha_j dS \right] V_{ej} \quad (2.41)$$

ถ้านิยามให้เทอมที่อยู่ในวงเล็บเป็น

$$C_{ij}^{(e)} = \int \nabla \alpha_i \cdot \nabla \alpha_j dS \quad (2.42)$$

จะสามารถเขียนสมการที่ 2.41 ให้อยู่ในรูปเมตริกคือ

$$W_e = \frac{1}{2} \epsilon [V_e]^T [C^{(e)}] [V_e] \quad (2.43)$$

สับสคริปต์ T คือการทรานสโพสเมตริกซ์และ

$$[V_e] = \begin{bmatrix} V_{e1} \\ V_{e2} \\ V_{e3} \end{bmatrix} \quad (2.44) a.$$

และ

$$[C^{(e)}] = \begin{bmatrix} C^{(e)}_{11} & C^{(e)}_{12} & C^{(e)}_{13} \\ C^{(e)}_{21} & C^{(e)}_{22} & C^{(e)}_{23} \\ C^{(e)}_{31} & C^{(e)}_{32} & C^{(e)}_{33} \end{bmatrix} \quad (2.44) b.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริก $[C^{(e)}]$ นี้จะเรียกว่า เมตริกสัมประสิทธิ์ของอิลิเมนต์ (stiffness matrix) สมาชิก $C^{(e)}_{ij}$ ของเมตริกสัมประสิทธิ์อาจจะถูกพิจารณาเป็นการจับคู่ระหว่างโหนด i และ j โดยหาค่าได้จากสมการที่ 2.40 และ สมการที่ 2.38 ตัวอย่างเช่น

$$\begin{aligned} C^{(e)}_{12} &= \int \nabla \alpha_1 \cdot \nabla \alpha_2 dS \\ &= \frac{1}{4A^2} [(y_2 - y_3)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_2)(x_1 - x_3)] \int dS \\ &= \frac{1}{4A} [(y_2 - y_3)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_2)(x_1 - x_3)] \end{aligned} \quad (2.45) \text{ a.}$$

$$C^{(e)}_{13} = \frac{1}{4A} [(y_2 - y_3)(y_1 - y_2) + (x_3 - x_2)(x_2 - x_1)] \quad (2.45) \text{ b.}$$

$$C^{(e)}_{23} = \frac{1}{4A} [(y_3 - y_1)(y_1 - y_2) + (x_1 - x_3)(x_2 - x_1)] \quad (2.45) \text{ c.}$$

$$C^{(e)}_{11} = \frac{1}{4A} [(y_2 - y_3)^2 + (x_3 - x_2)^2] \quad (2.45) \text{ d.}$$

$$C^{(e)}_{22} = \frac{1}{4A} [(y_3 - y_1)^2 + (x_1 - x_3)^2] \quad (2.45) \text{ e.}$$

$$C^{(e)}_{33} = \frac{1}{4A} [(y_1 - y_2)^2 + (x_2 - x_1)^2] \quad (2.45) \text{ f.}$$

และ

$$C^{(e)}_{21} = \frac{1}{4A} [(y_1 - y_2)^2 + (x_2 - x_1)^2] \quad (2.46)$$

2.6.3 การรวมอิลิเมนต์เป็นขอบเขตของปัญหาดังเดิม

จากการเริ่มพิจารณาในอิลิเมนต์พื้นฐานดังกล่าวข้างต้นขั้นตอนต่อไป คือการรวมอิลิเมนต์เหล่านั้นกลับเป็นปัญหาทั้งหมดที่พิจารณาในตอนเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่งพลังงานที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการรวมอิลิเมนต์ คือ

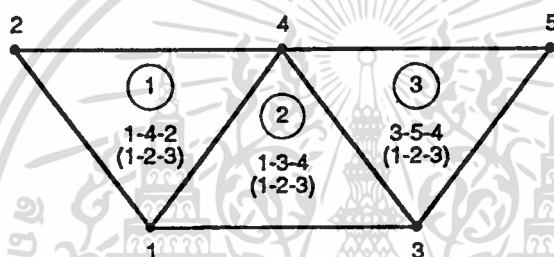
$$W = \sum_{e=1}^N W_e = \frac{1}{2} \varepsilon [V_e]^T [C] [V] \quad (2.47)$$

เมื่อ

$$[V] = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n เป็นจำนวนโหนด, N เป็นจำนวนอิเลเมนต์และ $[C]$ เรียกว่า global coefficient matrix ซึ่งเป็นการรวมของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ของอิเลเมนต์ย่อยๆเข้าด้วยกัน กระบวนการซึ่ง element coefficient matrix แต่ละตัวถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้าง global coefficient matrix นั้นจะแสดงเป็นตัวอย่างดังรูปที่ 2.10 พิจารณา finite element mesh ซึ่งประกอบด้วย อิเลเมนต์ 3 ชิ้นดังรูป ตัวเลข node 1,2,3,4 และ 5 เป็น global node และ node $i-j-k$ เรียกว่า local node ซึ่งก็คือ node 1-2-3 ในรูปที่ 2.8 นั่นเอง แบบ local numbering ซึ่งคือ 1-2-3 ในรูปที่ 2.8 ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10 ในอิเลเมนต์ที่ 3 การนับแบบ local numbering คือ 3-5-4 เทียบกับ 1-2-3 ในรูปที่ 2.8 สังเกตว่า local numbering จะลำดับ โดยเริ่มจากโหนดใด ๆ ของอิเลเมนต์แล้วนับทวนเข็มนาฬิกา สำหรับอิเลเมนต์ที่ 3 สามารถเลือก 4-3-5 แทน 3-5-4 ก็ได้ ดังนั้นจะเห็นว่าการลำดับตัวเลขไม่ได้มีลักษณะเดียวแต่มีข้อจำกัดว่าต้องเป็นการลำดับในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา สมมติให้ใช้ตัวเลขดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การรวม 3 อิเลเมนต์เข้าด้วยกัน ; $i-j-k$ เป็นการระบุโหนด จะได้ global coefficient matrix จาก

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

ซึ่งจะได้เมตริก 5 x 5 เนื่องจากรูปที่ 2.9 มีโหนดทั้งหมด 5 โหนด ($n=5$) เนื่องจากดังกล่าวมาแล้วว่า C_{ij} เป็นการจับคู่ระหว่างโหนด i และ โหนด j ค่าของ C_{ij} สามารถหาได้เนื่องจากข้อเท็จจริงที่ว่า การกระจายของศักย์ค่าไฟฟ้าต้องมีค่าต่อเนื่องตลอด interelement boundary องค์ประกอบที่ตำแหน่ง i, j ใดๆ ใน $[C]$ มาจากทุกๆ อิเลเมนต์ที่มีโหนด i, j ตัวอย่างในรูปที่ 2.10 อิเลเมนต์ที่ 1 และ 2 มีโหนดที่ร่วมกันอยู่คือ โหนด 1 ดังนั้น

$$C_{11} = C^{(1)}_{11} + C^{(2)}_{11}. \quad (2.50)a.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโหนด 2 เป็นของอิเลเมนต์ 1 เท่านั้น

$$C_{22} = C^{(1)}_{33}. \quad (2.50) b.$$

โหนด 4 ประกอบด้วยอิเลเมนต์ 1, 2, 3 ดังนั้น

$$C_{44} = C^{(1)}_{22} + C^{(2)}_{33} + C^{(3)}_{33} \quad (2.50) c.$$

โหนด 1 และ 4 เป็นอิเลเมนต์ 1 และ 2 พร้อมๆ กัน

$$C_{14} = C_{41} = C^{(1)}_{12} + C^{(2)}_{13} \quad (2.50) d.$$

เมื่อไม่มีการจับคู่(หรือต่อถึงกันโดยตรง) ระหว่างโหนด 2 และ 3

$$C_{23} = C_{32} = 0 \quad (2.50) e.$$

ทำเช่นนี้ต่อเนื่องกันไป จะได้เทอมต่างๆ ใน global coefficient matrix จากรูปที่ 2.10 คือ

$$[C] = \begin{bmatrix} C^{(1)}_{11} + C^{(2)}_{11} & C^{(3)}_{11} & C^{(2)}_{12} & C^{(1)}_{12} + C^{(2)}_{13} & 0 \\ C^{(1)}_{31} & C^{(1)}_{33} & 0 & C^{(1)}_{32} & 0 \\ C^{(2)}_{21} & 0 & C^{(2)}_{22} + C^{(3)}_{11} & C^{(2)}_{23} + C^{(3)}_{13} & C^{(3)}_{12} \\ C^{(1)}_{21} + C^{(2)}_{31} & C^{(1)}_{23} & C^{(2)}_{32} + C^{(3)}_{31} & C^{(1)}_{22} + C^{(2)}_{33} + C^{(3)}_{33} & C^{(3)}_{32} \\ 0 & 0 & C^{(3)}_{21} & C^{(3)}_{23} & C^{(3)}_{22} \end{bmatrix}$$

สังเกตว่า element coefficient matrix มีการทับกัน ณ โหนดที่เชื่อมต่อกับอิเลเมนต์ และใน global coefficient matrix [C] มี 27 เทอม (ทุกๆ 3 อิเลเมนต์จะประกอบด้วย 9 เทอม) และมีคุณสมบัติของ [C] มีดังต่อไปนี้

- 1) จะเป็นเมตริกซ์สมมาตร ($C_{ij} = C_{ji}$) เหมือน element coefficient matrix
- 2) เมื่อ $C_{ij} = 0$ ถ้าไม่มีการจับคู่กันของโหนด i และ j เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ากรณีที่อิเลเมนต์มีจำนวนมากๆ [C] จะเบาบางลงเนื่องจากเทอมที่เป็นศูนย์มากขึ้น
- 3) เป็น singular ($\det = 0$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การแก้ระบบสมการเพื่อหาค่าผลลัพธ์

สมการ Laplace's (หรือ Poisson's) จะสามารถหาคำตอบที่สอดคล้องกันได้เมื่อ พลังงานรวมที่อยู่ภายในขอบเขตของปัญหาที่พิจารณามีค่าน้อยที่สุดด้วยเหตุนี้ เมื่อเราทำการ partial derivatives ค่า W เทียบกับค่าศักย์คาไฟฟ้าที่ทุกๆ โหนดจะได้ว่า

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

หรือ

$$\frac{\partial W}{\partial V_k} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2.51)$$

ตัวอย่างเช่น การทำให้ $\frac{\partial W}{\partial V_k} = 0$ จะแทนสมการที่ 2.47 ลงในสมการที่ 2.51 แล้วทำการ partial derivative W เทียบกับ V_1 พบว่า

$$0 = \frac{\partial W}{\partial V_1} = 2V_1C_{11} + V_2C_{12} + V_3C_{13} + V_4C_{14} + V_5C_{15} \\ + V_2C_{21} + V_3C_{31} + V_4C_{41} + V_5C_{51}$$

หรือ

$$0 = V_1C_{11} + V_2C_{12} + V_3C_{13} + V_4C_{14} + V_5C_{15} \quad (2.52)$$

โดยทั่วไปแล้ว $\frac{\partial W}{\partial V_k}$ นำไปสู่

$$0 = \sum_{i=1}^n V_i C_{ik} \quad (2.53)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนโหนดภายใน mesh

สมการที่ 2.53 เป็นสมการสำหรับทุกๆ โหนด $k = 1, 2, \dots, n$ เราจะได้เซตของสมการที่เป็นคำตอบของปัญหาสามารถหาค่าของ $[V]^T = [V_1, V_2, \dots, V_n]$ ได้ มีวิธีหา 2 วิธีเหมือนกับที่ใช้ในการแก้ปัญหา Finite Difference Equation ได้จาก สมการลาปลาซ (หรือ ปัวซองต์)

A) Iteration Method : สมมติโหนด 0 ต่อเชื่อมกับ m โหนดซึ่งใช้แนวคิดจากสมการที่ 2.32

$$0 = V_0C_{00} + V_1C_{01} + V_2C_{02} + \dots + V_mC_{0m}$$

หรือ

$$V_0 = \frac{-1}{C_{00}} \sum_{k=1}^m V_k C_{0k} \quad (2.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ถ้ารู้ค่าศักย์ค่าไฟฟ้าที่โหนดที่ต่อกับโหนด 0 สามารถหาค่า V_0 ได้ด้วยสมการที่ 2.54 กระบวนการทำซ้ำ (iteration) เริ่มต้นโดยการตั้งค่าศักย์ค่าไฟฟ้าที่ Free Node (ตำแหน่งที่ไม่รู้ค่าศักย์ค่าไฟฟ้า) ให้เท่ากับ 0 หรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของศักย์ค่าไฟฟ้า

$$V_{ave} = \frac{1}{2}(V_{min} + V_{max}) \quad (2.55)$$

เมื่อ V_{max} เป็นค่าศักย์ค่าไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดที่ Fixed Node (ตำแหน่งที่รู้ค่าศักย์ค่าไฟฟ้า) ตามลำดับ ด้วยค่าเริ่มต้นเหล่านี้เอง ค่าของศักย์ค่าไฟฟ้าที่ free node จะถูกคำนวณโดยสมการที่ 2.51 เมื่อจบการ iteration ครั้งแรกเมื่อค่าใหม่จะถูกคำนวณออกมาเพื่อหาทุกๆ free node ค่าในตอนแรกจะกลายเป็นค่าเก่าสำหรับการ iteration ครั้งที่ 2 ขั้นตอนจะทำซ้ำไปจนกระทั่ง ค่าที่เปลี่ยนไประหว่างลำดับย่อยของการทำซ้ำมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้

B) Band Matrix Method : ถ้า free node ทั้งหมดถูกนับเป็นอันดับแรกแล้วจึงทำการนับ fixed node สมการที่ 2.47 สามารถเขียนเป็น

$$W = \frac{1}{2} \epsilon [V_f V_p] \begin{bmatrix} C_{ff} & C_{fp} \\ C_{pf} & C_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

เมื่อ f และ p คือ free node และ fixed node ตามลำดับ, V_p เป็นค่าคงที่(ศักย์ค่าไฟฟ้าที่รู้ค่า) จะทำการดิฟโดยเทียบกับ V_f เท่านั้น จากสมการที่ 2.51 ถึง 2.56 จะได้ว่า

$$[C_{ff} \quad C_{fp}] \begin{bmatrix} V_f \\ V_p \end{bmatrix} = 0$$

หรือ

$$[C_{ff}] [V_f] = -[C_{fp}] [V_p] \quad (2.57)$$

สมการที่ 2.57 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ

$$[A][V] = [B] \quad (2.58) a.$$

หรือ

$$[V] = [A]^{-1}[B] \quad (2.58) b.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $[V] = [V_f]$, $[A] = [C_{ff}]$, $[B] = -[C_{fp}][V_p]$ เมื่อ $[A]$ เป็น nonsingular ศักย์ดาไฟฟ้าที่ free node สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 2.58 ค่าของ $[V]$ ในสมการที่ 2.58a สามารถหาได้โดยใช้ Gaussian elimination technique นอกจากนี้ $[V]$ ในสมการที่ 2.58b ยังสามารถหาได้จากการใช้ matrix inversion ขนาดของเมตริกที่จะทำอินเวอร์สไม่ใหญ่เกินไป สังเกตสมการที่ 2.40 เป็นต้นมา คำตอบจำกัดใช้กับปัญหาสองมิติที่เกี่ยวข้องกับสมการลาปลาซ $\nabla^2 V = 0$ แนวคิดพื้นฐานที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปสู่การใช้งานที่เกี่ยวข้องกับสมการปัวซองส์ ($\nabla^2 V = -\rho/\epsilon$, $\nabla^2 \bar{A} = -\mu J$) หรือ สมการของคลื่น ($\nabla^2 \phi - y^2 \phi = 0$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

คุณลักษณะชุดคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

3.1 บทนำ

ในบทนี้ทำการศึกษาและออกแบบส่วนประกอบของเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เพื่อให้มีพิกัดการคัดที่ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีขีดความสามารถในการคัดแยกที่สูง โดยการนำทฤษฎีในบทที่ 2 นำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบส่วนประกอบในแต่ละส่วนแล้วนำมาประกอบรวมกันเป็นเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง มีการแบ่งออกเป็นหัวข้อหลักๆดังนี้

3.2 พิกัดอัตราการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว

ในการเลือกออกแบบพิกัดอัตราการคัดแยกของเครื่องได้ทำการศึกษาหาข้อมูลพบว่า ข้าวเปลือก 1 ตันเมื่อผ่านขบวนการแปรรูปในโรงสีจะได้ข้าวหัก 3 ส่วนหรือที่เรียกว่าปลายข้าวสาร ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ หรือ 100 กิโลกรัม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกพิกัดอัตราการคัดแยกของเครื่องที่พิกัด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเพื่อสะดวกในการนำไปติดตั้งใช้งาน ซึ่งการกำหนดอัตราการคัดแยกสามารถทำได้โดยการออกแบบปล่องปล่อยให้มีการไหลของปลายข้าวสาร 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยใช้ทฤษฎีในหัวข้อ 2.5.2 มาใช้ในการออกแบบ จากสมการที่ 2.28

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = v\rho A$$

เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่

$$v \text{ คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่} = 0.05 \text{ m/s}$$

$$\dot{m} \text{ คือ อัตราการไหลเชิงมวล เท่ากับ } 100 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

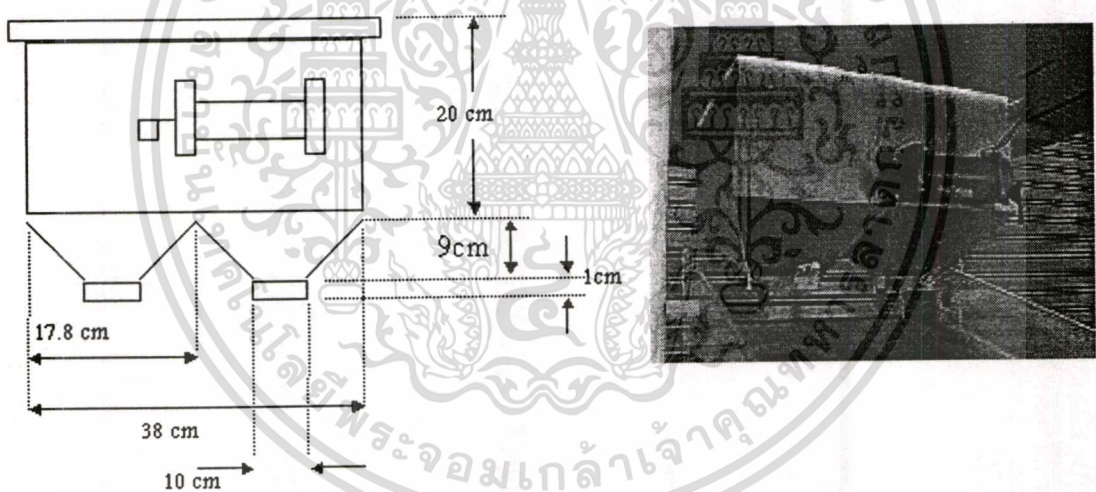
$$\rho \text{ คือ ความหนาแน่นของปลายข้าว} = 845.8 \text{ kg/m}^3$$

แทนค่าในสมการที่ 2.28 เพื่อหาพื้นที่หน้าตัด(A) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\dot{m}}{\rho v} \\
 &= \frac{100 \text{ kg/hr}}{845.8 \text{ kg/m}^3 \times 0.05 \text{ m/s}} \\
 &= 6.57 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\
 &= 6.57 \text{ cm}^2 \\
 \text{ระยะเพื่อ } 25 \% \\
 &= 6.57 \times 1.25 \\
 &= 8.21 \text{ cm}^2 \\
 &\approx 8 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้พื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยปลายข้าวสารประมาณ 8 cm^2 และนำมาออกแบบสร้างโดยมีความกว้างช่องปล่อยเท่ากับ $0.4 \times 10 \text{ cm}^2$ จำนวน 2 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยกล่องปล่อยปลายข้าวมีปริมาตร $20 \times 38 \times 30 \text{ cm}^3$



รูปที่ 3.1 กล่องปล่อยปลายข้าว

3.2.1 การทดสอบอัตราการไหลของกล่องปล่อยปลายข้าวสาร

จากการคำนวณจะได้พื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยปลายข้าวสารประมาณ 8 cm^2 ดังนั้นจึงได้จัดสร้างกล่องปล่อยปลายข้าวสารขึ้น ด้วยวิธีการพับขึ้นรูปจากแผ่นเหล็กที่มีความหนา 1 mm. มีปริมาตรภายในกล่อง $20 \times 38 \times 30 \text{ cm}^3$ โดยทำการออกแบบช่องปล่อยปลายข้าวสารจำนวน 2 ช่อง ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งช่องแต่ละช่องจะเป็นอิสระกัน มีความยาวของช่องๆละ 10 cm. สามารถปรับความกว้างของช่องปล่อยแต่ละช่องได้สูงสุด 2 cm. จากนั้นนำมาทดสอบหาพื้นที่ของช่องปล่อยปลายข้าวที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถปล่อยปลายข้าวสารให้ได้ 100 kg/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปลายข้าวสาร 5 kg
2. นาฬิกาจับเวลาดิจิตอล
3. ไม้บรรทัด
4. ถังรองรับปลายข้าว

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับช่องปล่อยปลายข้าวทั้ง 2 ช่องให้มีความกว้างเริ่มต้น 3 mm. เท่ากัน โดยใช้ไม้บรรทัดเป็นตัววัด
2. นำปลายข้าวสารที่เตรียมไว้ เทลงไปในกล่องปล่อยปลายข้าว พร้อมจับเวลา
3. รอจนปลายข้าวไหลออกจากกล่องหมด แล้วหยุดเวลา บันทึกผล
4. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความกว้างของช่องปล่อย ที่ 4 mm., 5mm., 6 mm., 7 mm., 8 mm., 9 mm. และ 10 mm. ตามลำดับ
5. เมื่อทดสอบจนครบแล้ว ทำการคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลที่ระยะความกว้างของช่องปล่อยปลายข้าวที่ระยะต่างๆ จากการเทียบสัดส่วน

$$\text{อัตราการไหล} = \left\{ \text{ปลายข้าว } 5 \text{ (kg)} / \text{เวลาที่ใช้ (นาที)} \right\} \times 60 \quad \text{kg/hr}$$

ผลการทดสอบอัตราการไหลของกล่องปล่อยปลายข้าว

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบการปรับความกว้างช่องปล่อยปลายข้าวสาร

ปริมาณปลายข้าว (kg.)	ขนาดช่องปล่อย (mm.)	เวลา (minute)	อัตราการไหล (kg/hr)
5	(100 x 3) x 2	6.12	49.02
5	(100 x 4) x 2	3.05	98.36
5	(100 x 5) x 2	2.35	127.66
5	(100 x 6) x 2	1.52	197.37
5	(100 x 7) x 2	1.24	241.94
5	(100 x 8) x 2	0.56	283.02
5	(100 x 9) x 2	0.32	365.85
5	(100 x 10) x 2	0.14	468.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

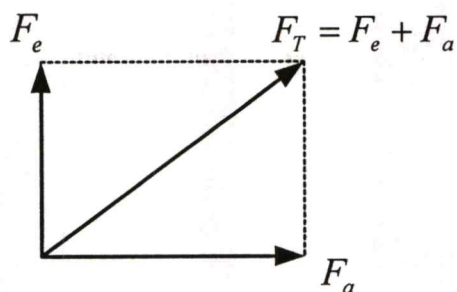
จากการทดสอบพบว่าอัตราการไหลของปลายข้าวสาร สามารถกำหนดได้โดยการปรับความกว้างของช่องปล่อยปลายข้าวสารทั้ง 2 ช่อง ถ้าต้องการให้มีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ทำการปรับช่องปล่อยให้กว้างขึ้นหรือต้องการให้มีอัตราการไหลที่น้อยลง โดยการปรับช่องปล่อยให้แคบลง จากผลการทดสอบ อัตราการไหลของปลายข้าวสารที่ระดับ 100 kg/hr ช่องปล่อยมีความกว้างอยู่ในช่วง 4 - 5 mm. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงการคำนวณและการออกแบบข้างต้น ดังนั้นเลือกปรับความกว้างของช่องปล่อยปลายข้าวสาร เท่ากับ $0.4 \times 10 \text{ cm}^2$ ทั้ง 2 ช่อง เนื่องจากมีอัตราการไหลของปลายข้าวสารใกล้เคียง 100 kg./hr. มากกว่าที่ความกว้าง 5 mm.

3.3 การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์สร้างสนามไฟฟ้า

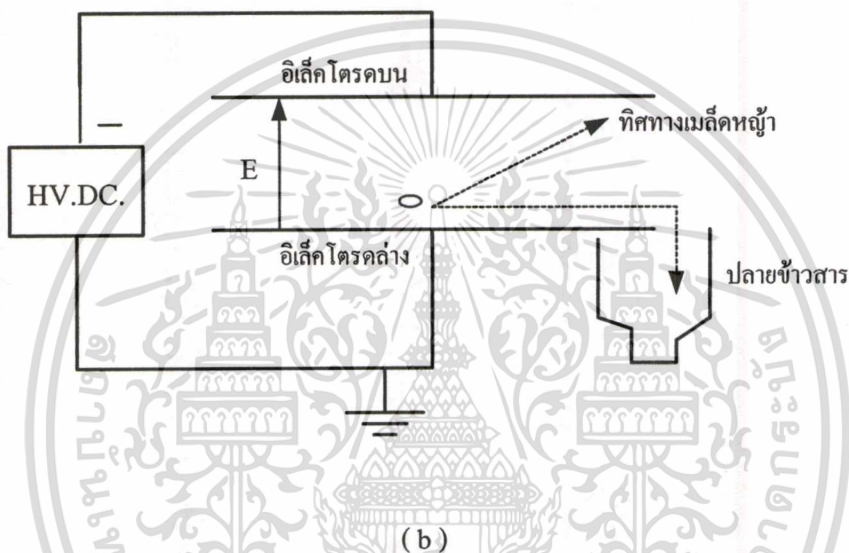
เทคนิคการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้สนามไฟฟ้า ได้นำทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง[1],[2]และทฤษฎีทางด้านฟิสิกส์[3] รวมถึงหลักการเกิดไฟฟ้าสถิตมาใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องจักร โดยการทำงานจะใช้แรงของสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดยกเมล็ดหญ้าให้มีทิศทางเบี่ยงเบนออกจากปลายข้าว โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงขั้วลบ ให้กับแผ่นอิเล็กโทรดบนและต่อแผ่นอิเล็กโทรดต่างกับกราวด์ ซึ่งจะทำให้แรงสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางจากศักย์ไฟฟ้าที่สูงไปยังศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำ

การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์สร้างสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการคัดแยกเมล็ดหญ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการศึกษาแรงที่เกี่ยวข้องกันในการยกเมล็ดหญ้าให้แยกตัวออกจากปลายข้าว จากทฤษฎีด้านฟิสิกส์การเคลื่อนที่ของวัตถุ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์มีขนาดและทิศทาง วัตถุเคลื่อนที่ได้เมื่อมีแรงมากระทำกับวัตถุนั้น วัตถุจะมีความเร่งและเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงลัพธ์ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของแรงลัพธ์และทิศทางที่ต้องการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืชเป็นผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงทั้งสอง

หลักการคัดแยกโดยอาศัยแรงของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากแผ่นอิเล็กโทรดแบบระนาบเมื่อปลายข้าวสารที่มีเมล็ดหญ้าปะปนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น แรงของสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อเมล็ดหญ้าให้แยกตัวออกจากปลายข้าวและเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าไปยังปล่องสำหรับทิ้ง แสดงดังรูปที่ 3.2



(a)



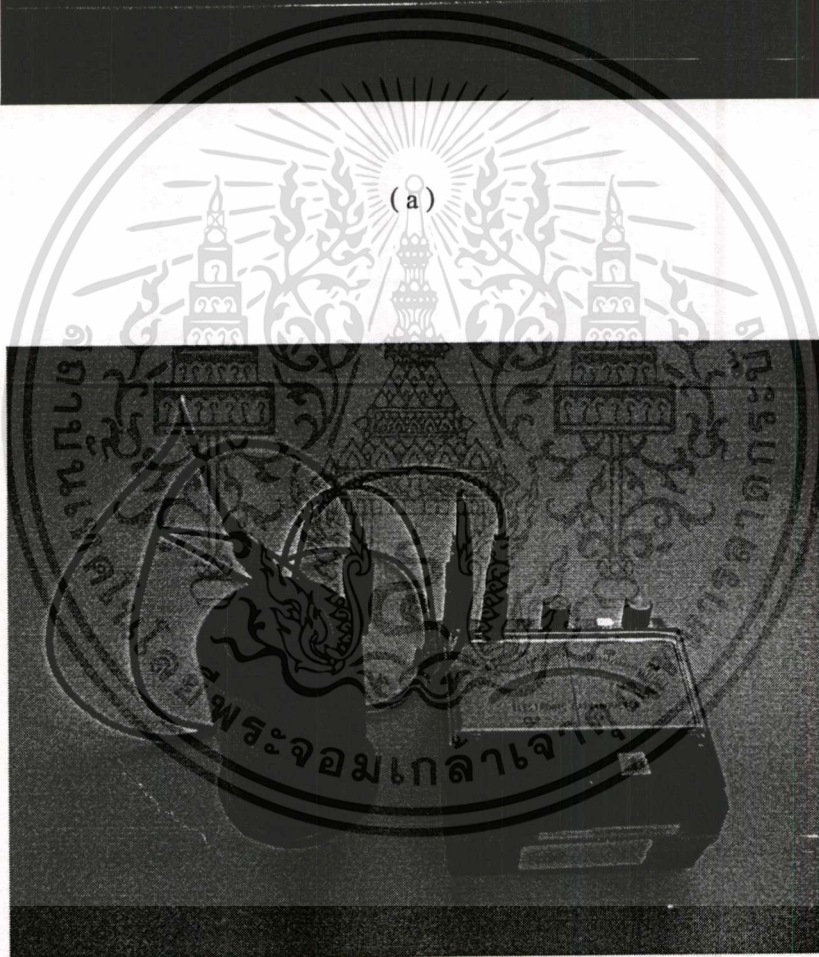
(b)

รูปที่ 3.2 (a) การรวมแรงทางเวกเตอร์

(b) หลักการของเทคนิคการคัดเมล็ดหญาด้วยสนามไฟฟ้า

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติของเมล็ดพืช

วิทยานิพนธ์ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของเมล็ดปลายข้าวสารและคุณสมบัติเมล็ดหญาเพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบอิล็กโตรค และแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นในการทดสอบ โดยนำเมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิด มาทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง C Tan 0 (Tettex 2809a) และหลักการวัดค่าประจุไฟฟ้าแบบ Faraday Ice Pail ซึ่งวิธีการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก. โดยหาค่าคาปาซิแตนซ์ของเมล็ดพืชทั้งสองชนิดแล้วทำการคำนวณกลับเพื่อหาค่าประจุ (q) ของเมล็ดพืช และหาค่า permittivity (ϵ) ได้ค่าตามตารางที่ 3.1

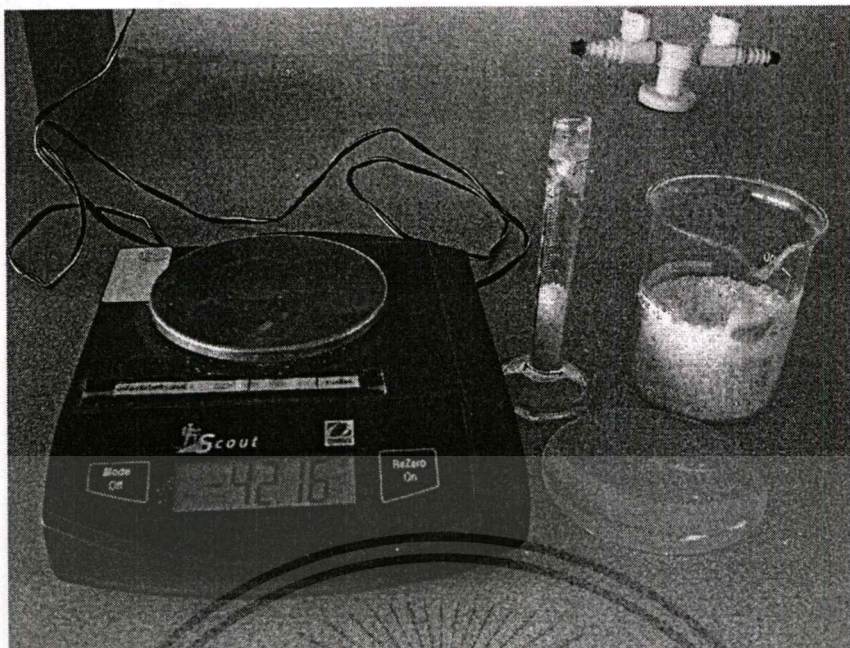


(b)

รูปที่ 3.3 (a) การทดสอบโดยใช้เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a)

(b) การทดสอบโดยใช้หลักการวัดค่าประจุไฟฟ้าแบบ Faraday Ice Pail

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักของเมล็ดพืช

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเมล็ดพืช

วัสดุ	ค่าประจุของเมล็ดพืชต่อเมล็ด (p C)		ค่า	ความหนาแน่น	น้ำหนักของเมล็ด
	C Tan δ (Tettex 2809a)	Faraday Ice Pail	Permittivity (ϵ_r)	kg/m ³	พืชต่อเมล็ด (g)
ปลายข้าว	0.011	0.01	≈ 5.11	845.8	0.008
เมล็คหูก้า	0.029	0.03	≈ 4.47	-	0.003

จากการทดสอบหาคุณสมบัติของเมล็ดพืชพบว่าเมล็คปลายข้าวมีน้ำหนักมากกว่าเมล็คหูก้าประมาณ 3 เท่า แต่มีค่าประจุไฟฟ้าต่อเมล็ดน้อยกว่าเมล็คหูก้า ประมาณ 3 เท่า จากข้อมูลเบื้องต้นทำให้สามารถใช้ในการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับคัดแยก ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.3.1 การเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับใช้งาน

เทคนิคการคัดเมล็คหูก้าด้วยสนามไฟฟ้าเป็นการใช้แรงสนามไฟฟ้าในการยกเมล็คหูก้าให้แยกตัวออกจากปลายข้าวสารและเคลื่อนที่ในทิศทางของสนามไฟฟ้าในทิศทางเดียว ดังนั้นจึงเลือกใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ลักษณะข้อของแรงดันไฟฟ้าสำหรับใช้งานเป็นขั้วแรงดันลบ-กราวนด์ เนื่องจากเหตุผลปัจจัยที่มีผลต่อการเบรกดาวนของก๊าซ ในเรื่องของผลของประจุค้างต่างขั้วแรงดัน ซึ่งแรงดันแบบ DC จะทนแรงดันเบรกดาวนได้สูงกว่าแบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้า จำเป็นต้องทราบระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ทำให้เมล็ดหญาเกิดปฏิกิริยาต่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อเป็นการกำหนดพิคคของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่ต้องการรวมถึงการฉนวนด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบเพื่อหาระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น เพื่อใช้ในการออกแบบลักษณะของอิเล็กทรอนิกส์และการฉนวนที่เหมาะสม

ดังนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่างพิจารณาจากความแตกต่างความสูงของเมล็ดหญาที่ปลายขั้วที่เหมาะสมเมื่อปล่อยเข้าอิเล็กทรอนิกส์อย่างอิสระ ซึ่งรูปร่างของเมล็ดหญาที่มีลักษณะมีเหลี่ยมซึ่งอาจจะเกิดลอยขึ้นจากการกระทบกับแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ด้านล่าง อาจทำให้กระเด็นออกไปพร้อมกับเมล็ดหญาได้ ดังนั้นเลือกระยะต่ำสุดที่ต้องไม่ทำให้ปลายขั้วกระเด็นออกไปได้ และไม่สูงมากเกินไปจะทำให้ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นในการสร้างสนามไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นปัญหาในการหาแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้ ซึ่งจากการทดสอบระยะที่เหมาะสม คือ 4 cm จึงเลือกใช้เป็นระยะแยกทดสอบ ซึ่งจากสมการที่ 2.2 สามารถทนแรงดันเบรกควานี้ได้ประมาณ 100 kV ที่ค่าความคงทน $E_{b(\text{air})} = 25 \text{ kV/cm}$

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

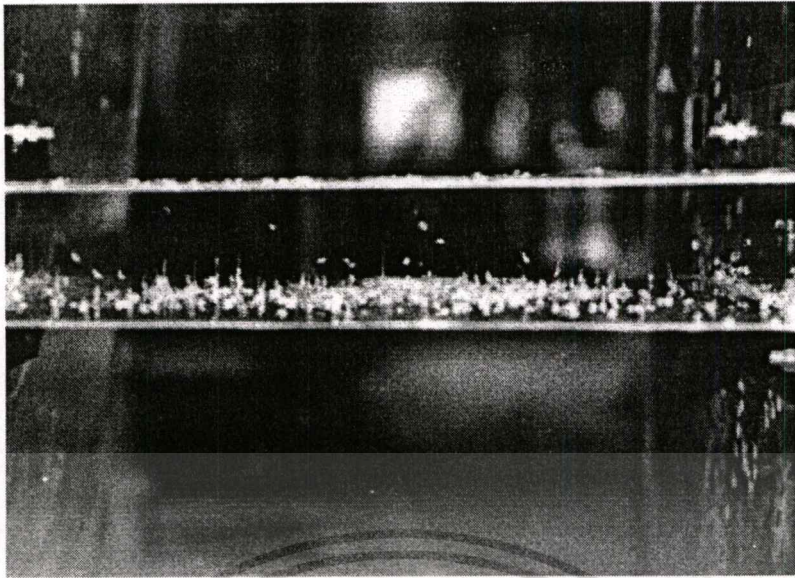
1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 300 kV_{dc}
2. เมล็ดหญาสำหรับการทดสอบ
3. แผ่นเพลทขนาด 40 × 50 cm² สำหรับใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 แผ่น

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ เท่ากับ 4 cm.
2. นำเมล็ดหญาไปวางไว้ในระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์บนและแผ่นล่าง
3. ติดตั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง โดยขั้วลบต่อกับแผ่นอิเล็กทรอนิกส์บนและแผ่น

อิเล็กทรอนิกส์ด้านล่างต่อลงกราวด์

4. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์และสังเกตปฏิกิริยาของเมล็ดหญา
5. บันทึกแรงดันไฟฟ้าเมื่อเมล็ดหญาเริ่มขยับตัว



รูปที่ 3.5 การเริ่มขยับตัวของเมล็ดหญาโดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

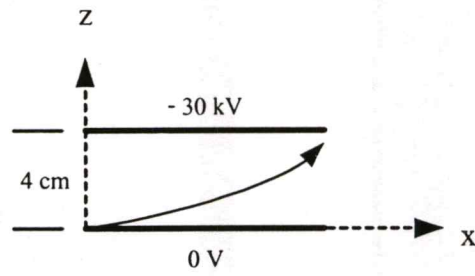
ผลการทดสอบหาระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น

จากการทดสอบ เมื่อเริ่มปรับแรงดันไฟฟ้าให้อิเล็กโตรดเพิ่มขึ้นและสังเกตปฏิกิริยาของเมล็ดหญา พบว่าเมล็ดหญาเริ่มมีการขยับตัวที่ระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 30 kV และยกตัวลอยขึ้นเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 30 kV ขึ้นไป ซึ่งสามารถคำนวณค่าความเครียดสนามฟ้าได้จากสมการที่ 2.1 จะได้ค่าความเครียดสนามฟ้าเริ่มต้นที่ประมาณ 7.5 kV/cm ในการสร้างสนามไฟฟ้าในการยกเมล็ดหญาให้ลอยขึ้น ที่ระยะห่างของอิเล็กโตรดประมาณ 4 cm. ดังนั้นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จะป้อนให้อิเล็กโตรดต้องสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่า 30 kV

3.3.3 การออกแบบอิเล็กโตรดสร้างสนามไฟฟ้า

ในการออกแบบอิเล็กโตรดสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ มีลักษณะของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ทำให้การกระจายของแรงสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอและเท่ากัน ดังนั้นเมื่อเมล็ดหญาที่มีมวลและประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้า จะถูกแรงกระทำให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า จากหัวข้อที่ 2.4 สามารถคำนวณหาระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ที่เมล็ดหญาได้ในที่นี้ กำหนดระยะห่างของอิเล็กโตรดเท่ากับ 4 cm มีความเข้มสนามไฟฟ้า 7.5 kV/cm ถ้าต้องการยกเมล็ดหญาให้มีความสูงเท่ากับ 4 cm กำหนดให้ตำแหน่งเริ่มต้นของเมล็ดหญาคือ $x_0 = y_0 = z_0 = 0$ และความเร็วเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าของเมล็ดหญา คือ $v_{0x} = 4 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ และ $v_{0y} = v_{0z} = 0$ จากสมการที่ 2.17 สามารถคำนวณหาระยะทางและเวลาในการเคลื่อนย้ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$x = v_{0x}t$$

$$= 4 \times 10^{-2} t$$

$$z = \frac{qE_0}{2m} t^2$$

$$= \frac{0.03 \times 10^{-12} \times 7.5 \times 10^5}{2 \times 3 \times 10^{-6}} t^2$$

$$= 0.00375 t^2$$

กำจัดตัวแปร t จากทั้ง 2 สมการ คือ

$$t = \frac{x}{4 \times 10^{-2}}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$z = 0.00375 \left(\frac{x}{4 \times 10^{-2}} \right)^2$$

$$= \frac{0.00375}{0.0016} x^2$$

$$= 2.343 x^2$$

ดังนั้นต้องการยกเมฆีสี่สูง 4 cm ต้องใช้ระยะทางแนวแกน x เท่ากับ

$$x = \sqrt{\frac{0.04}{2.343}}$$

$$= \sqrt{0.01707}$$

$$= 0.1306 \quad \text{m}$$

$$\approx 13.06 \quad \text{cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณข้างต้นทำให้สามารถทราบถึงระยะทางในแนวระนาบที่ต้องใช้ในการเคลื่อนย้ายอนุภาคให้ลอยสูง 4 cm และลอยออกไปจากแผ่นอิเล็กโทโรด ซึ่งทำให้สามารถหาความยาวของแผ่นอิเล็กโทโรดบนที่เหมาะสมในการสร้างสนามไฟฟ้า เพื่อทำให้เมล็ดหยูที่ปนมากับปลายข้าว เมื่อเข้ามาในสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น เกิดการลอยตัวแยกออกจากปลายข้าวมีความสูงแตกต่างกัน 4 cm สำหรับใช้เป็นตัวแยกสิ่งที่ต้องการทิ้งออกจากปลายข้าว และในขณะเดียวกันต้องไม่มีความยาวเกินไปจนทำให้สิ่งที่ถูกคัดทิ้งชนแผ่นอิเล็กโทโรดบนแล้วตกลงมาปนกับปลายข้าวอีก จากการคำนวณข้างต้นความยาวของแผ่นอิเล็กโทโรดบนต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 13 cm และไม่ควรเกินระยะที่คำนวณมากนัก ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการสร้างและใช้งาน

จากสมการที่ 2.17 มีตัวแปรที่มีผลต่อระยะความยาวของแผ่นอิเล็กโทโรดบนในการยกเมล็ดหยูให้สูงในระดับที่ต้องการ ดังนั้นได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรเหล่านั้น เพื่อพิจารณาประกอบ การสร้างชุดอิเล็กโทโรดสร้างสนามไฟฟ้าให้มีขีดความสามารถที่สูงและเหมาะสมในการใช้งาน โดยมีการศึกษาดังนี้

การทดสอบระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีผลต่อระยะทางการเคลื่อนที่แนวราบ

การสร้างสนามไฟฟ้า ตัวแปรที่มีความสำคัญในการเพิ่มขึ้นหรือลดลง คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้อิเล็กโทโรดที่มีระยะห่างคงที่ จากการทดสอบแรงดันเริ่มต้นที่ทำให้เมล็ดหยูลอยตัวอยู่ที่ประมาณ 30 kV ดังนั้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าลดลงและเพิ่มขึ้นจะมีผลอย่างไร ซึ่งพารามิเตอร์สนามไฟฟ้ามีผลต่อความยาวของแผ่นอิเล็กโทโรดบน สนามไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ชุดอิเล็กโทโรด ดังนั้นทดสอบปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ชุดอิเล็กโทโรด เพื่อดูผลของระยะทาง สำหรับการเคลื่อนย้ายเมล็ดหยูให้ลอยสูง 4 เซนติเมตร เพื่อใช้ในออกแบบอิเล็กโทโรดสร้างสนามไฟฟ้าให้มีขนาดที่เหมาะสมในการคัดแยกเมล็ดหยูได้ต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 60 kV_{dc}
2. เมล็ดหยูสำหรับการทดสอบ
3. ชุดอิเล็กโทโรดแผ่นเพลทขนาด 30 × 40 cm²

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับชุดทดสอบ มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทโรด 4 เซนติเมตร
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกับชุดทดสอบ
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดทดสอบ 15 kV
4. ปล่อยตัวอย่างทดสอบทีละเมล็ด ที่ความเร็ว 0.04 m/s

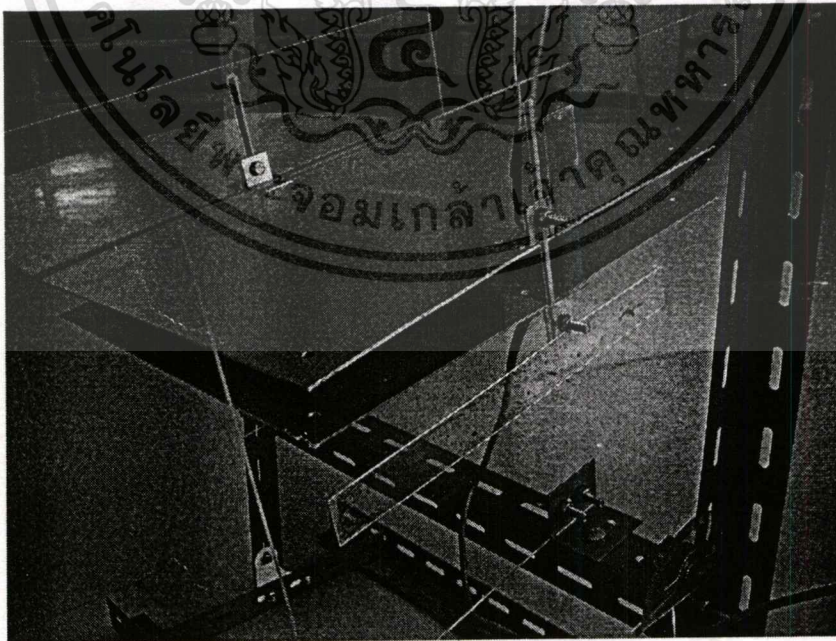
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สังเกตปฏิกิริยาของเมลต์หญาเมื่อเข้าสนามไฟฟ้า และระยะทางในแนวระนาบที่เมลต์หญาใช้ในการเคลื่อนที่ลอยถึงแผ่นอิเล็กโทรดบน บันทึกผลการทดสอบ(ตารางที่ ข.5)

6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3 – ข้อ 5 โดยปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น 20 kV, 30 kV และ 40 kV ตามลำดับ



(a)

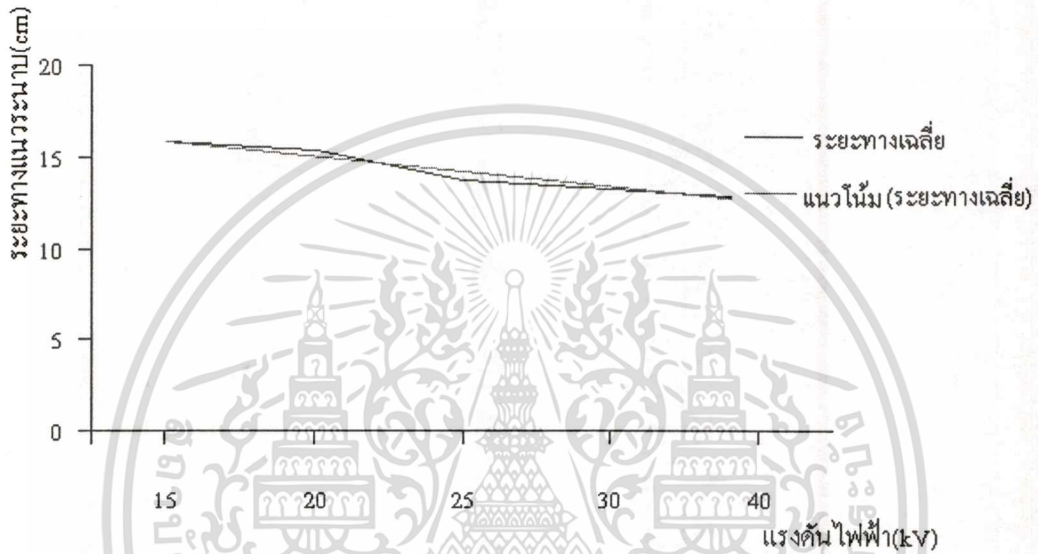


(b)

เอกสารรูปที่ 3.6 ชุดอิเล็กโทรดทดสอบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางแนวระนาบเฉลี่ย

ระดับแรงดันไฟฟ้า (kV)	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
15	15.80
20	15.35
30	13.20
40	12.80



รูปที่ 3.7 ผลการทดลองหาระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ที่มีผลต่อแรงสนามไฟฟ้าในการยกเมล็ดหญ้าให้ลอยขึ้น โดยถ้าระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นแรงสนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เป็นผลให้มุมของแรงลัพท์มีค่ามากขึ้น ทำให้ใช้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายเมล็ดหญ้าสั้นลง จากกราฟจะเห็นว่าความชันของกราฟมีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อย แสดงว่าผลของแรงดันไฟฟ้ามีผลไม่มากต่อการเปลี่ยนแปลงของความยาวแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งจากผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่ากำหนดระยะทางเคลื่อนย้ายเมล็ดหญ้า มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 13 cm จากการทดสอบสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับใช้งานให้มีขีดความสามารถที่สูงได้

การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีผลต่อระยะทางการเคลื่อนที่แนวราบ

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืชผ่านสนามไฟฟ้ามีความจำเป็นที่ต้องศึกษาเนื่องจากจะมีผลต่อเนื่องในด้านพิกัดอัตราการคัด นั่นคือ ต้องมีความเร็วที่เหมาะสมและสัมพันธ์กับอัตราการปล่อยเมล็ดพืชเข้าสนามไฟฟ้า เพื่อไม่ให้เกิดการหนาแน่นหรือบางเกินไป เมื่อพิจารณาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 2.17 พารามิเตอร์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดหญ้ามีผลต่อความยาวของอิเล็กโทรดบนในการสร้างสนามไฟฟ้า ซึ่งถ้าแรงสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้ชุดอิเล็กโทรดมีค่าคงที่ ความเร็วจะแปรผันตรงกับความยาวของแผ่นอิเล็กโทรด ดังนั้นได้ทดสอบปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดหญ้า เพื่อศึกษาผลต่อการเคลื่อนย้ายเมล็ดหญ้าให้ลอยสูง 4 เซนติเมตร เพื่อใช้ในพิจารณาเลือกความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเมล็ดหญ้า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 60 kV_{dc}
2. เมล็ดหญ้าสำหรับใช้ในการทดสอบ
3. ชุดอิเล็กโทรดแผ่นเพลทขนาด 30 × 40 cm²
4. นาฬิกาจับเวลา

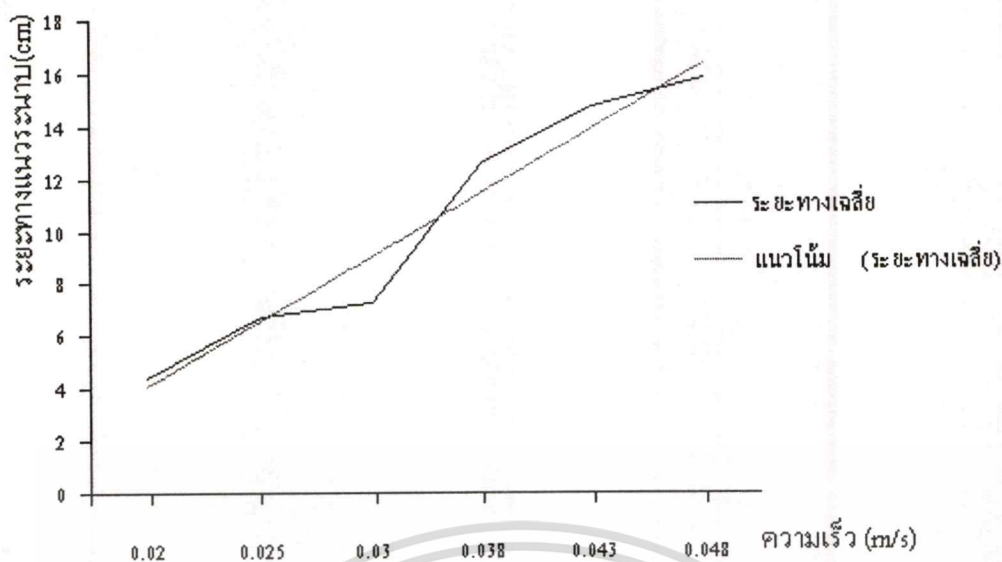
ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับชุดทดสอบ มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 4 เซนติเมตร
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกับชุดทดสอบ
3. ปรับมุมของชุดอิเล็กโทรดให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.02 m/s
4. จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดทดสอบ 30 kV
5. ปลดปล่อยตัวอย่างทดสอบที่ละเมล็ด
6. สังเกตปฏิกิริยาของเมล็ดหญ้าเมื่อเข้าสนามไฟฟ้า และระยะทางในแนวระนาบที่เมล็ดหญ้าใช้ในการเคลื่อนที่ลอยถึงแผ่นอิเล็กโทรดบน บันทึกผลการทดสอบ(ตารางที่ ข.6)
7. ทำการทดลองซ้ำข้อ3 – ข้อ6 โดยปรับความเร็วในการเคลื่อนที่เป็น 0.025 m/s, 0.03 m/s, 0.038 m/s, 0.043 m/s และ 0.048 m/s ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย

ความเร็วในการเคลื่อนที่ (m/s)	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
0.020	4.4
0.025	6.75
0.030	7.25
0.038	12.6
0.043	14.75
0.048	15.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีผลต่อระยะทางในการยกเมล็ดหญ้า โดยถ้าระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ แรงสนามไฟฟ้าจะคงที่ด้วย ความเร็วในการเคลื่อนย้ายเมล็ดหญ้าในแนวแกน z คงที่ เมื่อความเร็วในแนวระนาบมากขึ้น เป็นผลให้มุมของแรงลัพธ์มีค่าลดลง ทำให้ใช้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายเมล็ดหญ้ามามากขึ้นด้วย พิจารณาจากกราฟจะเห็นได้ว่าความชันของกราฟมีค่ามาก แสดงว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดหญ้าจะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิเล็กโทรดบนค่อนข้างมาก ดังนั้นในการพิจารณาเลือกความเร็วในการใช้งานไม่ควรให้ความเร็วต้นกับความเร็วปลายมีความแตกต่างกันมากนัก จะมีผลให้ความยาวแผ่นอิเล็กโทรดบนมีความยาวไม่เท่ากัน ซึ่งควรเลือกความเร็วที่เหมาะสมและมีสัมพันธ์กับพิกัดการคัตของเครื่อง จากผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.043 m/s ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 30 kV เมื่อเทียบกับการคำนวณข้างต้น จะมีระยะทางเคลื่อนย้ายเมล็ดหญ้า มีระยะทางประมาณ 14.75 cm สามารถใช้ในพิจารณาเลือกความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการคัตแยกเมล็ดหญ้า

การทดสอบผลของน้ำหนักที่มีผลต่อระยะทางการเคลื่อนที่แนวราบ

น้ำหนักของเมล็ดพืชเป็นอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อความยาวแผ่นอิเล็กโทรดบน น้ำหนักของเมล็ดหญ้าเฉลี่ยจะแตกต่างกับปลายข้าวประมาณ 2.5 เท่า ซึ่งเป็นความแตกต่างของเมล็ดพืชทั้งสอง ในกรณีนี้ทำการศึกษาถึงผลของน้ำหนักเมล็ดพืชต่อความยาวของอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า ซึ่งถ้าสนามไฟฟ้าและ ความเร็วมีค่าคงที่ น้ำหนักของเมล็ดพืชจะแปรผกผันกับความยาวของแผ่น

อิเล็กโทรมอน ดังนั้นได้ทดสอบผลของน้ำหนักเม็ล็ดพืชที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายเม็ล็ดหญ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสำหรับการคัดแยกเม็ล็ดหญ้าได้ต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

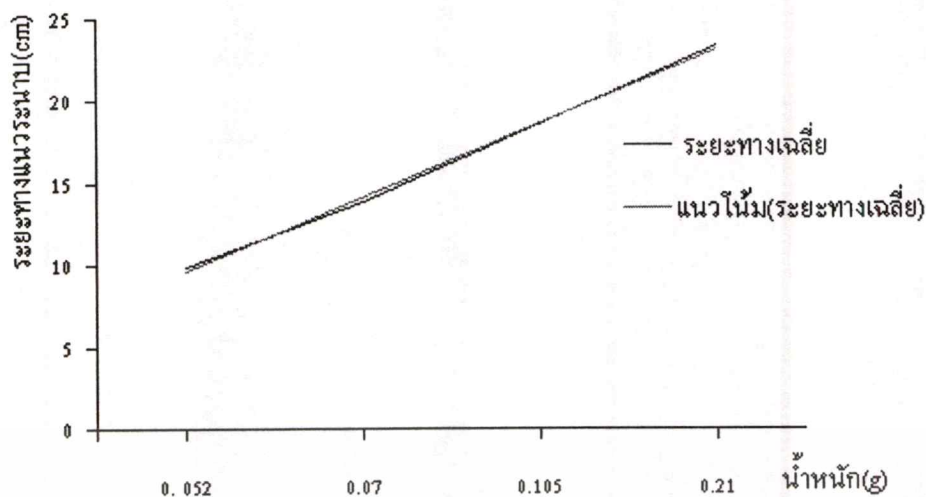
1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 60 kV_{dc}
2. เม็ล็ดพืชสำหรับใช้ในการทดสอบ
3. ชุดอิเล็กโทรมอนแผ่นเพลทขนาด 30 × 40 cm²
4. เครื่องชั่งดิจิตอล

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับชุดทดสอบ มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรมอน 4 เซนติเมตร
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกับชุดทดสอบ
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดทดสอบ 30 kV
4. ปล่อยตัวอย่างเม็ล็ดพืชทดสอบที่มีน้ำหนัก 0.052 g ที่ละเม็ล็ด
5. สังเกตปฏิกิริยาของเม็ล็ดหญ้าเมื่อเข้าสนามไฟฟ้า และระยะทางในแนวระนาบที่เม็ล็ดหญ้าใช้ในการเคลื่อนที่ลอยถึงแผ่นอิเล็กโทรมอน บันทึกผลการทดสอบ(ตารางที่ ข.7)
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3 – ข้อ 5 โดยปรับความเร็วในการเคลื่อนที่เป็น 0.07 g, 0.105 g, และ 0.21 g ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย

น้ำหนักเม็ล็ดพืช (g)	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
0.052	9.93
0.070	13.86
0.105	18.53
0.210	23.33



รูปที่ 3.9 ผลการทดสอบผลของน้ำหนักกับระยะทางแนวระนาบเฉลี่ย

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบผลของน้ำหนักเมล็ดพืชที่มีผลต่อระยะทางในการยกเมล็ดหญ้า โดยถ้าระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ แรงสนามไฟฟ้าจะคงที่ด้วย เมื่อน้ำหนักของเมล็ดพืชมีค่ามากขึ้นทำให้แรงในการเคลื่อนที่ตกของเมล็ดพืชเพิ่มขึ้น ทำให้มุมของแรงลัพธ์มีค่าลดลง จะทำให้ใช้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายเมล็ดหญ้ามามากขึ้น จากกราฟจะเห็นว่ากราฟมีความชันค่อนข้างมาก แสดงว่าผลของน้ำหนักเมล็ดพืชมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นอิเล็กโทรดบนมาก ดังนั้นถ้าเมล็ดพืชยังมีน้ำหนักมากความยาวของแผ่นอิเล็กโทรดก็จะยาวมากขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าน้ำหนักของเมล็ดหญ้าที่มีน้ำหนักมากทำให้ใช้ระยะทางเพิ่มมากขึ้นที่ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน

จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่และน้ำหนักของเมล็ดพืชมีผลต่อความยาวของแผ่นอิเล็กโทรดบนในการสร้างสนามไฟฟ้าค่อนข้างมาก ส่วนผลของแรงดันไฟฟ้าจะมีผลน้อย ซึ่งการพิจารณาในการออกแบบชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้าสิ่งที่จะต้องพิจารณาอีก คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืช ควรมีความเร็วที่เหมาะสมสัมพันธ์กับศักย์อัตราการค้ำของเครื่อง มีความเร็วไม่สูงมากนักและไม่ช้าเกินไปจนทำให้เกิดความหนาแน่นของเมล็ดพืชในสนามไฟฟ้า ความเร็วต้นและความเร็วปลายของเมล็ดพืชในขณะที่อยู่ในสนามไฟฟ้าไม่ควรแตกต่างกันมากนัก ซึ่งจะมีผลต่อความยาวของอิเล็กโทรดบน ดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว น้ำหนักของเมล็ดพืชก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อความยาวอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า แต่น้ำหนักของเมล็ดพืชนั้นจะเป็นค่าคงที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง การออกแบบใช้น้ำหนักของเมล็ดหญ้าซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าปลายข้าว ดังนั้นปลายข้าวจะไม่สามารถลดยอกจากชุดอิเล็กโทรดตามเมล็ดหญ้าออกไปได้ ส่วนแรงดันไฟฟ้าจากผลการทดสอบจะเห็นว่ามีส่วนน้อยต่อความยาวของอิเล็กโทรดบน ดังนั้น จึงเหมาะสมในการใช้ปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ โดยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะต้องสามารถจ่ายแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 30 kV และปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้ แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าได้ละเอียดมากจะทำให้ปรับระดับขีดความสามารถในการคัดแยกได้ละเอียดขึ้นด้วย

3.3.4 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์

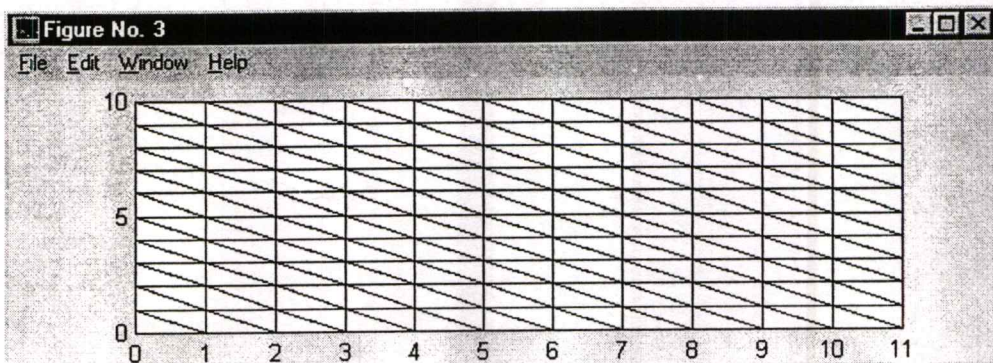
การออกแบบแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ให้เหมาะสมกับการคัดแยกเมล็ดหญ้า ในหัวข้อที่ 3.3.3 สามารถหาความยาวของอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าได้ ในหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบลักษณะการติดตั้งชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมในการคัดแยก โดยลักษณะอิเล็กทรอนิกส์เป็นแบบแผ่นระนาบวางขนานกัน มีลักษณะแบบพื้นฐานเพื่อให้มีความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า และมีความเป็นไปได้ในการใช้งาน โดยนำวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์ ออกแบบลักษณะการติดตั้งชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าให้เหมาะสมสำหรับการคัดแยกและมีขีดความสามารถที่สูง

3.3.4.1 การวิเคราะห์แนวแรงสนามไฟฟ้าในการคัดแยกด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์แนวแรงของสนามไฟฟ้า โดยจะเป็นการหาการกระจายของระดับแรงดันที่ป้อน, ทิศทางของแนวแรงและขนาดของแรงที่กระทำกับเมล็ดหญ้าที่เคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า สมการที่นำมาใช้จะเป็นแบบ 2 มิติและไม่คำนึงถึงผลของประจุค้ำจาง($\rho_s=0$) โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการคำนวณ ในการใช้โปรแกรมไฟไนท์อิลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์แนวแรงสนามไฟฟ้าได้ทำการแบ่งอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้ามาพิจารณาโดยใช้หลักการสมมาตรกัน(Symmetry)

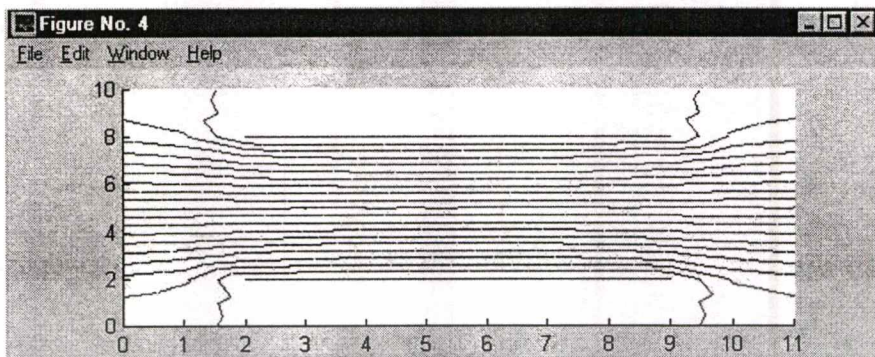
3.3.4.2 ลักษณะการกระจายระดับแรงดันไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้า

การวิเคราะห์หาการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าภายใต้อิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ (FEM) แบ่งโครงสร้างของชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้า ออกเป็นอิลิเมนต์ย่อย 220 อิลิเมนต์ มีจำนวนโหนดเป็น 110 โหนด สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.10



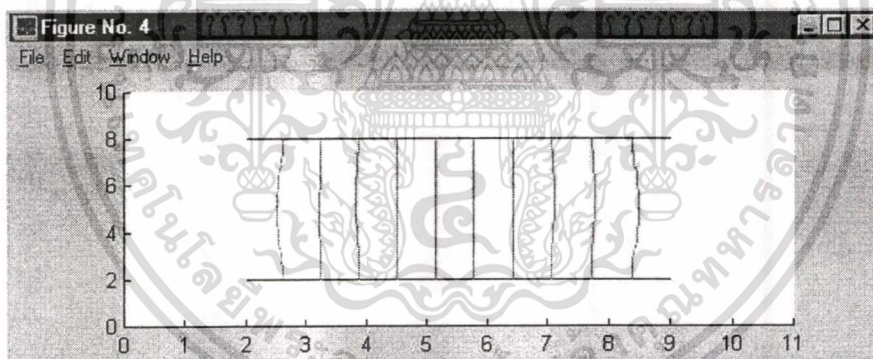
รูปที่ 3.10 การแบ่งอิลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ FEM ลักษณะอิเล็กทรอนิกส์แบบระนาบ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาและเผยแพร่ในวงวิชาการเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) หาการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าภายในตู้อิเล็กทรอนิกส์แบบระนาบพื้นฐาน โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 30 kV ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การกระจายระดับแรงดันไฟฟ้าของชุดอิเล็กทรอนิกส์แบบระนาบพื้นฐาน

จากผลลัพธ์ของการหาการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าจะถูกนำไปใช้ในการหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์[9]และทิศทางของแนวแรงที่กระทำบนเมล็ดหญาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถแสดงทิศทางของแนวแรงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ทิศทางแนวแรงสนามไฟฟ้าวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

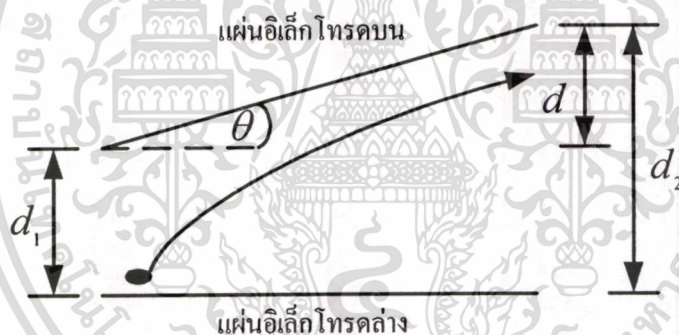
จากการใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์ โดยนำผลลัพธ์จากการคำนวณหาการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้สมการตาม [9]ในการหาแรงลัพธ์ที่กระทำกับเมล็ดหญาจากสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น พบว่าอิเล็กทรอนิกส์แบบระนาบพื้นฐานจะมีค่าความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากันทุกๆตำแหน่งระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ เป็นผลให้แรงสนามไฟฟ้าที่กระทำกับเมล็ดหญาให้มีทิศทางการเคลื่อนที่ด้วยแรงคงที่เท่ากันทุกตำแหน่งในสนามไฟฟ้าด้วย โดยมีค่าประมาณ 0.57×10^{-4} N ทำให้เกิดการชนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนด้วยแรงคงที่และเกิดการสะท้อนกลับไปกลับมาจะทำให้เมล็ดหญ้าตกลงมาเจือปนอีกทำให้ไม่เหมาะสมในการคัดแยก

ดังนั้นการออกแบบอิลีกโทรคสร้างสนามไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการคัดแยก ต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ คือ ประการแรก เมื่อเมล็ดหญ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้า แรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำกับเมล็ดหญ้าจะต้องมีแรงมากพอที่ทำให้เมล็ดหญ้าเกิดการลอยตัวขึ้นแยกออกจากปลายข้าว ในขณะที่เดียวกันแรงสนามไฟฟ้าเดียวกันนี้ต้องไม่ทำให้เมล็ดปลายข้าวเกิดการเบี่ยงเบนทิศทางจากเดิม จากนั้นเมื่อเมล็ดหญ้าแยกออกไปแล้วจะต้องไม่ชนแผ่นอิลีกโทรคบนและตกลงมาปนอีก นั่นคือ แรงของสนามไฟฟ้าจะต้องลดลงจากแรงในช่วงแรก เพื่อไม่ให้เมล็ดหญ้าชนแผ่นอิลีกโทรคบนด้วยแรงเท่าเดิม ประการที่สอง ชุดอิลีกโทรคต้องมีระยะห่างกันพอสมควร เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการแยกตัวของเมล็ดหญ้ายกกับปลายข้าว และต้องมีช่องสำหรับให้เมล็ดหญ้าเคลื่อนที่ออกไปยังปล่องทิ้งได้สะดวก

จากเหตุผลข้างต้น ทำการออกแบบอิลีกโทรคสร้างสนามไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการคัดแยก โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.13

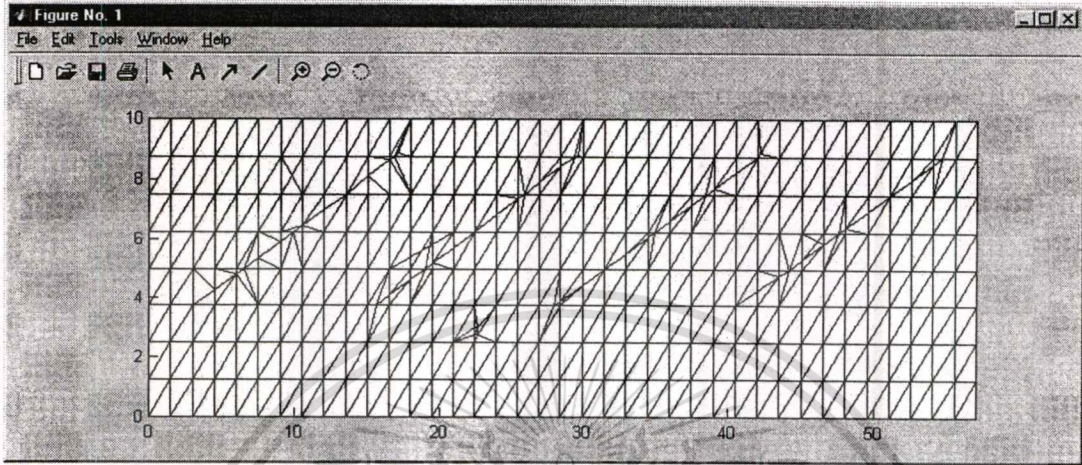


รูปที่ 3.13 ลักษณะแผ่นอิลีกโทรค

เมื่อ d_1 คือ ระยะห่างช่วงต้น, d_2 คือ ระยะห่างช่วงปลาย, d คือ ระยะช่องสำหรับเมล็ดหญ้าเคลื่อนที่ออก และ θ คือ มุมของแผ่นอิลีกโทรคบน จากรูปที่ 3.13 จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในช่วง d_1 จะมีความเครียดสนามไฟฟ้าที่สูงกว่า ช่วง d_2 เนื่องจากระยะห่างของอิลีกโทรคเพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงสนามไฟฟ้าในช่วง d_1 มีค่ามากพอที่จะยกเมล็ดหญ้าให้ลอยขึ้นและเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าและแรงสนามไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเข้าใกล้ระยะ d_2 จากเหตุผลข้างต้นทำให้เมล็ดหญ้าเริ่มตกและออกจากอิลีกโทรคทางช่อง d ไปยังปล่องทิ้ง

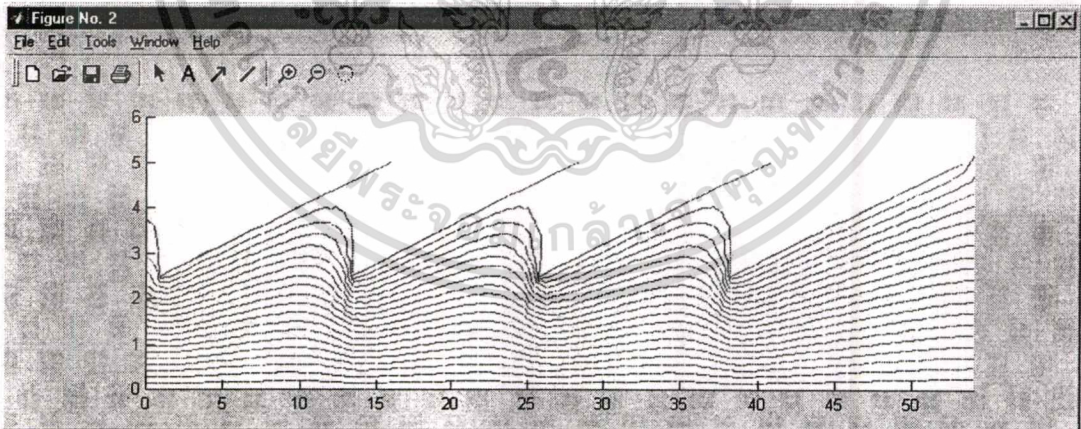
ดังนั้น ได้นำวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ (FEM) มาช่วยในการออกแบบอิลีกโทรคให้มีมุมที่เหมาะสมในการคัดแยก ในการวิเคราะห์หาการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าภายใต้อิลีกโทรคเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ได้แบ่งโครงสร้างของชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ ออกเป็น
 อิลิเมนต์ย่อย 711 อิลิเมนต์ โดยมีจำนวนโหนดเป็น 403 โหนด สำหรับใช้ในการวิเคราะห์
 ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การแบ่งอิลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ FEM

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM)หาการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าภายใน
 ได้อิลิเมนต์ทรานซิสเตอร์ โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 30 kV ดังรูปที่ 3.15

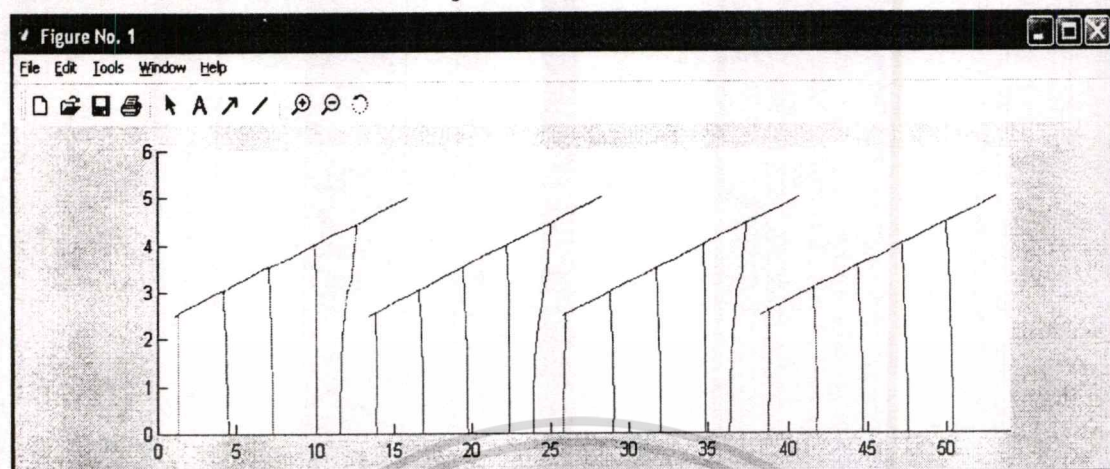


รูปที่ 3.15 การกระจายระดับแรงดันไฟฟ้าของชุดอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3.4.3 ทิศทางแนวแรงที่มักกระทำที่เมล็ดหญาภายในได้อิลิเมนต์

จากผลลัพธ์ของการหาการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าจะถูกนำไปใช้ในการหาค่าความ
 เข้มของสนามไฟฟ้าภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์และทิศทางแนวแรงที่กระทำบนเมล็ดหญาด้วยวิธีไฟไนต์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิลิเมนต์ สามารถแสดงทิศทางของแนวแรงได้ดังรูปที่ 3.16 เพื่อใช้ในการออกแบบชุดอิเล็กโทรดให้เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเมล็ดหญ้า



รูปที่ 3.16 ทิศทางแนวแรงสนามไฟฟ้าวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

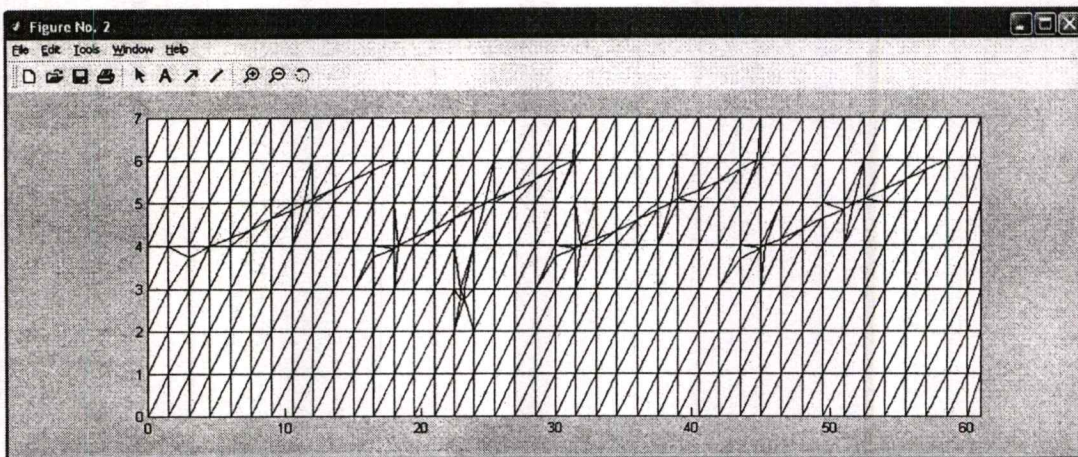
3.3.4.4 ขนาดแรงที่มากกระทำกับเมล็ดหญ้า

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (FEM) เพื่อทำการปรับมุมของแผ่นอิเล็กโทรดบนให้มีความเหมาะสมในการคัดแยกเมล็ดหญ้า พบว่าเมื่อมุมของอิเล็กโทรดบนมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้แรงสนามไฟฟ้าที่กระทำกับเมล็ดหญ้ามักลดลง แรงในช่วงต้น (d_1) มีค่าแรงสนามไฟฟ้ามากพอในการยกเมล็ดหญ้าให้ลอยขึ้นและตกลงเมื่อใกล้ระยะปลาย (d_2) ซึ่งผลที่ตามมาทำให้การเคลื่อนที่ของเมล็ดหญ้าสามารถแยกตัวออกจากปลายข้าวสารและออกจากชุดอิเล็กโทรดไปยังปล่องสำหรับทิ้งได้สะดวก โดยขนาดแผ่นอิเล็กโทรดบนที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีขนาดความยาวแผ่น 15 cm และเพื่อให้มีความแตกต่างการลอยของเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสาร โดยมีระยะห่าง d_1 เท่ากับ 4 cm แผ่นอิเล็กโทรดบนทำมุมกับแผ่นอิเล็กโทรดล่างเพื่อให้มีช่องสำหรับเมล็ดหญ้าออกจากชุดอิเล็กโทรด สำหรับการวิเคราะห์มุมที่ใช้ คือ $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ดังรูปตามลำดับ ผลจากการคำนวณแรงลัพธ์ที่เกิดจากสนามไฟฟ้ามากกระทำกับเมล็ดหญ้า ที่ตำแหน่ง ช่วง d_1 เมื่อเปลี่ยนมุมของแผ่นอิเล็กโทรดบน ที่แรงดันไฟฟ้า 30 kV สามารถแสดงได้ดังนี้

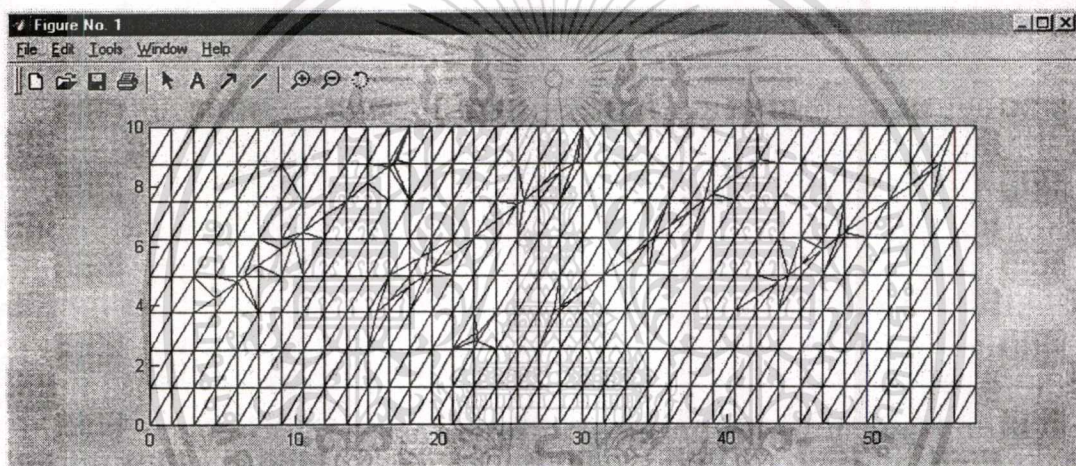
แรงลัพธ์ที่เมล็ดหญ้าเมื่อมุมของแผ่นอิเล็กโทรดบน 15° เท่ากับ $7.8 \times 10^{-4} \angle -15.43^\circ \text{ N}$

แรงลัพธ์ที่เมล็ดหญ้าเมื่อมุมของแผ่นอิเล็กโทรดบน 20° เท่ากับ $2.59 \times 10^{-4} \angle -86.88^\circ \text{ N}$

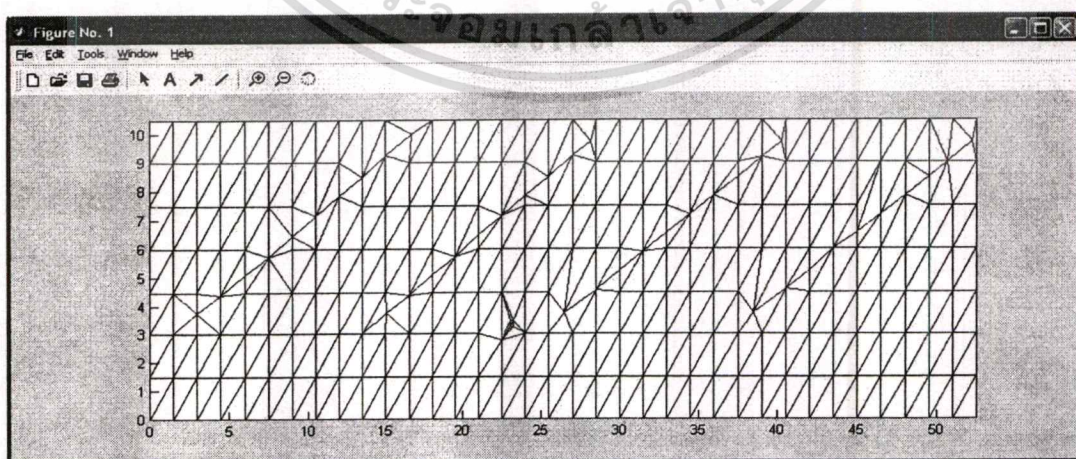
แรงลัพธ์ที่เมล็ดหญ้าเมื่อมุมของแผ่นอิเล็กโทรดบน 25° เท่ากับ $1.93 \times 10^{-4} \angle 81.38^\circ \text{ N}$



รูปที่ 3.17 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานสมิเตอร์ 15°



รูปที่ 3.18 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานสมิเตอร์ 20°



รูปที่ 3.19 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานสมิเตอร์ 25°

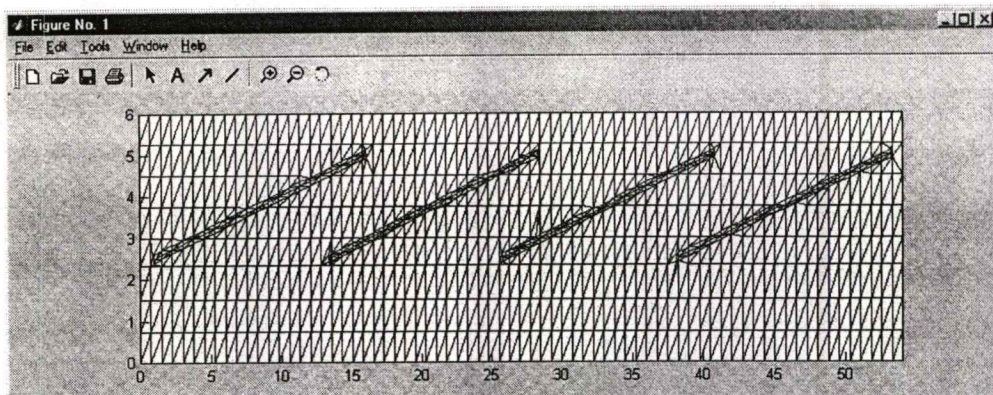
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหัวข้อ 3.3.3 และการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์ อิลิเมนต์ สามารถออกแบบชุดอิเล็กโทรด สร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมได้ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์ อิลิเมนต์พบว่าแรงสนามไฟฟ้าที่กระทำกับเมล็ดหญ้าช่วงต้น d_1 จะมีแรงกระทำที่มากพอในการยกเมล็ดหญ้าในลอยได้และเมื่อเมล็ดหญ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้าจะถูกแรงสนามไฟฟ้ากระทำให้เคลื่อนที่ตามทิศทางสนามไฟฟ้าด้วยแรงที่มีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อเข้าใกล้ระยะช่วงปลาย d_2 ทำให้แรงสนามไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก เมล็ดหญ้าก็จะเริ่มตกลงไม่ชนกับแผ่นอิเล็กโทรดบนให้สะท้อนกลับมาบนได้อีก และเคลื่อนที่ออกจากอิเล็กโทรดบนไปยังปล่องทิ้งด้วยแรงเฉื่อยของเมล็ดหญ้า จากผลการวิเคราะห์แรงสนามไฟฟ้าที่กระทำกับเมล็ดหญ้าในลักษณะอิเล็กโทรดแบบต่าง ๆ พบว่าชุดอิเล็กโทรดที่แผ่นบนทำมุม 15° จะมีแรงสนามไฟฟ้ากระทำกับเมล็ดหญ้ามากที่สุด และแรงสนามไฟฟ้าจะลดลงเมื่อมุมของแผ่นอิเล็กโทรดบนมากขึ้นการวิเคราะห์เลือกลักษณะชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นบนทำมุม 20° เพื่อให้มีช่องทางสำหรับเมล็ดหญ้าเคลื่อนที่ออกมีขนาดไม่กว้างเกินไปหรือแคบเกินไปและแรงสนามไฟฟ้าที่กระทำกับเมล็ดหญ้ามียังไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับแบบอิเล็กโทรดแบบระนาบพื้นฐาน

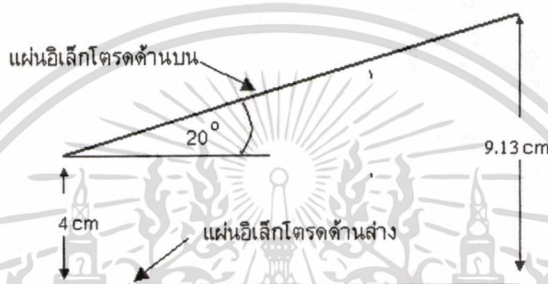
โดยวัสดุที่ใช้ทำแผ่นอิเล็กโทรดบนเลือกใช้แผ่นเหล็กหนา 1 mm โดยมีความยาวของแผ่นอิเล็กโทรด 15 cm จากเหตุผลในหัวข้อที่ 3.3.3 ซึ่งการนำไปใช้งานจริงเพื่อป้องกันการเกิดการเบรกดาวน์ในกรณีที่มีเศษฟางหรือเชือกเข้ามา ได้ทำการเคลือบด้วยฉนวนอะคริลิกบางๆ เพื่อเป็นเทคนิคป้องกันการเบรกดาวน์ ซึ่งการเคลือบด้วยฉนวนอะคริลิกที่มีค่า $\epsilon_r \approx 4$ เท่าของอากาศ ดังรูปที่ 3.16 เป็นผลทำให้ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าของอากาศมากขึ้นประมาณ 4 เท่า เป็นผลให้มีแรงสนามไฟฟ้ามากขึ้นด้วย จึงได้ทำการปรับระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดขึ้นและสามารถลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ชุดอิเล็กโทรดลง เพื่อให้ค่าความเครียดสนามไฟฟ้ามีความเหมาะสมสำหรับการคัดแยก

จำนวนแผ่นอิเล็กโทรดบนพิจารณาจากขีดความสามารถในการคัดแยกแต่ละแผ่น พบว่าในช่วงแรกเมื่อปล่อยปลายข้าวที่มีเมล็ดหญ้าปนมาจะมีความหนาแน่นของเมล็ดหญ้าที่สูงและมีการทับจากปลายข้าวทำให้การคัดแยกเมล็ดหญ้าด้วยแผ่นอิเล็กโทรดแผ่นเดียวอาจจะมีขีดความสามารถที่ไม่สูงพอ จึงทำการเพิ่มจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดเพื่อช่วยให้มีขีดความสามารถในการคัดเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดไม่ควรมากนัก เนื่องจากจะทำให้เครื่องมีระยะทางที่ยาวขึ้น จากหัวข้อที่ 3.3.3 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ ถ้าระยะทางยาวขึ้นทางปฏิบัติจะมีความเร็วต้นและความเร็วปลายจะไม่เท่ากัน ทำให้แผ่นอิเล็กโทรดที่ทำการออกแบบมีขีดความสามารถลดลงไม่เหมาะสม สำหรับการคัดแยก โดยได้ทำการทดสอบพบว่า (ตารางที่ ข.9) ที่จำนวนแผ่นอิเล็กโทรด 12 แผ่น จะมีขีดความสามารถในการคัดแยกได้สูงที่สุด ซึ่งใช้ระยะทางไม่มากทำให้ความเร็วต้นและความเร็วปลายไม่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

- รูปที่ 3.20 (a) ชุดอิเล็กโทรดเคลือบด้วยฉนวนอะซิติกบางๆ
(b) ไคอะแกรมชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า

3.3.5 แผ่นอิเล็กโทรดล่าง

การออกแบบแผ่นอิเล็กโทรดล่างจะพิจารณาจากพิกัดอัตราการกัดแยก โดยในวิทยานิพนธ์นี้มีพิกัดอัตราการกัดแยกที่ 100 kg/hr โดยปลายข้าวจะถูกปล่อยจากกล่องรับปลายข้าวที่มีช่องปล่อย 2 ช่อง ในหัวข้อที่ 3.2 แผ่นอิเล็กโทรดล่างจะมีหน้าที่รับปลายข้าวและเส้นทางให้ปลายข้าวไหลผ่าน อิเล็กโทรดล่างจะต้องมีขนาดความกว้างของแผ่นเหล็กน้อยกว่าความกว้างของกล่องปล่อยเพื่อรองรับปลายข้าวได้ทั้งหมด และมีการกระจายตัวของเมล็ดปลายข้าวไม่ทับกันในขณะเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น โดยความกว้างของแผ่นอิเล็กโทรดในที่นี้ จึงมีความกว้างมากกว่าความกว้างของกล่องปล่อยปลายข้าวเล็กน้อย เท่ากับ 40 cm วัสดุที่เลือกใช้เป็นแผ่นเหล็กหนา 2 mm เพื่อความคงทนและแข็งแรง ซึ่งความยาวของแผ่นอิเล็กโทรดล่างพิจารณาจากจำนวนของแผ่นอิเล็กโทรดบน ซึ่งลักษณะการวางแบบซ้อนกันแผ่นละ 2 cm ทำให้สามารถคำนวณหาความยาวของแผ่นอิเล็กโทรดล่างได้

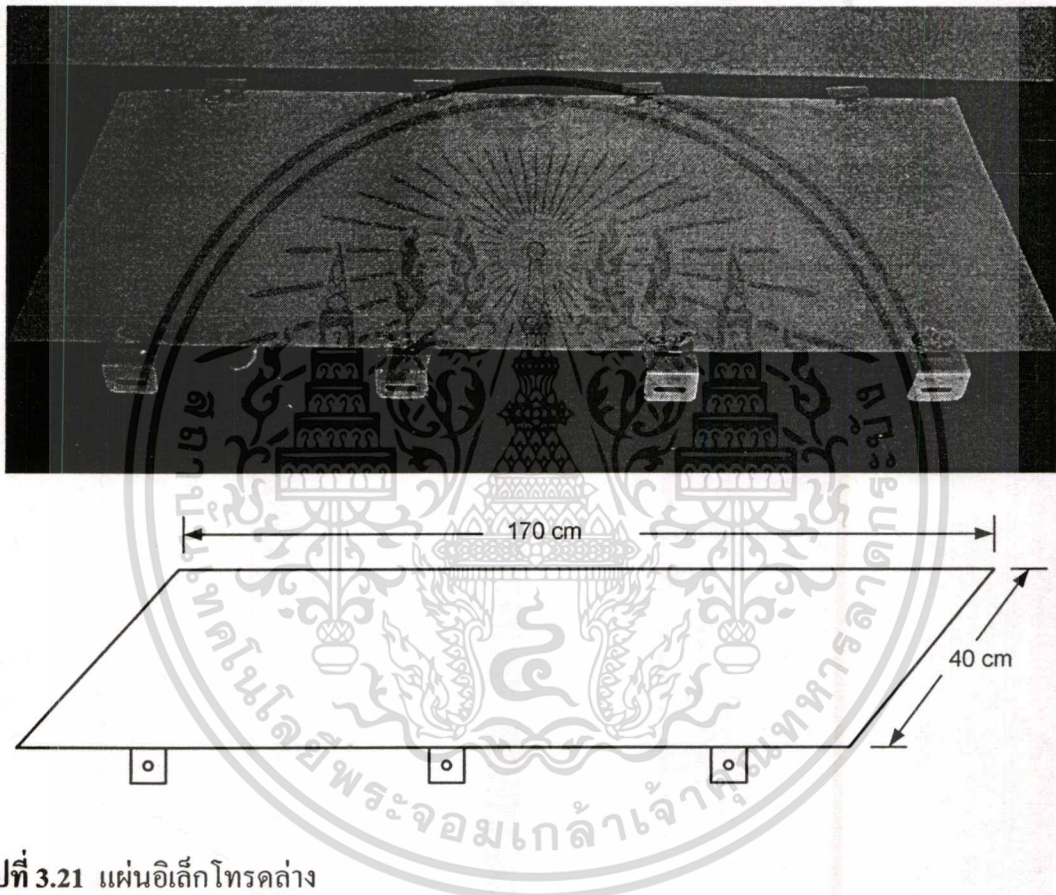
ระยะความยาวของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคบนเมื่อวางซ้อนกัน = $15 - 2 = 13$ cm

ระยะทางรวม 12 แผ่น = $13 \times 12 = 156$ cm

ระยะเพื่อให้ปลายข้าวเกิดการกระจายตัว ประมาณ 10% = 15.6 cm

ความยาวรวมของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคล่าง = $156 + 15.6 = 171.6$ cm

เพื่อความเหมาะสมเลือกความยาวของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคล่าง = 170 cm เพื่อให้สัมพันธ์กับจำนวนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคบน ซึ่ง มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.21 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคล่าง

3.4 บทสรุปและวิเคราะห์ผล

คุณลักษณะของเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เพื่อให้มีขีดความสามารถในการคัดแยกที่สูงและพิคัดอัตราการคัดที่หลายๆ จะต้องมีการออกแบบลักษณะชุดอิเล็กทรอนิกส์โทรคเพื่อสร้างแรงสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม อีกทั้งต้องมีความสอดคล้องกับส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง มีความแข็งแรง ซึ่งจากการทดสอบทั้งหมดที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลแรงสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดหญ้า ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า คุณสมบัติของเมล็ดพืช น้ำหนักของเมล็ดพืช รวมถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านสนามไฟฟ้า ซึ่งพอจะสรุปผลจากปัจจัยต่างๆเหล่านี้เพื่อมาออกแบบเครื่องต้นแบบที่เหมาะสมที่สุดได้ดังต่อไปนี้

1. กล่องปลอ่ยปลายข้าว มีปริมาตร $20 \times 38 \times 30 \text{ cm}^3$ วัสดุที่ใช้ทำ คือ แผ่นเหล็กหนา 1 mm ทำการขึ้นรูป โดยช่องปลอ่ยปลายข้าวसारออกแบบให้สามารถปรับความกว้างของช่องได้ สามารถกำหนดอัตราการไหลของปลายข้าวได้ ซึ่งรายละเอียดการออกแบบอยู่ในหัวข้อที่ 3.2

2. อิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์ อิลิเมนต์ พบว่า แรงสนามไฟฟ้าที่กระทำกับเมล็ดหญ้าในลักษณะอิเล็กโทรดแบบระนาบพื้นฐาน จะทำให้แรงสนามไฟฟ้ากระทำกับเมล็ดหญ้าด้วยแรงที่เท่ากันทุกตำแหน่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่และชนกับแผ่นอิเล็กโทรดบนทำให้เมล็ดหญ้าตกลงมาปนกับปลายข้าวได้อีก ดังนั้นได้ทำการวางลักษณะแผ่นอิเล็กโทรดใหม่ เพื่อให้แรงสนามไฟฟ้ากระทำกับเมล็ดหญ้าให้เหมาะสมกับการคัดแยก โดยการวางให้มีระยะห่างของอิเล็กโทรดไม่เท่ากัน โดยระยะห่างช่วงต้นของแผ่นอิเล็กโทรดจะน้อยกว่าช่วงปลายทำให้แรงสนามไฟฟ้าในช่วงต้นมีค่าสูงกว่าช่วงปลายทำให้เมล็ดหญ้าที่ถูกคัดออกไปไม่ชนแผ่นอิเล็กโทรดบนและตกลงมาอีก โดยทำการวิเคราะห์มุมของแผ่นอิเล็กโทรดบนที่มีแรงสนามไฟฟ้าและช่องให้เมล็ดหญ้าออกเหมาะสม จากการวิเคราะห์ลักษณะชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นบนทำมุม 20° ในการนำไปใช้งานจริงได้ทำการเคลื่อนแผ่นอิเล็กโทรดบนด้วยฉนวนอะคริลิกบางๆเพื่อป้องกันการเบรกดาวน์กรณีที่มีเศษฟางเข้ามา ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้ามากขึ้นจากเดิมประมาณ 4 เท่า เป็นผลให้แรงสนามไฟฟ้ามากขึ้น การแก้ไขให้ความเครียดสนามไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมทำได้โดยการเพิ่มระยะแกปอากาศให้มากขึ้นและลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอิเล็กโทรด ทำให้ใช้แรงดันไฟฟ้าไม่สูงมากเป็นการสะดวกในการหาแหล่งจ่าย ซึ่งผลการวิเคราะห์และรายละเอียดสามารถแสดงในหัวข้อที่ 3.3.4

3. ความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่และน้ำหนักของเมล็ดพืชมีผลต่อความยาวของแผ่นอิเล็กโทรดบนในการสร้างสนามไฟฟ้ามาก ส่วนผลของแรงดันไฟฟ้าจะมีผลน้อย ซึ่งการพิจารณาในการออกแบบชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้าสิ่งที่ต้องพิจารณามาก คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืช ควรมีความเร็วที่สัมพันธ์กับพิกัดอัตราการคัดของเครื่อง และมีความเร็วไม่สูงมากหรือช้าเกินไป ความเร็วต้นและความเร็วปลายของเมล็ดพืชไม่ควรมีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งจะมีผลต่อความยาวของอิเล็กโทรดบน น้ำหนักของเมล็ดพืชนั้นจะเป็นค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง การออกแบบใช้น้ำหนักของเมล็ดหญ้าซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าปลายข้าว ดังนั้น ปลายข้าวจะไม่สามารถลอยออกจากชุดอิเล็กโทรดตามเมล็ดหญ้าออกไปได้ ส่วนแรงดันไฟฟ้าจากการทดสอบจะเห็นว่ามีผลน้อยต่อความยาวของอิเล็กโทรดบน ดังนั้น จึงเหมาะสมในการใช้ปรับระดับขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ โดยที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ละเอียดจะทำให้ปรับระดับขีดความสามารถในการคัดแยกได้ละเอียดขึ้นด้วย ซึ่งผลการทดสอบและรายละเอียดสามารถแสดงในหัวข้อที่ 3.3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

4.1 บทนำ

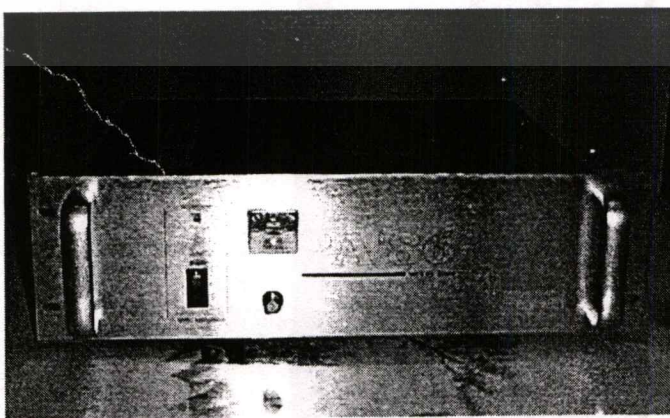
ต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เมื่อทำการออกแบบและจัดสร้างแล้วได้นำมาทดสอบขีดความสามารถในการคัดเมล็ดหญ้าที่ปะปนมากับปลายข้าวสารที่เงื่อนไขต่างๆ รวมถึงการจำลองสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เพื่อให้ทราบคุณสมบัติของเครื่องต้นแบบ สำหรับนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้

4.2 โครงสร้างเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

โครงสร้างต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว ได้มีการออกแบบในบทที่ 3 และจัดสร้างขึ้นจากวัสดุที่มีจำหน่ายในตลาดทั่วไป เพื่อการบำรุงรักษาสะดวก และมีราคาในการจัดสร้างที่ไม่สูงมากนัก โดยต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว จะสามารถคัดแยกเมล็ดหญ้าได้ ต้องมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และส่วนที่สองชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแรงสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดหญ้าให้ออกจากปลายข้าวที่ขีดความสามารถที่สูง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

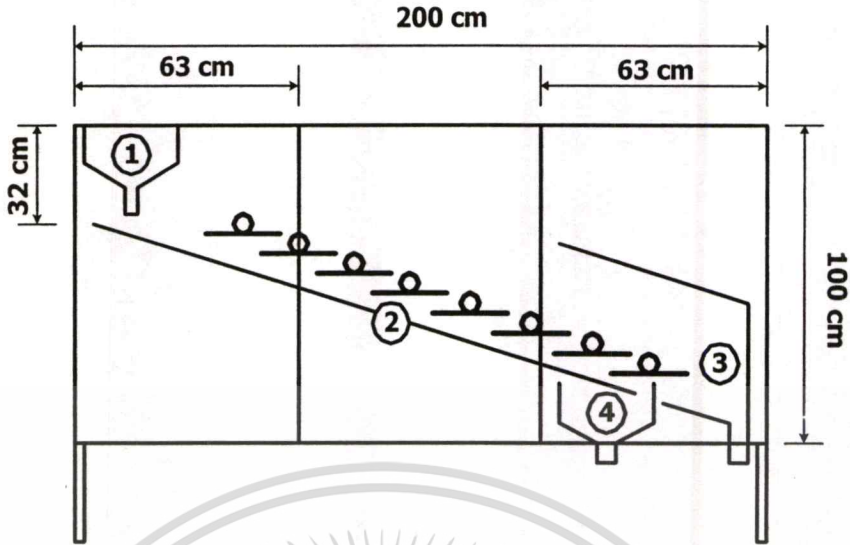
4.2.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง[15] ใช้หลักการสร้างแรงดันสูงแบบสวิตชิงความถี่สูง 30 kHz หม้อแปลงแบบ Fly back มีแรงดันเอาต์พุต 60 k V_{dc} กระแส 100 μ A แรงดันระลอกประมาณ 5% สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 V_{ac} หรือแรงดันไฟฟ้า 12 V_{dc} ได้



เอกสารรูปที่ 4.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

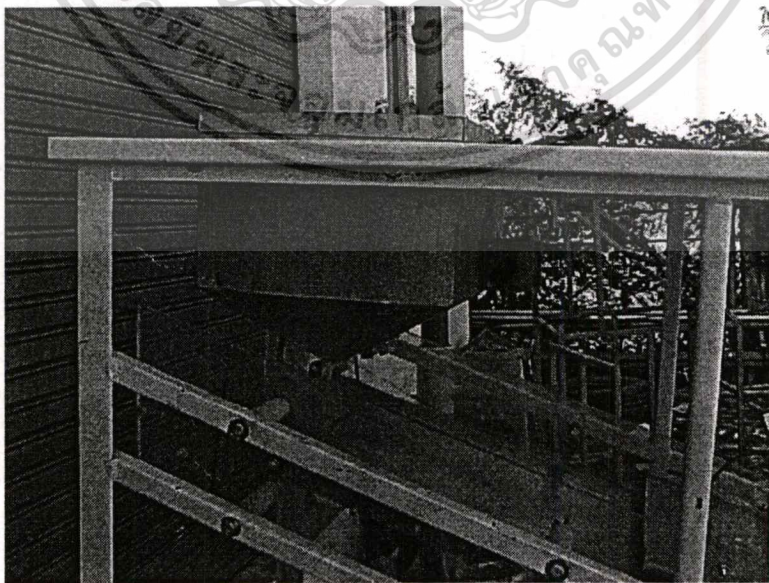
4.2.2 ชุดอิเล็กทรอนิกส์สร้างสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 โครงสร้างเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

ส่วนประกอบของเครื่อง

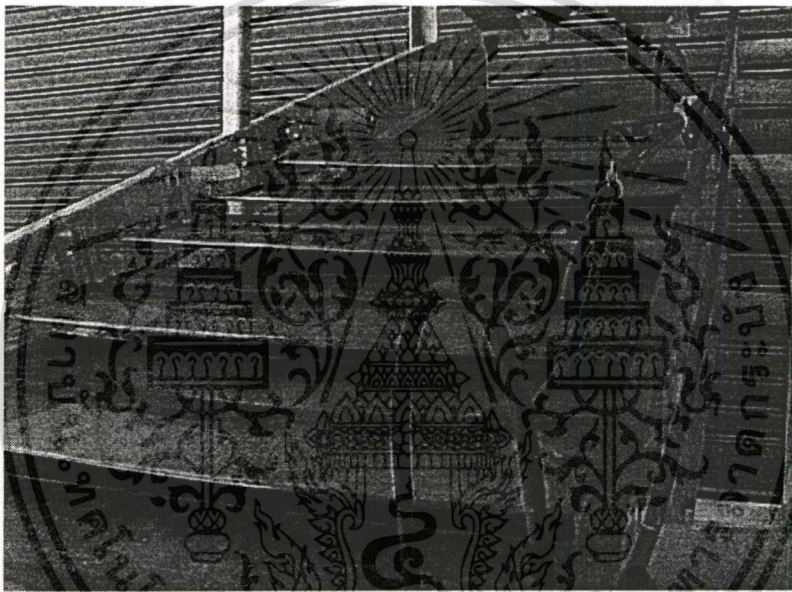
1. กล่องปล่อยปลายข้าว จากการออกแบบในหัวข้อที่ 3.2 มีปริมาตร $20 \times 38 \times 30 \text{ cm}^3$ เนื่องจากกล่องปล่อยปลายข้าวจะรองรับปลายข้าวจากสายพานลำเลียงมาเก็บเพื่อปล่อยออกทางช่องปล่อยที่มีขนาดที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นต้องมีความแข็งแรงคงทนสูง ดังนั้นวัสดุที่ใช้ได้เลือกทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 mm ทำการขึ้นรูป โดยช่องปล่อยปลายข้าวสารออกแบบให้สามารถปรับความกว้างของช่องได้ สามารถกำหนดอัตราการไหลของปลายข้าวได้ โดยกล่องปล่อยปลายข้าวได้ติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่สูงสุดห่างจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์บน 10 cm



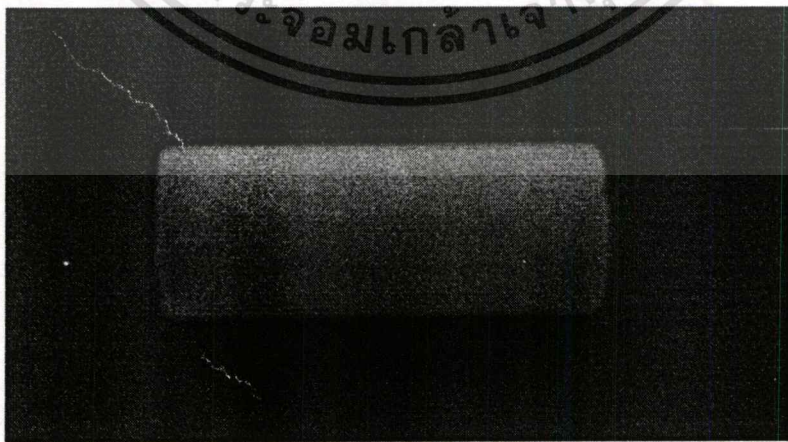
รูปที่ 4.3 กล่องปล่อยปลายข้าวและตำแหน่งการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า จากการออกแบบในหัวข้อที่ 3.3 มีลักษณะแผ่นระนาบ เพื่อให้มีความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า โดยแผ่นอิเล็กโทรดบนทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 mm ความยาว 15 cm กว้าง 37 cm เคลือบด้วยฉนวนอะคริลิก เพื่อเป็นเทคนิคป้องกันการเบรกดาวน์ โดยมีจำนวนอิเล็กโทรดบน 12 แผ่น สำหรับการคัดแยก โดยมีระยะห่าง 4 cm และทำมุมกับแผ่นอิเล็กโทรดล่าง 20 องศา เพื่อใช้เป็นช่องทางออกของเมล็ดหญ้าไปยังปล่องทิ้งเมล็ดหญ้า ดังรูปที่ 3.20 แต่ละแผ่นจะต่อสายไฟออกมาเพื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกโดยต่อแบบขนาน การติดตั้งจะยึดติดกับแผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 10 mm ทั้งสองด้านและยึดติดกับโครงเหล็กด้วยแท่งพลาสติกฉนวนซูเปอร์ลีนทั้งสองด้าน การติดตั้งชุดอิเล็กโทรดจะติดตั้งมีมุมเอียง 30 องศา กับแนวระนาบ ทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของปลายข้าวผ่านสนามไฟฟ้า เท่ากับ 0.04 m/s



รูปที่ 4.4 ลักษณะการติดตั้งอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 แท่งพลาสติกฉนวนซูเปอร์ลีน

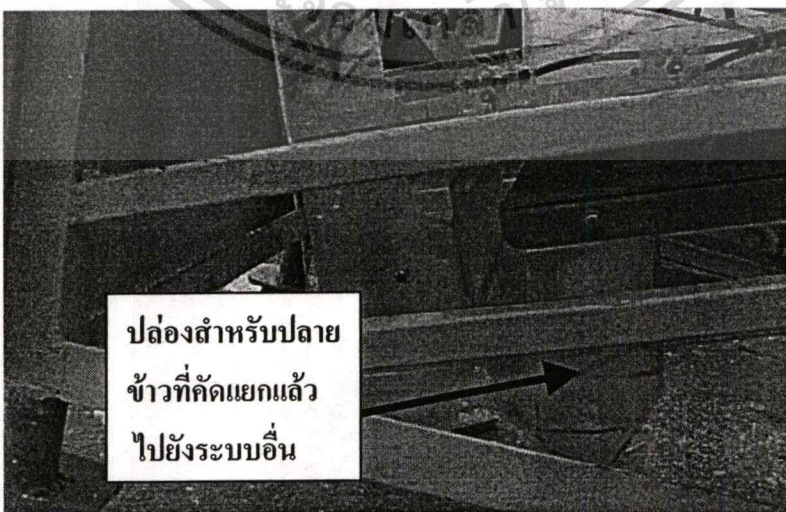
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปล่องสำหรับทิ้งเมล็ดหญ้า เมื่อเมล็ดหญ้าถูกคัดแยกออกมาจะเคลื่อนที่ผ่านด้านบนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ตามแรงโน้มถ่วงของโลก ลงไปยังปล่องสำหรับทิ้งเมล็ดหญ้า โดยวัสดุที่ใช้ทำ ต้องมีความแข็งแรงและเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ดังนั้นเลือกทำจากแผ่นพลาสติกอะคริลิกใส ความหนา 5 mm พับขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อความแข็งแรง มีปริมาตร $37 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$ การติดตั้ง ยึดติดกับแผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 10 mm ดังรูปที่ 4.6



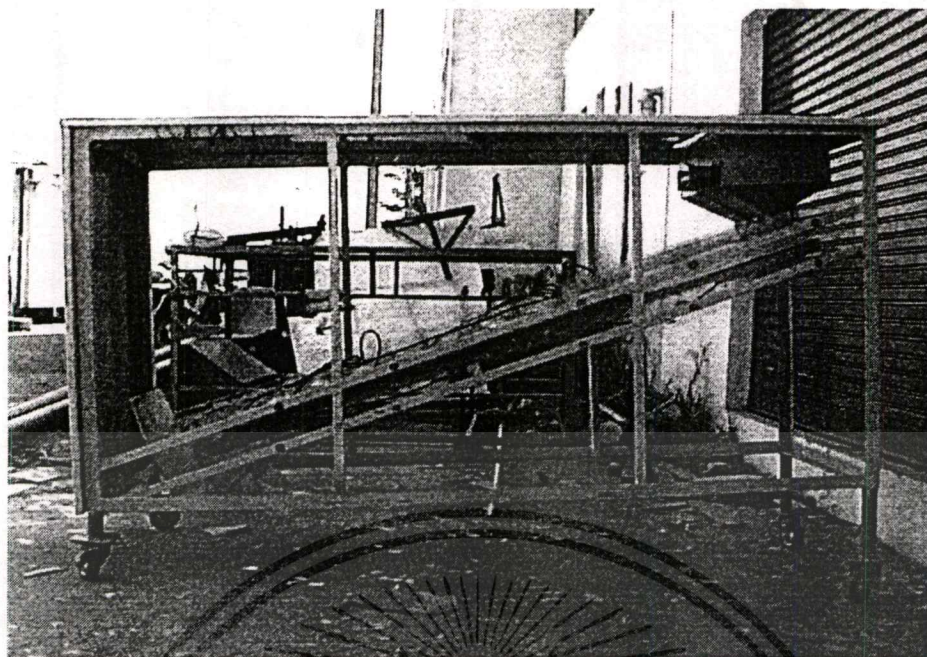
รูปที่ 4.6 ปล่องสำหรับทิ้งเมล็ดหญ้า

4. ปล่องสำหรับปลายข้าวที่คัดแยกแล้ว ซึ่งปลายข้าวสารที่ผ่านการคัดแยกเมล็ดหญ้าด้วยสนามไฟฟ้าแล้วนั้นจะเคลื่อนที่บนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์กลางตามแรงโน้มถ่วงของโลกไหลลงสู่ช่องปล่อง ปล่อยปลายข้าวเพื่อส่งต่อไประบบอื่นภายนอกต่อไป ดังนั้นเลือกวัสดุซึ่งทำจากแผ่นพลาสติกอะคริลิกใส หนา 5 mm พับขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อความแข็งแรงมีปริมาตร $37 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$ การติดตั้งยึดติดกับแผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 10 mm ดังรูปที่ 4.7

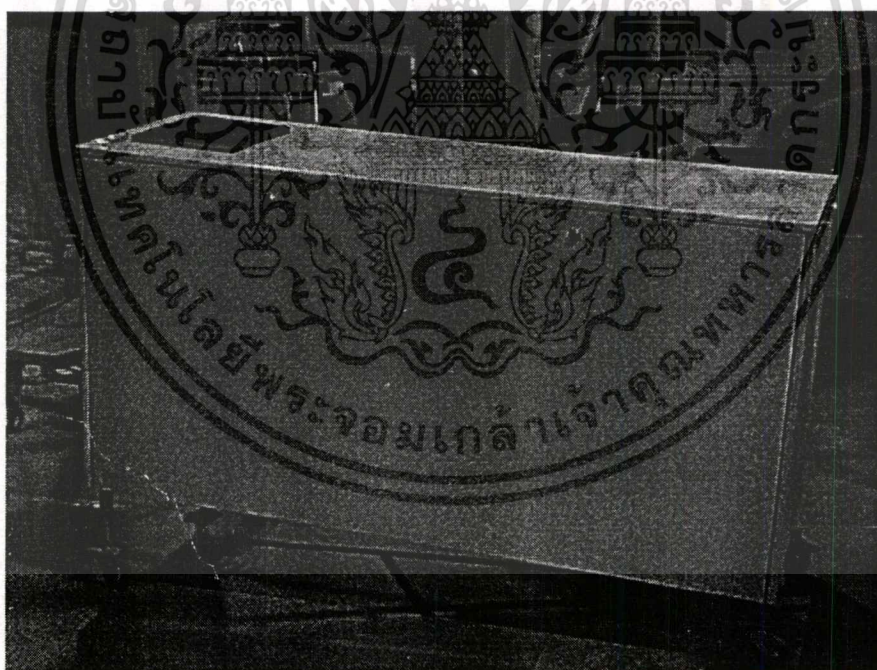


รูปที่ 4.7 ปล่องสำหรับปลายข้าวที่คัดแยกแล้วไปยังระบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



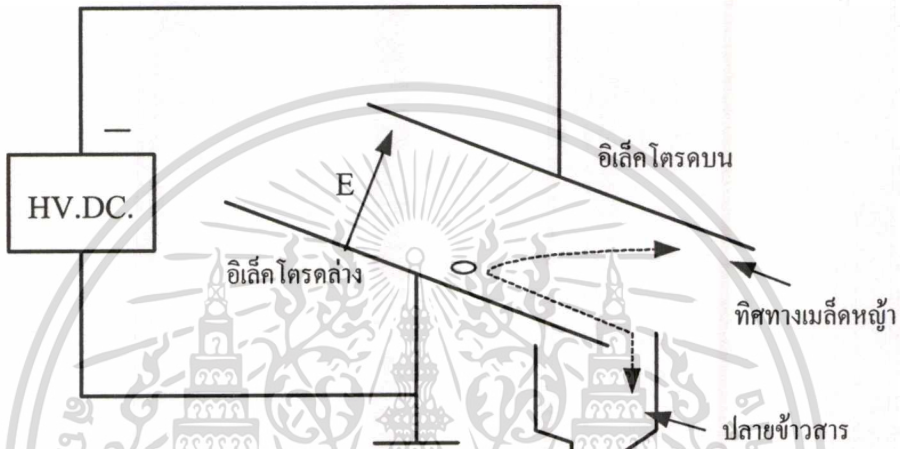
รูปที่ 4.8 โครงสร้างภายในเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า



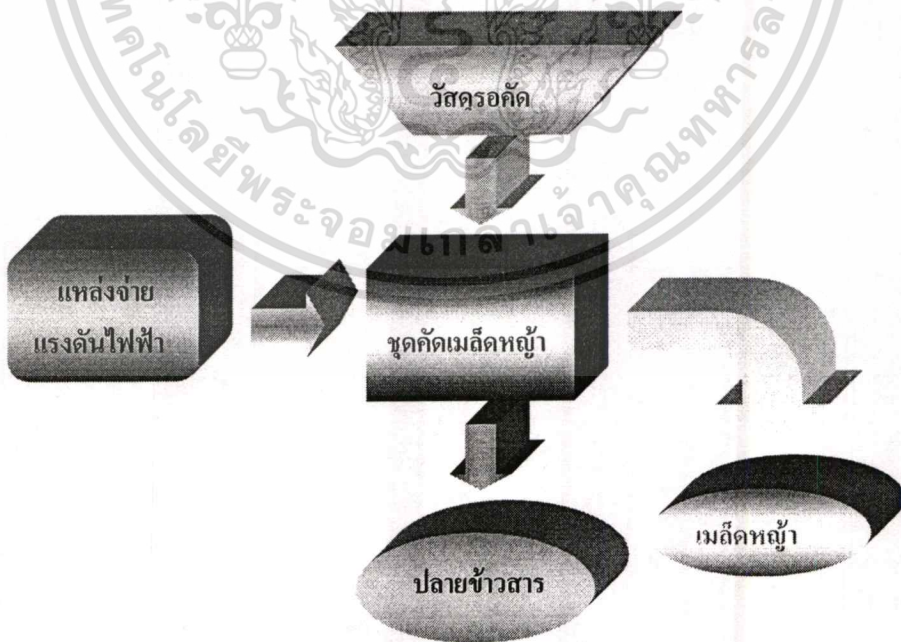
รูปที่ 4.9 เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าพร้อมฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว จะใช้แรงของสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงขั้วลบให้กับแผ่นอิเล็กโทรดบนและต่อแผ่นอิเล็กโทรดล่างกับกราวด์ ซึ่งจะทำให้แรงสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางจากแผ่นล่างไปสู่แผ่นบน เมื่อเมล็ดหญ้าที่ปะปนมากับปลายข้าวสารถูกปล่อยผ่านสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นแรงสนามไฟฟ้าจะยกเมล็ดหญ้าให้มีทิศทางเบี่ยงเบนออกจากปลายข้าวและตกลงสู่ปล่องสำหรับทิ้งเมล็ดหญ้า ในขณะที่ปลายข้าวสารจะเคลื่อนที่ไปตามแผ่นอิเล็กโทรดล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไหลลงปล่องสำหรับปลายข้าวดีเพื่อส่งไปยังระบบอื่นต่อไป



รูปที่ 4.10 หลักการทำงานของเครื่องคัดเมล็ดหญ้าด้วยสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.11 แผนภาพการทำงานของเครื่องคัดเมล็ดหญ้าด้วยสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบองค์ประกอบหลักที่มีผลกับขีดความสามารถในการคัดแยก

ในการทดสอบต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เพื่อหาคุณสมบัติของเครื่องต้นแบบสำหรับการเลือกใช้งานในการคัดแยกเมล็ดหญ้าให้มีขีดความสามารถที่สูงที่สุดและมีความเหมาะสมในการใช้งานจริง โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบขีดความสามารถในการคัดเมล็ดหญ้าที่ปะปนมากับปลายข้าวสาร รวมถึงการจำลองสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ การทดสอบใช้อัตราการเจือปนเมล็ดหญ้า 50 กรัมต่อปลายข้าวสาร 10 กิโลกรัม การหาขีดความสามารถในการคัดทำโดยการนำเมล็ดหญ้าที่ถูกแยกออกมาและตกลงไปยังปล่องทิ้งเมล็ดหญ้ามายังหาน้ำหนักเมล็ดหญ้าที่คัดแยกออกมาได้แล้วนำไปคำนวณเทียบกับเมล็ดหญ้าที่ใส่ปนเข้าไปและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แยกได้แล้วบันทึกผล โดยทำการทดลองซ้ำ ครั้ง แบ่งการทดสอบดังนี้

4.3.1 การทดสอบเครื่องต้นแบบที่อัตราการไหลของปลายข้าวสารระดับต่างๆ

เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของปลายข้าวสารจากกล่องปล่อยเข้าสู่ชุดอิเล็กทรอนิกส์สนามไฟฟ้าสำหรับการคัดแยกเมล็ดหญ้าที่มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดของเครื่องต้นแบบเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 60 kV_{dc}
2. ต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว โดยใช้สนามไฟฟ้า
3. ตัวอย่างปลายข้าวสาร 10 กิโลกรัมที่มีอัตราการเจือปนของเมล็ดหญ้า 50 กรัม
4. นาฬิกาจับเวลา และไม้บรรทัด
5. เครื่องชั่งดิจิตอล
6. ภาชนะสำหรับรองรับวัสดุทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

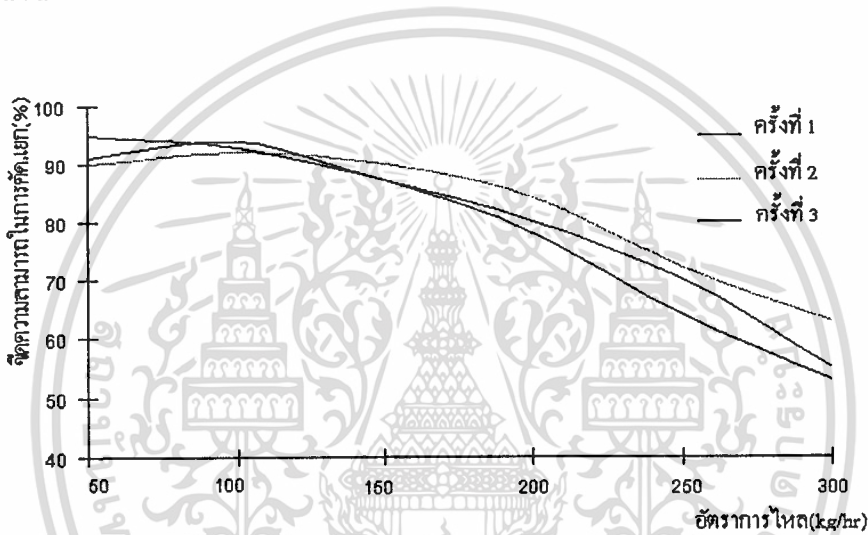
1. ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงกับต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสาร
2. ปรับช่องของกล่องปล่อยปลายข้าวสาร ให้มีพิกัดอัตราการไหล 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
3. จัดเตรียมภาชนะรองรับวัสดุทดสอบให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม
4. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดคัดแยกของเครื่องต้นแบบที่ระดับ 40 kV
5. ปล่อยตัวอย่างทดสอบลงกล่องปล่อยปลายข้าวสารของเครื่องต้นแบบ ปล่อยให้ตัวอย่าง

ไหลผ่านชุดคัดแยกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าลดลง แล้วทำการดิจิทัลจลกราวนด์
7. นำปลายข้าวสารที่ผ่านการคัดแล้วออกมา และทำการเก็บตัวอย่างทดสอบที่ถูกคัดแยกออกมาทางปล่องทิ้งเมล็ดหญ้ามาทำการคัดให้เหลือเฉพาะเมล็ดหญ้าอย่างเดียว
8. นำเมล็ดหญ้าที่คัดได้มาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณเทียบกับจำนวนเมล็ดหญ้าที่ใส่เข้าไป บันทึกผลการทดสอบ (ตารางที่ ข.10)
9. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 2. – ข้อ 8. โดยเปลี่ยนพิกัดอัตราการไหลเป็น 100, 150, 200, 250 และ 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่อัตราการไหลของปลายข้าวสารระดับต่างๆ

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบผลของอัตราการไหลของปลายข้าวสารต่อขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ พบว่าเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยก โดยที่อัตราการไหลน้อยๆ 50 – 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีขีดความสามารถในการคัดแยกที่สูงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการกระจายตัวของปลายข้าวที่ดี ไม่หนาแน่นเกินไปทำให้เมล็ดหญ้าไม่ถูกปลายข้าวทับ ซึ่งแรงสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อเมล็ดหญ้าให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไว้สะดวกและง่ายเป็นผลให้ขีดความสามารถของเครื่องต้นแบบอยู่ในระดับสูง แต่เมื่ออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นขีดความสามารถในการคัดแยกเริ่มน้อยลง เนื่องจากขนาดความกว้างของแผ่นอิเล็กโทรดกลาง คงที่ ทำให้ปริมาณปลายข้าวมีความหนาแน่นขึ้นทำให้เมล็ดหญ้าบางเมล็ดอาจถูกทับในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า เป็นผลให้ขีดความสามารถในการ

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าอัตราการไหลของปลาข้าวมีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกเมล็ดหญ้าของเครื่องต้นแบบ โดยมีขีดความสามารถในการคัดแยก 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับอัตราการไหลระหว่าง 50 – 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่ออัตราการไหลมากขึ้นขีดความสามารถของเครื่องต้นแบบจะลดลง ดังนั้นการเลือกใช้งานเครื่องต้นแบบสามารถเลือกระดับขีดความสามารถในการคัดแยกได้จากการปรับอัตราการไหลของปลาข้าวให้มีความเหมาะสมในการเลือกใช้งาน

4.3.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ดิวเซอร์ไฟฟ้าระดับต่างๆ

เพื่อศึกษาผลของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ดิวเซอร์ไฟฟ้าที่ระดับต่างๆที่มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 60 kV_{dc}
2. ต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลาข้าวโดยใช้สนามไฟฟ้า
3. ตัวอย่างปลาข้าวสาร 10 กิโลกรัมที่มีอัตราการเจือปนของเมล็ดหญ้า 50 กรัม
4. เครื่องชั่งดิจิตอล
5. ภาชนะสำหรับรองรับวัสดุทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

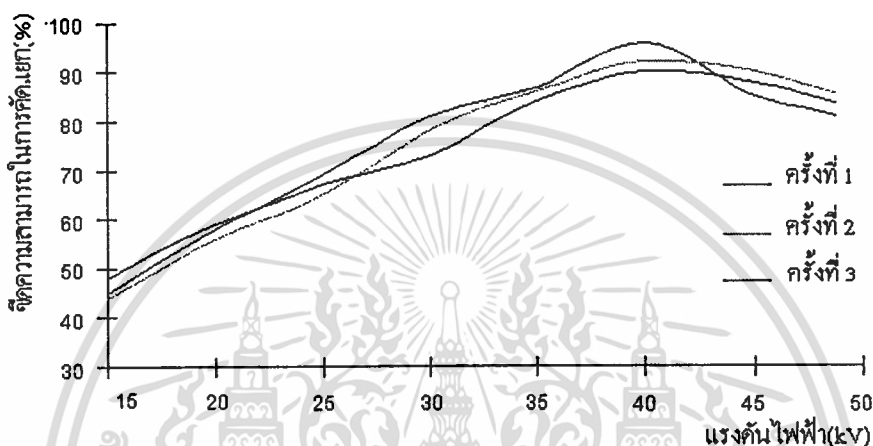
1. ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงกับต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลาข้าวสาร
2. ปรับช่องของกล่องปล่อยปลาข้าวสาร ให้มีพิกัดอัตราการไหล 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
3. จัดเตรียมภาชนะรองวัสดุทดสอบให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม
4. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดคัดแยกของเครื่องต้นแบบที่ระดับ 15 kV
5. ปล่อยตัวอย่างทดสอบลงกล่องปล่อยปลาข้าวสารของเครื่องต้นแบบ ปล่อยให้ตัวอย่างไหลผ่านชุดคัดแยกจนหมด
6. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าลดลง แล้วทำการดิจิทัลจลกราวนด์
7. นำปลาข้าวสารที่ผ่านการคัดแล้วออกมา และทำการเก็บตัวอย่างทดสอบที่ถูกคัดแยกออกมาทางปล่อยทิ้งเมล็ดหญ้ามาทำการคัดให้เหลือเฉพาะเมล็ดหญ้าอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำเมล็ดหญ้าที่ตัดได้มาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณเทียบกับจำนวนเมล็ดหญ้าที่ใส่เข้าไป บันทึกผลการทดสอบ (ตารางที่ ข.11)

9. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 2. – ข้อ 8. โดยเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 kV ตามลำดับ

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้ชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ไมเตอร์สร้างสนามไฟฟ้า

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบผลของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ไมเตอร์เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่ระดับต่างๆที่มีต่อขีดความสามารถในการตัดแยกของเครื่องต้นแบบ พบว่าเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อขีดความสามารถในการตัดแยก โดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 35 – 45 kV จะมีขีดความสามารถในการตัดแยกที่สูงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสนามไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระดับแรงดันที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ไมเตอร์ (สมการที่ 2.1) ทำให้แรงสนามไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย (สมการที่ 2.15) ทำให้แรงสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อเมล็ดหญ้าให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไว้สะดวกและง่ายเป็นผลให้ขีดความสามารถของเครื่องต้นแบบอยู่ในระดับสูง แต่การใช้แรงดันสูงๆมากจะมีผลในกระทบในการออกแบบการฉนวนเนื่องจากอากาศจะมีค่าคงทนสนามไฟฟ้าประมาณ 25 kV/cm ถ้าแรงดันสูงๆมากอาจทำให้เกิดการเบรกดาวน์ได้ อีกทั้งการสร้างแหล่งจ่ายก็จะมีขนาดหรือพิคกิ้งที่สูงขึ้นด้วย เมื่อป้อนระดับแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ไมเตอร์สร้างสนามไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้ขีดความสามารถในการตัดแยกเริ่มน้อยลง เนื่องจากแรงของสนามไฟฟ้าได้ลดลงด้วยเช่นกัน เป็นผลให้ขีดความสามารถในการตัดแยกของเครื่องต้นแบบน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้ามีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกเมล็ดหญ้าของเครื่องต้นแบบ โดยมีขีดความสามารถในการคัดแยก 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 35 – 45 kV เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ชุดอิเล็กทรอนิกส์ต่ำลงมีผลให้ขีดความสามารถของเครื่องต้นแบบจะลดลง ดังนั้นการเลือกใช้งานเครื่องต้นแบบสามารถเลือกระดับขีดความสามารถในการคัดได้จากการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงแรงสูงที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความเหมาะสมในการเลือกใช้งาน ทั้งนี้จะต้องพิจารณาในเรื่องเทคนิคการฉนวนที่ดีของเครื่องต้นแบบและพิกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงด้วย ช่วงแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบนี้จะอยู่ในช่วง 35 – 45 kV

4.3.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับขีดความสามารถในการคัดแยก

เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศที่มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ เนื่องจากอุณหภูมิมิฉะนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสถานที่ และเวลาการใช้งาน ในการทดสอบใช้ห้องปรับอากาศที่สามารถปรับอุณหภูมิของอากาศในห้องได้ ซึ่งการทดสอบผลของอุณหภูมิที่มีต่อขีดความสามารถในการคัดแยกทำให้สามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 60 kV_{dc}
2. ต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว โดยใช้สนามไฟฟ้า
3. ตัวอย่างปลายข้าวสาร 10 กิโลกรัมที่มีอัตราการเจือปนของเมล็ดหญ้า 50 กรัม
4. ห้องปรับอากาศและเครื่องวัดอุณหภูมิ
5. เครื่องชั่งดิจิตอล
6. ภาชนะสำหรับรองรับวัสดุทดสอบ

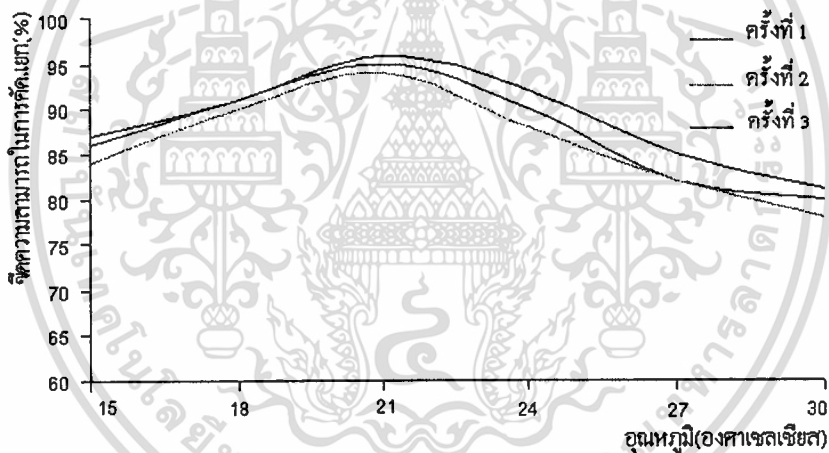
ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงกับต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสาร
2. ปรับช่องของกล่องปล่อยปลายข้าวสาร ให้มีพิกัดอัตราการไหล 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
3. จัดเตรียมภาชนะรองรับวัสดุทดสอบให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปรับอุณหภูมิห้องที่ 15 °C
6. ปลอ่ยตัวอย่างทดสอบลงกล่องปลอ่ยปลายข้าวสารของเครื่องต้นแบบ ปลอ่ยให้ตัวอย่างไหลผ่านชุดคัดแยกจนหมด
7. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าลดลง แล้วทำการดิจิทัลจลกราวนด์
8. นำปลายข้าวสารที่ผ่านการคัดแล้วออกมา และทำการเก็บตัวอย่างทดสอบที่ถูกคัดแยกออกมาทางปลอ่ยทิ้งเมล็ดหญาเข้ามาทำการคัดให้เหลือเฉพาะเมล็ดหญืออย่างเดียว
9. นำเมล็ดหญือที่คัดได้มาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณเทียบกับจำนวนเมล็ดหญือที่ใส่เข้าไป บันทึกผลการทดสอบ (ตารางที่ ข.12)
10. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 2. – ข้อ 9. โดยปรับอุณหภูมิเป็น 18, 21, 24, 27 และ 30 °C ตามลำดับ

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิอากาศกับขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบผลของอุณหภูมิของอากาศที่มีต่อขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ พบว่าเมื่อระดับอุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อขีดความสามารถในการคัด โดยที่ระดับอุณหภูมิในช่วง 18 – 25 °C จะมีขีดความสามารถในการคัดที่สูงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศจะมีผลต่อความหนาแน่นของก๊าซ ซึ่งส่งผลต่อค่าความคงทนของฉนวน (E_p) อากาศ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นจะทำให้ค่าความคงทนของอากาศ (E_p) ลดลง มีผลให้แรงสนามไฟฟ้าลดลงด้วย ทำให้แรงสนามไฟฟ้ากระทำต่อเมล็ดหญือให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้ามากขึ้นเป็นผลให้ขีดความสามารถของเครื่องต้นแบบอยู่ในระดับต่ำลง แต่ช่วง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของอากาศลดลงจาก 18 °C จากผลการทดสอบจะเห็นว่าขีดความสามารถในการตัดลดลง เนื่องจากผลของความหนาแน่นของอากาศเช่นกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำๆจะทำให้การแตกตัวของก๊าซ (Ionization) ยากขึ้นมีผลให้ประจุไฟฟ้ามีค่าน้อย มีผลให้แรงสนามไฟฟ้าน้อยลง เช่นกัน ดังนั้น อุณหภูมิของอากาศที่เหมาะสมในการตัดแยกเมลต์หญาจะอยู่ในช่วงระดับอุณหภูมิต่ำๆหนึ่ง

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าระดับอุณหภูมิอากาศมีผลต่อขีดความสามารถในการตัดแยกเมลต์หญาของเครื่องต้นแบบ โดยมีขีดความสามารถในการตัดแยก 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับอุณหภูมิอากาศช่วงค่าๆหนึ่ง คือ ระหว่าง 18 – 25 °C ที่ระดับอุณหภูมิอื่นจะมีขีดความสามารถในการตัดที่ไม่ดี ดังนั้นการใช้งานเครื่องต้นแบบที่อุณหภูมิปกติของประเทศไทยในแต่ละที่อาจมีขีดความสามารถในการตัดแยกไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสถานที่และเวลาการใช้งาน

4.3.4 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอากาศกับขีดความสามารถในการตัดแยกของเครื่องต้นแบบ

เพื่อศึกษาผลของความชื้นของอากาศที่มีผลต่อขีดความสามารถในการตัดแยกของเครื่องต้นแบบ เนื่องจากความชื้นของอากาศขณะใช้งานจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสถานที่และเวลาการใช้งาน ในการทดสอบใช้ห้องปรับอากาศที่ปิดมิดชิดกันความชื้นจากภายนอกบริเวณ ซึ่งการทดสอบผลของความชื้นของอากาศที่มีต่อขีดความสามารถในการตัดแยกทำให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 0 – 60 kV_{dc}
2. ต้นแบบเครื่องตัดแยกเมลต์หญาจากปลายข้าวโดยใช้สนามไฟฟ้า
3. ตัวอย่างปลายข้าวสาร 10 กิโลกรัมที่มีอัตราการเจือปนของเมลต์หญา 50 กรัม
4. ห้องปรับอากาศ เครื่องวัดความชื้นอากาศและเครื่องวัดอุณหภูมิ
5. เครื่องชั่งดิจิตอล
6. ภาชนะสำหรับรองรับวัสดุทดสอบ

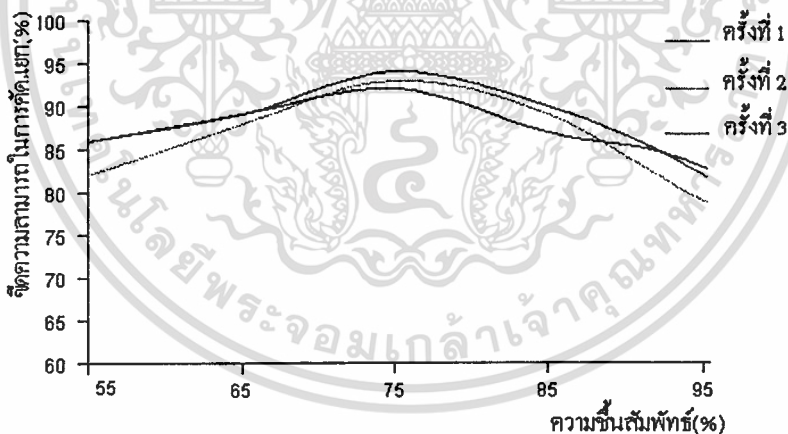
ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงกับต้นแบบเครื่องตัดแยกเมลต์หญาจากปลายข้าวสาร

เอกสารนี้เป็น 2. ปรับช่องของกล่องปล่อยปลายข้าวสาร ให้มีพิคัดอัตราการไหล 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จัดเตรียมภาชนะรองวัสดุทดสอบให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม
4. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดคัดแยกของเครื่องต้นแบบที่ระดับ 40 kV
5. ปรับความชื้นของอากาศภายในห้อง โดยการเพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศ โดยวัดด้วยเครื่องวัดความชื้นของอากาศ เพื่อให้ได้ความชื้นของอากาศสัมพัทธ์ 55 %
6. ปลอ่ยตัวอย่างทดสอบลงกล่องปลอ่ยปลายข้าวสารของเครื่องต้นแบบ ปลอ่ยให้ตัวอย่างไหลผ่านชุดคัดแยกจนหมด
7. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าลดลง แล้วทำการดิจซาร์จลงกราวนด์
8. นำปลายข้าวสารที่ผ่านการคัดแล้วออกมา และทำการเก็บตัวอย่างทดสอบที่ถูกคัดแยกออกมาทางปลอ่ยทิ้งเมล็ดหญ้ามาทำการคัดให้เหลือเฉพาะเมล็ดหญ้าอย่างเดียว
9. นำเมล็ดหญ้าที่คัดได้มาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณเทียบกับจำนวนเมล็ดหญ้าที่ใส่เข้าไป บันทึกผลการทดสอบ (ตารางที่ ข.13)
10. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 2. – ข้อ 9. โดยปรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็น 65 %, 75 %, 85 % และ 95 % ตามลำดับ

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.15 ผลของความชื้นอากาศกับขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบผลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่มีต่อขีดความสามารถในการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ พบว่าเมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกไม่มากนัก โดยที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วง 70 – 85 % จะมีขีดความสามารถในการคัดแยกที่สูงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีผลต่อค่าความคงทนของฉนวน (E_0) จะทำให้การแตกตัวของก๊าซ (Ionization) ยากขึ้นมีผลให้ประจุไฟฟ้ามีค่าน้อย มีผลให้แรงสนามไฟฟ้าน้อยลงด้วยเช่นกัน ดังนั้น จากการทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจะอยู่ในช่วงระดับค่าๆหนึ่ง ที่ทำให้แรงสนามไฟฟ้ากระทำต่อเมล็ดหญ้าให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้าสะดวก

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกเมล็ดหญ้าของเครื่องต้นแบบ โดยมีขีดความสามารถในการคัดแยก 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศช่วงค่าๆหนึ่ง คือ ระหว่าง 70 – 85 % ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์อื่นจะมีขีดความสามารถในการคัดที่ไม่ดี ดังนั้นการใช้งานเครื่องต้นแบบที่อุณหภูมิปกติของประเทศไทยในแต่ละที่อาจมีขีดความสามารถในการคัดแยกไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสถานที่และเวลาการใช้งาน

4.4 บทสรุปและวิเคราะห์ผล

จากการออกแบบสร้างและทดสอบต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า พบว่าเทคนิคการคัดแยกเมล็ดหญ้าโดยใช้สนามไฟฟ้า สามารถมีขีดความสามารถในการคัดแยกได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิอากาศประมาณ 18-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วง 65-85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานที่และเวลาในการใช้งาน โดยสามารถปรับระดับความสามารถในการคัดแยก โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ชุดอิเล็กทรอนิกส์สร้างสนามไฟฟ้า จากการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 38 - 45 kV เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับเครื่องต้นแบบ โดยมีอัตราการไหลของปลายข้าวสารในช่วงประมาณ 50 – 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การคัดแยกมีขีดความสามารถที่ดี เป็นไปตามขอบเขตที่ตั้งไว้

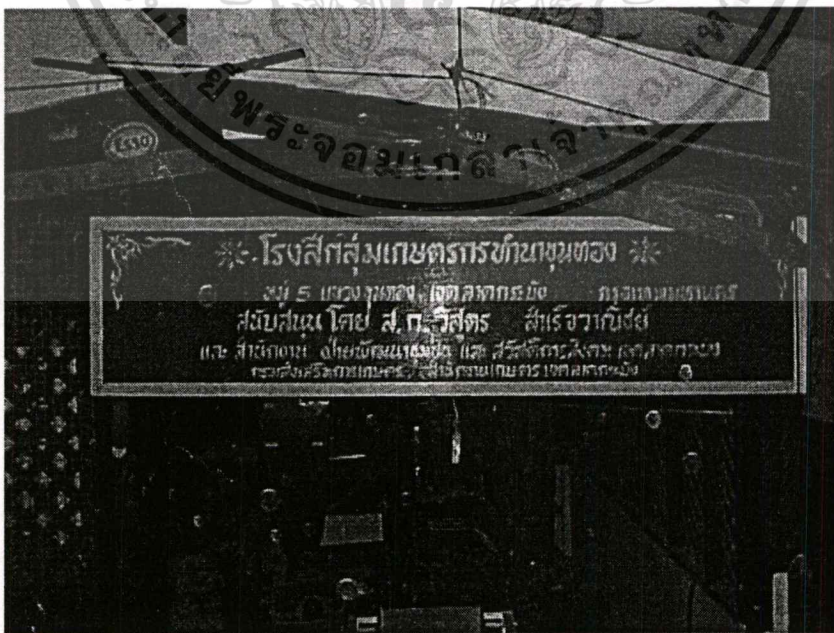
การทดสอบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวในขณะใช้งานจริง และวิเคราะห์ผล

5.1 บทนำ

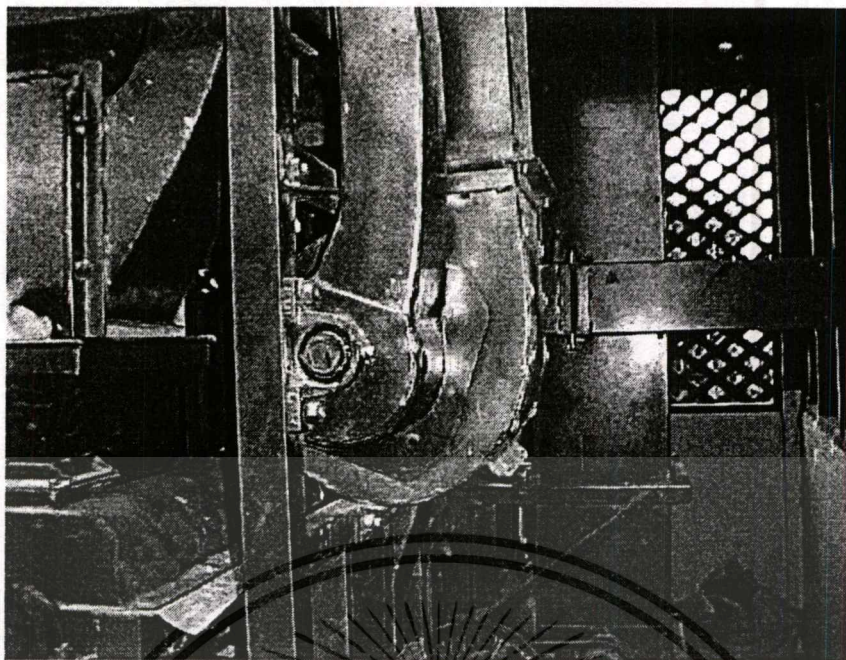
ต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เมื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยจำลองสภาพแวดล้อมต่างๆและปัจจัยที่มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกแล้ว ทำให้เรารู้ถึงคุณลักษณะของเครื่องต้นแบบ จากนั้นได้นำเครื่องต้นแบบไปใช้งานจริง โดยสามารถคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวเพียงตัวลำพังเครื่องเดียวได้ หรือสามารถติดตั้งใช้งานร่วมกับระบบโรงสีข้าวได้โดยการต่อท่อจากช่องปลายข้าวสารเพื่อป้อนให้กับถังวัสดุรอกการคัดแยกของเครื่องต้นแบบปล่อยสู่ขบวนการคัดแยกต่อไป

5.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบร่วมกับโรงสีกลุ่มเกษตรกรทำนาชุมชนทอง

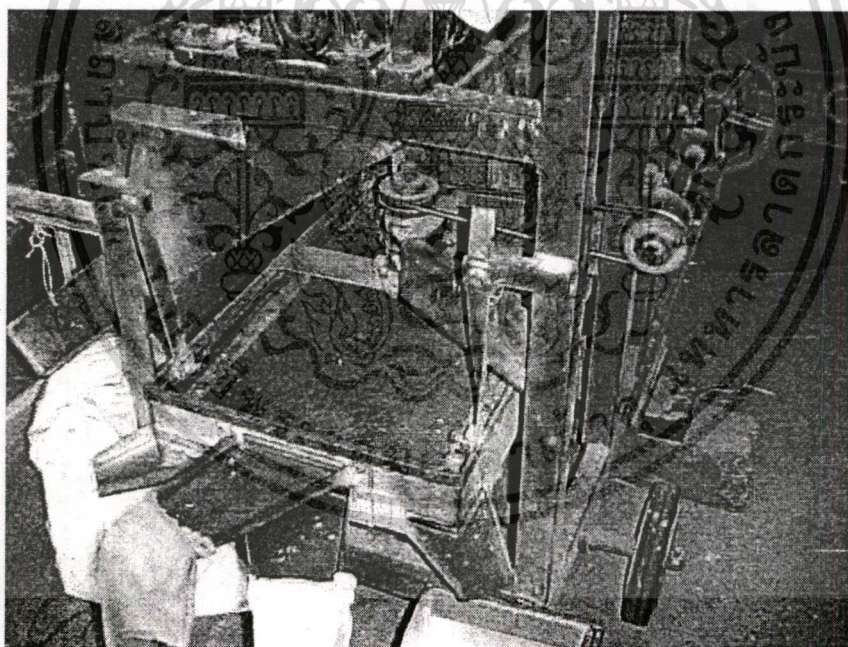
การทดสอบเครื่องต้นแบบกับโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาชุมชนทอง หมู่ที่ 5 แขวงชุมทอง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยทำการต่อท่อส่งปลายข้าวสารของโรงสีเข้ากับกล่องวัสดุรอกการคัดแยกเครื่องต้นแบบแล้วทำการทดสอบร่วมกับการทำงานของโรงสีข้าว



รูปที่ 5.1 สถานที่ทดสอบ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

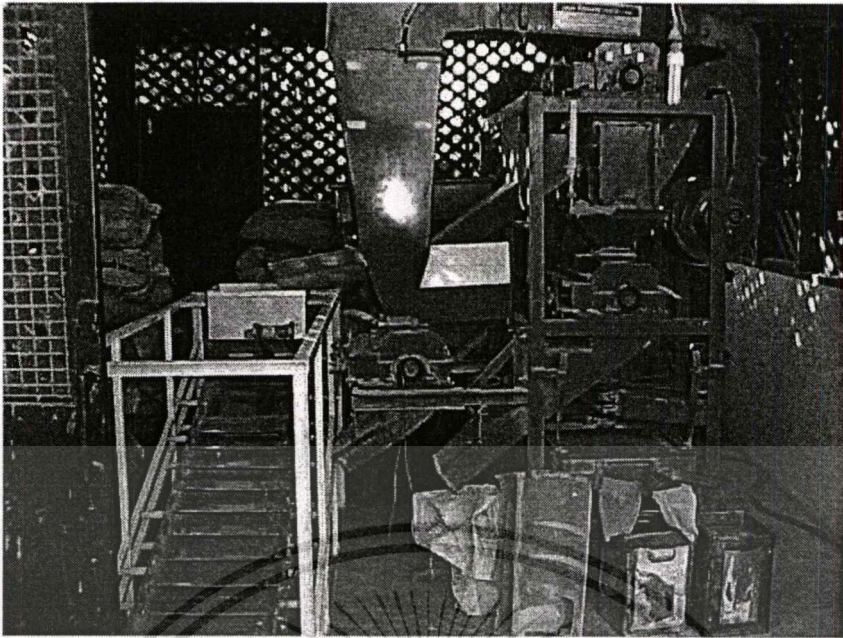


รูปที่ 5.2 ชุดเป่าลมของโรงสีสำหรับเป่าสิ่งเจือปนที่มากับข้าวเปลือกของโรงสี

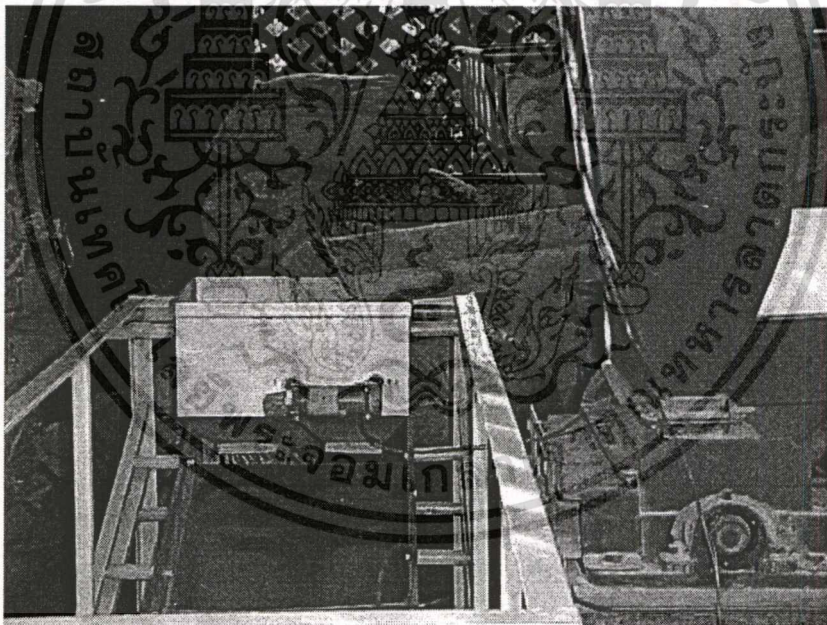


รูปที่ 5.3 ตะแกรงล่อนเพื่อแยกข้าวสารและข้าวที่หักจากการสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

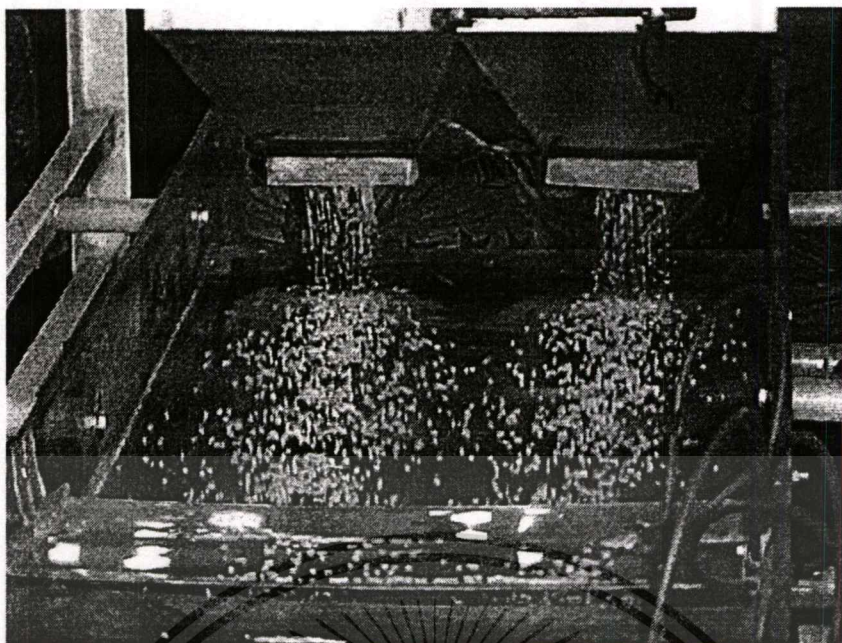


รูปที่ 5.4 การติดตั้งเครื่องต้นแบบ

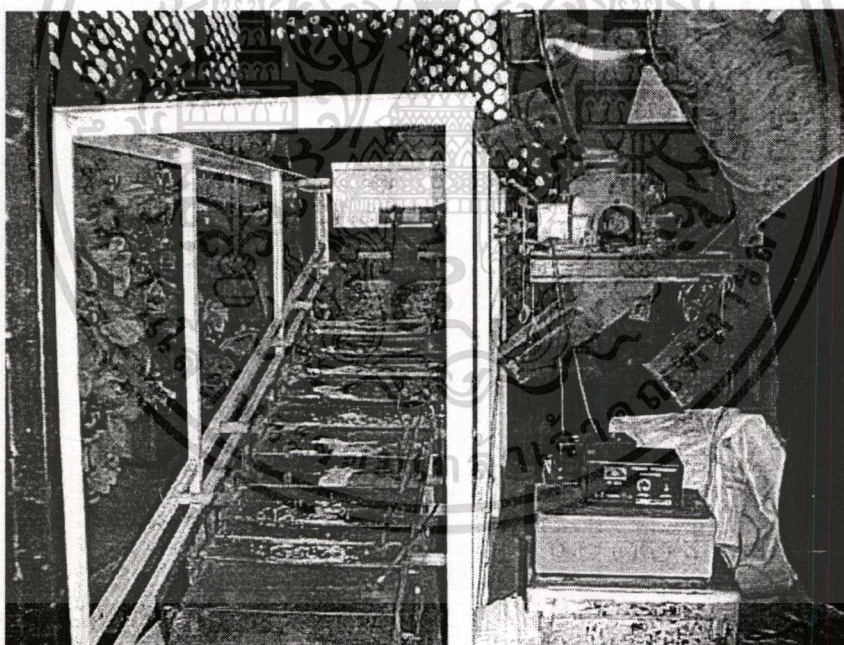


รูปที่ 5.5 การต่อท่อปลายข้าวสารระหว่างโรงสีกับเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

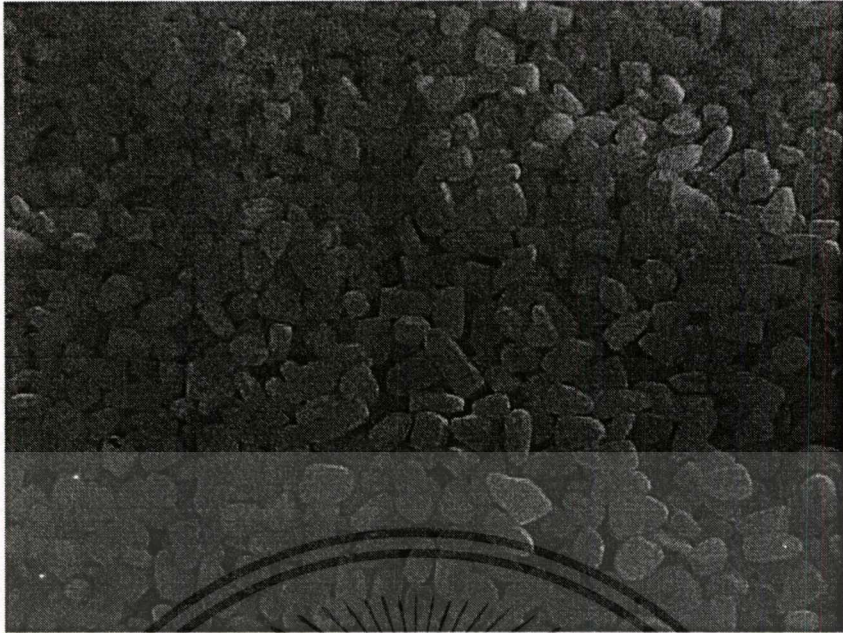


รูปที่ 5.6 ปลายข้าวที่ออกจากคอกวัสดรอตัดแยก



รูปที่ 5.7 ลักษณะการทำงานร่วมกับโรงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ปลายข้าวที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องต้นแบบ

5.3 สรุปและวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบร่วมกับโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาชุมทอง สามารถทำงานร่วมกับโรงสีได้ซึ่งไม่ต้องเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานของโรงสี โดยการต่อท่อส่งปลายข้าวสารเข้ากับกล่อ่งปล่อยปลายข้าวของเครื่องต้นแบบก็สามารถทำงานได้ ข้อดีของเครื่องต้นแบบมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ติดตั้งได้สะดวก อีกทั้งยังไม่เกิดการฟุ้งกระจายขณะทำงาน และยังสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของปลายข้าวสารจากเดิมให้สูงขึ้น

บทสรุปและเสนอแนะ

ต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสารโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เป็นการนำความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและการเกิดไฟฟ้าสถิตมาประยุกต์สร้างเครื่องจักรใช้ในการคัดแยกเมล็ดหญ้าเพื่อเพิ่มคุณภาพของปลายข้าวสารให้สูงขึ้น โดยอาศัยแรงของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดคั่วหน้าแบบระนาบที่สร้างขึ้น ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงขั้วลบให้กับแผ่นอิเล็กโทรดบนและต่อแผ่นอิเล็กโทรดล่างกับกราวด์ ทำให้แรงสนามไฟฟ้ามีทิศทางจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำ เมื่อปลายข้าวสารที่มีเมล็ดหญ้าปะปนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น แรงของสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อเมล็ดหญ้าให้แยกตัวออกจากปลายข้าวและเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าไปยังปล่องสำหรับทิ้ง ส่วนปลายข้าวสารจะเคลื่อนที่ตามทิศทางปกติไหลลงช่องปลายข้าวเพื่อเข้าสู่ระบบอื่นต่อไป การออกแบบอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการคัดแยกเมล็ดหญ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำวิธีไฟในท้อลิเมนท์มาช่วยในการวิเคราะห์แนวแรงของสนามไฟฟ้าโดยจะเป็นการหาการกระจายของระดับแรงดันที่ป้อน, ทิศทางของแนวแรงและขนาดของแรงที่กระทำกับเมล็ดหญ้าที่เคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า และศึกษาแรงดันฟิสิกส์ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อใช้ในการออกแบบอิเล็กโทรดให้มีความเหมาะสมสำหรับการคัดแยกเมล็ดหญ้า จากการศึกษาทดลองทั้งหมดในข้างต้นที่ผ่านมาสามารถสรุปดังนี้

1 โครงสร้างของเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสารโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

โครงสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า ได้มีการออกแบบในบทที่ 3 และบทที่ 4 โดยทำการศึกษาข้อมูลและสร้างให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการนำไปใช้งานและความเป็นไปได้ในการคัดแยกเมล็ดหญ้าออกจากปลายข้าวให้ขีดความสามารถที่สูง และเหมาะสมโดยมีส่วนประกอบดังนี้

- กล่องปล่อยปลายข้าว มีปริมาตร $20 \times 38 \times 30 \text{ cm}^3$ สำหรับรองรับปลายข้าวจากสายพานลำเลียงมาเก็บเพื่อปล่อยออกทางช่องปล่อยสู่ชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า วัสดุที่ใช้ทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 mm ทำการขึ้นรูปเพื่อให้มีความแข็งแรง โดยช่องปล่อยปลายข้าวสารสามารถปรับความกว้างของช่องได้ เพื่อกำหนดอัตราการไหลของปลายข้าวได้ตั้งแต่ 50 – 450 kg/hr ซึ่งกล่องปล่อยปลายข้าวได้ติดตั้งในตำแหน่งที่สูงสุดห่างจากแผ่นอิเล็กโทรดบน 10 cm รายละเอียดกล่องปล่อยปลายข้าวจากบทที่ 3 และรูปร่างลักษณะของกล่องปล่อยปลายข้าว ดังรูปที่ 3.1

- อิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า มีลักษณะแผ่นระนาบ เพื่อให้มีความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า โดยแผ่นอิเล็กโทรดบนทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 mm ขนาดความยาว 15 cm กว้าง 37 cm เคลือบด้วยฉนวนอะคริลิกเพื่อเป็นเทคนิคป้องกันการเบรกดาวน์ มีจำนวนอิเล็กโทรดบน 12 แผ่น สำหรับการคัดแยก จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์ออกแบบลักษณะของแผ่นอิเล็กโทรด โดยห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดช่วงต้นมีระยะห่าง 4 cm และทำมุมกับแผ่นอิเล็กโทรดล่าง 20 องศา ซึ่งขนาดและทิศทางของแรงสนามไฟฟ้ามีความเหมาะสมและมีช่องว่างเพื่อเป็นทางออกของเมล็ดหญ้าไปยังปล่องทิ้งเมล็ดหญ้าได้สะดวก รายละเอียดจากบทที่ 3

- ปล่องสำหรับทิ้งเมล็ดหญ้า วัสดุที่ใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้า ทำจากแผ่นพลาสติกอะคริลิกใส ความหนา 5 mm พับขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อความแข็งแรง มีปริมาตร $37 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$ การติดตั้งยึดติดกับแผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 10 mm รายละเอียดจากบทที่ 4 มีลักษณะดังรูปที่ 4.6

- ปล่องสำหรับปลายข้าวที่คัดแยกแล้ว วัสดุที่ใช้ทำจากแผ่นพลาสติกอะคริลิกใส ความหนา 5 mm พับขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อความแข็งแรง มีปริมาตร $37 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$ การติดตั้งยึดติดกับแผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 10 mm รายละเอียดจากบทที่ 4 มีลักษณะดังรูปที่ 4.7

ต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสาร โดยใช้สนามไฟฟ้า ได้ทำการทดสอบคุณลักษณะและขีดความสามารถในการคัดแยก โดยสามารถมีพิกัดอัตราการคัดแยกได้ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและมีขีดความสามารถในการคัดแยกได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยขีดความสามารถในการคัดแยกจะแปรเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบ ดังนี้คือ

- ปริมาณอัตราการไหลปลายข้าว ถ้ามีอัตราการไหลของปลายข้าวไม่มากนักจะมีขีดความสามารถที่ดี แต่ถ้าอัตราการไหลมีค่าเพิ่มมากขึ้นเกินกว่าพิกัดของเครื่องต้นแบบจะทำให้ขีดความสามารถลดลง โดยอัตราการไหลของปลายข้าวที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 50 – 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีขีดความสามารถสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีข้อมูลผลการทดลองแสดงไว้ในบทที่ 4

- ระดับแรงดันไฟฟ้า มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยก เนื่องจากความเครียดสนามไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระดับแรงดันที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กโทรด(สมการที่ 2.1) ทำให้แรงสนามไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย(สมการที่ 2.14) ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 35 – 45 kV จะมีขีดความสามารถในการคัดแยกที่สูงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีข้อมูลผลการทดลองแสดงไว้ในบทที่ 4

- อุณหภูมิของอากาศ เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศจะมีผลต่อความหนาแน่นของก๊าซ ซึ่งส่งผลต่อค่าความคงทนของฉนวน(E_0) อากาศ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นจะทำให้ค่าความคงทนของอากาศ (E_0) ลดลง มีผลทำให้แรงสนามไฟฟ้าลดลงด้วย มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกเมล็ดหญ้าของเครื่องต้นแบบ โดยมีขีดความสามารถในการคัดแยก 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับอุณหภูมิ

อากาศช่วงค่าๆหนึ่ง คือ ระหว่าง 18 – 25 °C ที่ระดับอุณหภูมิต่ำอื่นจะมีขีดความสามารถในการคัดที่ไม่ดี โดยมีข้อมูลผลการทดลองแสดงไว้ในบทที่ 4

- ความชื้นของอากาศ ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกไม่มากนัก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมีผลต่อค่าความคงทนของฉนวน (E_0) จะทำให้การแตกตัวของก๊าซ (Ionization) ยากขึ้นมีผลให้ประจุไฟฟ้ามีค่าน้อย มีผลให้แรงสนามไฟฟ้าน้อยลงด้วยเช่นกัน ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจะอยู่ในช่วงระดับค่าๆหนึ่งในช่วง 70 – 85 % จะมีขีดความสามารถในการคัดแยกที่สูงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีข้อมูลผลการทดลองแสดงไว้ในบทที่ 4

2 การทดสอบใช้งานจริงต้นแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสารโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

การทดสอบเครื่องต้นแบบร่วมกับโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาชุมทอง เขตลาดกระบัง ผลที่ได้สามารถทำงานร่วมกับโรงสีได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานของโรงสี สามารถต่อท่อส่งปลายข้าวสารจากโรงสีเข้ากับกล่องปล่อยปลายข้าวของเครื่องต้นแบบก็สามารถทำงานได้ ข้อดีของเครื่องต้นแบบมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ติดตั้งได้สะดวก ใช้พลังงานต่ำ อีกทั้งยังไม่เกิดการฟุ้งกระจายขณะทำงาน และยังสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของปลายข้าวสารจากเดิมให้สูงขึ้น โดยรายละเอียดแสดงไว้ในบทที่ 5

3. ข้อดี

- เพิ่มคุณภาพของปลายข้าวสารให้สูงขึ้น
- ใช้พลังงานในการคัดแยกต่ำ
- ไม่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง ในขณะที่ทำการคัดแยก
- ขนาดของเครื่องคัดแยกจะมีขนาดเล็ก
- สามารถเคลื่อนย้ายและติดตั้งใช้งาน ได้สะดวก
- บำรุงรักษา ได้ง่าย
- ต้นทุนในการสร้างไม่สูง เนื่องจากใช้วัสดุในประเทศ

4. ข้อเสีย

- เมล็ดปลายข้าวที่มีขนาดเล็กและเบากว่าเมล็ดหญ้าจะถูกคัดแยกออกไปด้วย
- อุปกรณ์บางชิ้นมีอายุการใช้งานที่สั้น
- การติดตั้งต้องมีระบบกราวด์เพื่อความปลอดภัย
- การควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของปลายข้าวทำได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า น่าจะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มคุณภาพของปลายข้าวสารให้มีคุณภาพที่สูง สามารถนำไปแปรรูปได้ทันที ซึ่งการใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการคัดแยกที่ต่ำ ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ วัสดุที่ใช้สร้างมีจำหน่ายในประเทศเพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุงและมีราคาที่ไม่สูงมากนัก สามารถติดตั้งใช้งานในโรงสีหรือสถานที่ต่างๆ ได้สะดวก

แนวทางการพัฒนา

เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าที่จัดสร้างขึ้นควรมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุในการทำชุดอิเล็กโทรดให้มีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอเนื่องจากการเสียดสีกับวัสดุเพื่อความเหมาะสมสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรม การออกแบบพัฒนาชุดอิเล็กโทรดให้มีจำนวนแผ่นที่น้อยลงและการจัดการกับเมล็ดหญ้าที่ถูกคัดแยกออกมาแล้วให้ลงสู่ปล่องทิ้งที่สะดวกและมีขีดความสามารถที่สูง

อย่างไรก็ตามผู้จัดทำวิทยานิพนธ์หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการทดลองค้นคว้าของโครงการวิจัยเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้านี้พอจะเป็นประโยชน์และแนวทางต่อผู้อ่าน และผู้ที่สนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง สามารถนำไปพัฒนาและศึกษาทดลองค้นคว้าต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] E.Kuff, M.Abddulah “ **High-Voltage Engineering**”, Oxford , Pergamon Press, 1977.
- [2] E.Kuff, W.S.Zaengl, J.Kufful “ **High-Voltage Engineering** ”,Second edition 2000,Oxford ,
Published by Butterworth-Heinemann, 2000.
- [3] L.L. Alston “**High-Voltage Technology**”, London , Oxford University Press, 1968.
- [4] W.H. Hayt “**Engineering Electromagnetics**”, New York , McGrawHill, 1981.
- [5] Liang Chi Shen, Jin Au Kong “**Applied Electromagnetism**”,Third Edition, PWS
Foundationsin Engineering Series,PWS Publishing Company, Boston, 1999.
- [6] Jen-Shih Chang, Arnold J.Kelly, Joseph M.Crowley “**Handbook of Electromagnetic
Processes**”, Marcel Dekker, Inc. New York, 1995.
- [7] Jaime Benitez, “**Process Engineering and Design for Air Pollution Control**”, PTR
Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- [8] Saeed Moaveni “**Finite Element Analysis.Theory and Application with ANSYS**”,
Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1999.
- [9] Matehew, N.O.Sadiku “**A Simple Introduction to Finite Element Analysis of
Electromagnetic Problems.**” IEEE Trans. Educ., vol. 32, pp. 85-93 ,1989.
- [10] P.Kerdonfag,C.Klinsa-ard ,W.Khan-ngern and S.Ketkaew “**Rice Grain Separation by
Applied Electric Field.** ” International Conference on Electromagnetic Compatibility
ICEMC2002, Bangkok, Thailand, pp. 242-245, 2002.
- [11] ดร.สำราญ สังข์สะอาด “**วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรม-
ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
- [12] ไพโรจน์ ตรีวัฒนกุลและทวีศักดิ์ แก้วขิม “**ฟิสิกส์พื้นฐานกลศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง)**” ศูนย์
สื่อเสริมกรุงเทพ, หน้า 56-61,2536
- [13] พงษ์เทพเกิดดอนแฝก “**เทคนิคการวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงโดยมอเตอร์สนามไฟฟ้า**” วิทยา
นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2528.
- [14] พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก, พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, จักรพงษ์ กลิ่นสะอาด และศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล
“**การศึกษาการใช้แรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืช**”,สัมมนาวิชาการวิทยาการ
หลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก, ศิริโชค ปรีดิโคทกพร, ทศพร พรหมสิทธิ์ และศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล
 “การสร้างแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง จากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการคัดแยก
 เมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า”, วิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อ
 สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน, การประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่ง
 ประเทศไทย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, หน้า 344-350, 2546



ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก. รูปต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว
โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า
- ภาคผนวก ข. ตารางผลทดสอบ
- ภาคผนวก ค. การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของเมล็ดพืช
- ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

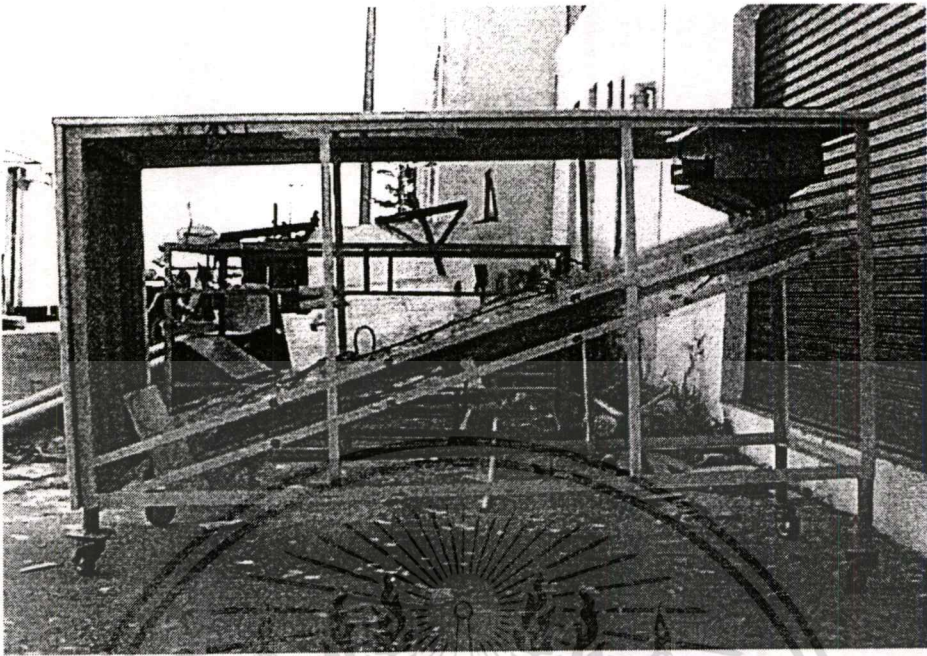
ภาคผนวก ก.

รูปต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าว

โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

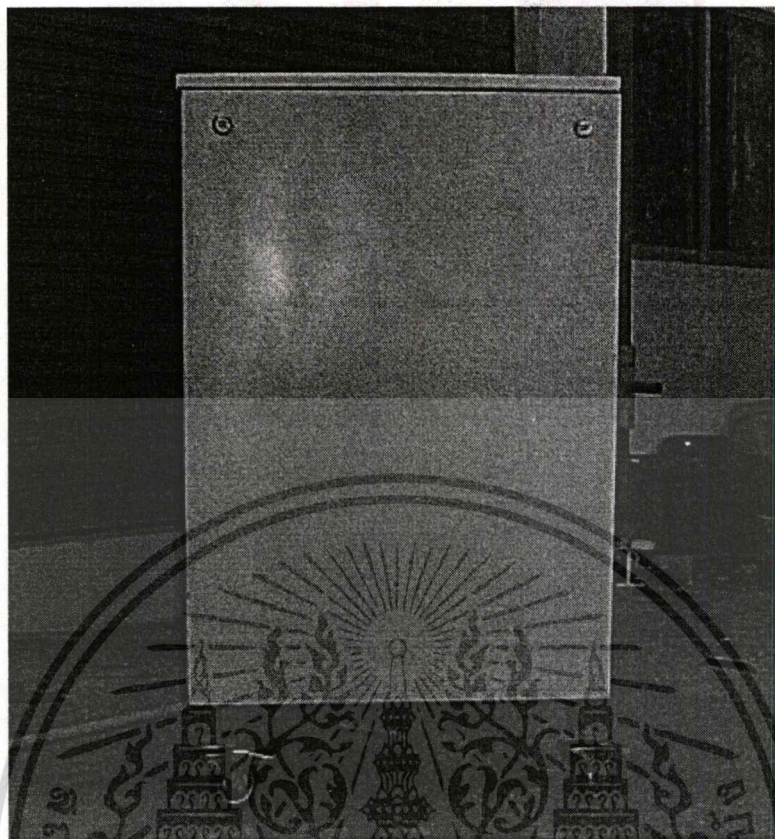


รูปที่ ก.1 โครงสร้างภายในเครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า



รูปที่ ก.2 เครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าพร้อมฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

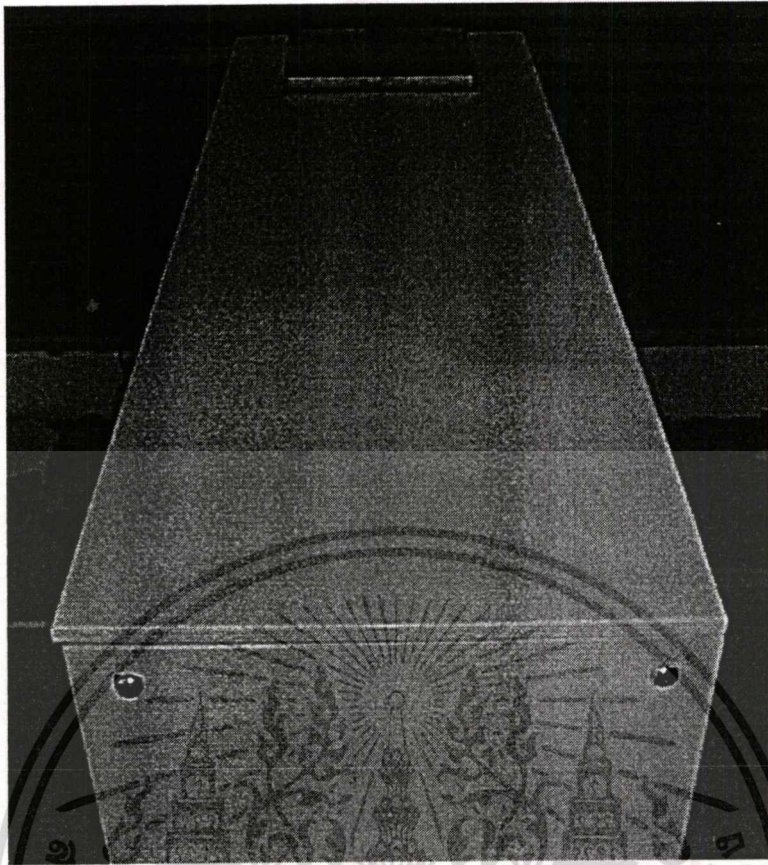


รูปที่ ก.3 เครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า(ด้านหน้า)



รูปที่ ก.4 เครื่องตัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า(ด้านข้าง)

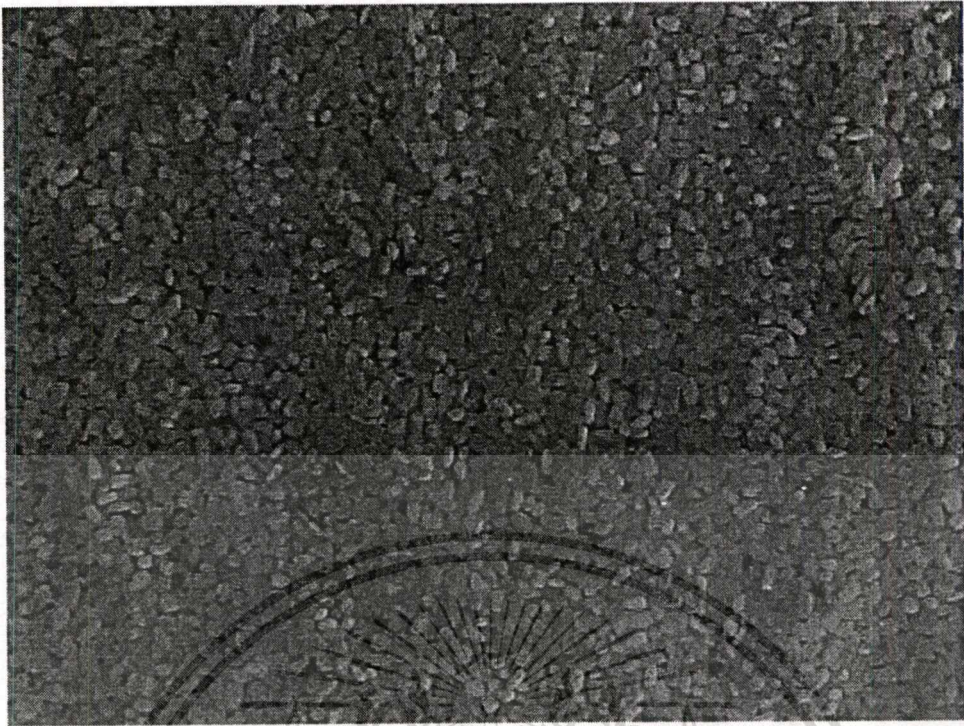
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



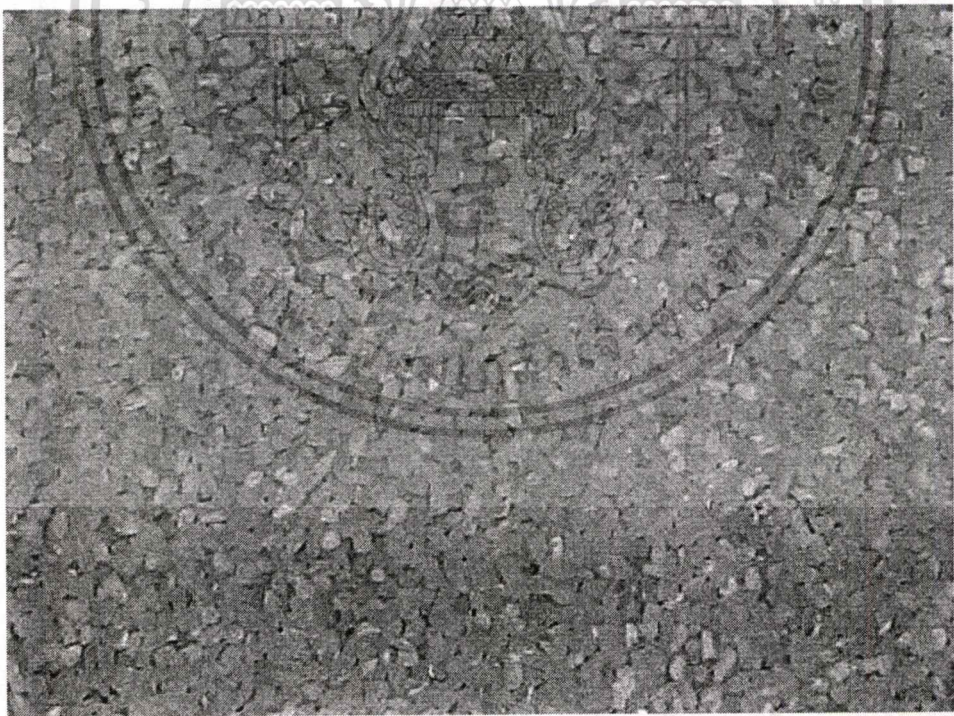
รูปที่ ก.5 เครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า(ด้านบน)



เอกส **รูปที่ ก.6 ลักษณะของเมล็ดหญ้า** การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 ปลายข้าวสารที่ยังไม่ผ่านการคัดแยกเมล็ดหญ้า



รูปที่ ก.8 ปลายข้าวสารที่ผ่านต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางคุณสมบัติเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

ประสิทธิภาพในการคัด	90 %
กำลังไฟฟ้า	5 – 10 W
มูลค่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้นต่อ 1000 กิโลกรัม	1000 บาท
แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า	0 – 60 kV _{dc}
มลพิษทางเสียง	เสียงเบามาก
มลพิษทางอากาศขณะใช้งาน	ไม่ฟุ้งกระจาย
การซ่อมบำรุง	- สามารถทำได้ง่าย - ค่าใช้จ่ายต่ำ
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าใช้จ่ายต่ำ
การติดตั้งใช้งาน	- สามารถเคลื่อนย้ายได้ - ติดตั้งได้ง่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบหามุมเริ่มต้นสำหรับการติดตั้งแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคล่าง

ขนาดมุม (องศา)	การไหลของปลายข้าว
5	ไม่ไหล
10	ไม่ไหล
15	เริ่มไหล
20	ไหลพอสมควร
25	ไหลเร็วมาก

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบการกระจายของปลายข้าวที่ความกว้างของอิเล็กทรอนิกส์โทรคล่าง

ความกว้าง (cm)	การกระจายของปลายข้าว
20	หนาแน่นมาก
30	การกระจายดี แต่ยังหนาแน่น
40	กระจายตัวได้ดี ไม่ทับกัน

ตารางที่ ข.3 ผลการชั่งน้ำหนักของเมล็ดหญ้า

จำนวนครั้ง	น้ำหนักของเมล็ดหญ้า (g)	จำนวนครั้ง	น้ำหนักของเมล็ดหญ้า (g)
1	0.003	11	0.003
2	0.003	12	0.003
3	0.003	13	0.002
4	0.002	14	0.003
5	0.002	15	0.003
6	0.003	16	0.003
7	0.003	17	0.002
8	0.002	18	0.002
9	0.003	19	0.003
10	0.002	20	0.003

ตารางที่ ข.3 ผลการชั่งน้ำหนักของเมล็ดหญ้า (ต่อ)

จำนวนครั้ง	น้ำหนักของเมล็ดหญ้า (g)	จำนวนครั้ง	น้ำหนักของเมล็ดหญ้า (g)
21	0.003	48	0.002
22	0.002	49	0.002
23	0.002	50	0.002
24	0.003	51	0.003
25	0.002	52	0.002
26	0.002	53	0.003
27	0.003	54	0.002
28	0.003	55	0.003
29	0.003	56	0.002
30	0.002	57	0.003
31	0.003	58	0.003
32	0.003	59	0.002
33	0.003	60	0.003
34	0.003	61	0.002
35	0.002	62	0.002
36	0.002	63	0.003
37	0.003	64	0.003
38	0.003	65	0.002
39	0.002	66	0.002
40	0.003	67	0.003
41	0.002	68	0.003
42	0.003	69	0.003
43	0.002	70	0.003
44	0.003	71	0.003
45	0.003	72	0.002
46	0.003	73	0.003
47	0.003	74	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการชั่งน้ำหนักของเมล็ดหญ้า (ต่อ)

จำนวนครั้ง	น้ำหนักของเมล็ดหญ้า (g)	จำนวนครั้ง	น้ำหนักของเมล็ดหญ้า (g)
75	0.003	88	0.002
76	0.003	89	0.003
77	0.003	90	0.003
78	0.003	91	0.002
79	0.002	92	0.003
80	0.003	93	0.003
81	0.003	94	0.002
82	0.002	95	0.002
83	0.003	96	0.003
84	0.003	97	0.003
85	0.003	98	0.002
86	0.003	99	0.003
87	0.002	100	0.003

น้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดหญ้า

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักเฉลี่ย} &= \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \\
 &= \frac{0.0026}{100} \approx 0.003 \text{ g}
 \end{aligned}$$

เมื่อ a_i คือ น้ำหนักเมล็ดหญ้า

n คือ จำนวนครั้งในการชั่ง

ตารางที่ ข.4 ผลการชั่งน้ำหนักของปลาขี้ขาว

จำนวนครั้ง	น้ำหนักของปลาขี้ขาว (g)	จำนวนครั้ง	น้ำหนักของปลาขี้ขาว (g)
1	0.008	29	0.008
2	0.008	30	0.008
3	0.008	31	0.008
4	0.008	32	0.006
5	0.008	33	0.006
6	0.011	34	0.008
7	0.008	35	0.008
8	0.009	36	0.006
9	0.008	37	0.006
10	0.006	38	0.006
11	0.008	39	0.008
12	0.009	40	0.011
13	0.006	41	0.008
14	0.009	42	0.007
15	0.009	43	0.008
16	0.007	44	0.008
17	0.011	45	0.008
18	0.008	46	0.006
19	0.007	47	0.008
20	0.008	48	0.008
21	0.006	49	0.008
22	0.008	50	0.01
23	0.008	51	0.008
24	0.011	52	0.011
25	0.008	53	0.01
26	0.008	54	0.007
27	0.008	55	0.008
28	0.008	56	0.006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลการชั่งน้ำหนักของปลายข้าว (ต่อ)

จำนวนครั้ง	น้ำหนักของปลายข้าว (g)	จำนวนครั้ง	น้ำหนักของปลายข้าว (g)
57	0.006	79	0.008
58	0.007	80	0.007
59	0.005	81	0.008
60	0.009	82	0.008
61	0.007	83	0.008
62	0.008	84	0.008
63	0.008	85	0.008
64	0.009	86	0.005
65	0.011	87	0.005
66	0.008	88	0.008
67	0.01	89	0.008
68	0.008	90	0.008
69	0.006	91	0.008
70	0.008	92	0.007
71	0.009	93	0.008
72	0.007	94	0.006
73	0.008	95	0.006
74	0.008	96	0.008
75	0.008	97	0.006
76	0.007	98	0.008
77	0.008	99	0.005
78	0.006	100	0.011

น้ำหนักเฉลี่ยของปลายข้าว

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักเฉลี่ย} &= \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \\ &= 0.0078 \text{ g} \approx 0.008 \text{ g} \end{aligned}$$

เมื่อ a_i คือ น้ำหนักปลายข้าว

n คือ จำนวนครั้งในการชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย
ผลการทดลองที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 15 kV

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	16	11	14
2	19	12	12
3	18	13	19
4	16	14	12
5	19	15	18
6	15	16	15
7	18	17	16
8	16	18	19
9	14	19	18
10	10	20	12

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน $x = 15.8$ cm.

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)
ผลการทดลองที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 kV

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	14	11	15
2	18	12	18
3	19	13	9
4	12	14	12
5	19	15	12
6	18	16	12
7	19	17	15
8	15	18	17
9	12	19	16
10	17	20	18

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน $x = 15.35$ cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)
ผลการทดลองที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 30 kV

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	10	11	16
2	15	12	14
3	14	13	16
4	9	14	14
5	14	15	16
6	13	16	9
7	9	17	15
8	13	18	10
9	16	19	14
10	17	20	10

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 13.2 cm.

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)
ผลการทดลองที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	15	11	13
2	10	12	13
3	10	13	10
4	14	14	11
5	11	15	15
6	15	16	16
7	10	17	13
8	12	18	15
9	16	19	13
10	15	20	9

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 12.8 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทาง
ในแนวระนาบเฉลี่ย

ผลการทดลองที่ความเร็ว 0.020 m/s

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	7	11	2
2	3	12	3
3	2	13	4
4	4	14	2
5	4	15	5
6	6	16	5
7	7	17	4
8	6	18	3
9	5	19	4
10	7	20	5

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 4.4 cm.

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทาง
ในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่ความเร็ว 0.025 m/s

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	9	11	9
2	6	12	7
3	7	13	7
4	6	14	6
5	7	15	9
6	8	16	7
7	6	17	5
8	5	18	4
9	8	19	8
10	8	20	3

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 6.75 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทาง
ในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่ความเร็ว 0.030 m/s

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	3	11	9
2	6	12	8
3	5	13	7
4	16	14	5
5	8	15	3
6	7	16	9
7	4	17	6
8	10	18	8
9	6	19	10
10	7	20	8

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน $x = 7.25$ cm.

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทาง
ในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่ความเร็ว 0.038 m/s

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	10	11	11
2	11	12	10
3	15	13	10
4	13	14	16
5	10	15	14
6	15	16	11
7	15	17	14
8	16	18	10
9	12	19	11
10	13	20	15

เอกสารนี้เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน $x = 12.6$ cm. ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทาง
ในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่ความเร็ว 0.043 m/s

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	11	11	15
2	15	12	13
3	13	13	18
4	14	14	15
5	17	15	10
6	16	16	18
7	16	17	15
8	14	18	13
9	17	19	17
10	13	20	15

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 14.75 cm.

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับระยะทาง
ในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่ความเร็ว 0.048 m/s

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)	ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	13	11	14
2	18	12	15
3	19	13	17
4	18	14	16
5	16	15	12
6	12	16	15
7	15	17	18
8	17	18	13
9	19	19	15
10	17	20	17

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 15.8 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย

ผลการทดลองที่น้ำหนัก 0.052 g

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	13
2	8
3	9
4	10
5	8
6	11
7	15
8	9
9	10
10	10
11	8
12	9
13	10
14	8
15	11

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 9.93 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่น้ำหนัก 0.07 g

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	14
2	10
3	13
4	12
5	18
6	10
7	12
8	9
9	9
10	17
11	16
12	18
13	16
14	17
15	17

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 13.86 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่น้ำหนัก 0.105 g

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	15
2	40
3	15
4	18
5	14
6	18
7	15
8	15
9	19
10	13
11	20
12	15
13	40
14	20
15	16

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 18.53 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับระยะทางในแนวระนาบเฉลี่ย(ต่อ)

ผลการทดลองที่น้ำหนัก 0.21 g

ครั้งที่	ระยะทางแนวแกน x (cm.)
1	18
2	20
3	19
4	17
5	16
6	19
7	40
8	17
9	40
10	20
11	30
12	15
13	19
14	40
15	20

เฉลี่ย ระยะทางแนวแกน x = 23.33 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 อัตราการเจือปนเมล็ดหญ้าในปลายข้าว

ทำการสุ่มตัวอย่างปลายข้าวจากโรงสีข้าวแต่ละที่ มาทำการหาอัตราเจือปนเมล็ดจริง

ปริมาณปลายข้าว (kg)	ปริมาณเมล็ดหญ้าเฉลี่ย (g)	อัตราเจือปนเฉลี่ย (%)
1	3.27	0.327
10	32.7	0.327
50	163.9	0.3278
100	328.6	0.3286

อัตราการเจือปนเมล็ดหญ้าในปลายข้าวเฉลี่ย = 0.33 %

ในการทดสอบเลือกใช้อัตราเจือปนเฉลี่ย = 0.5 %

หรือ อัตราผสมปลายข้าว 10 kg/เมล็ดหญ้า 50 g

ตารางที่ ข.9 จำนวนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคบนกับขีดความสามารถในการคัดแยก

ที่ระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์โทรค 3.7 cm อิเล็กทรอนิกส์โทรคบนทำมุม 20 องศา กับอิเล็กทรอนิกส์โทรคล่าง
เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.039 m/s อัตราเจือปนปลายข้าว 10 kg/เมล็ดหญ้า 50 g

จำนวน (แผ่น)	แรงดัน (kV)	อุณหภูมิ (°C)	(%) ความชื้นสัมพัทธ์	(%) ขีดความสามารถ
5	40	27	80	35
7	40	27	80	54
9	40	27	80	77
12	40	27	80	94

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับอัตราการไหลต่างๆ

อุณหภูมิอากาศ 28 (°C)

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 73.5 (%)

ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 1

อัตราการไหล (kg/hr)	ขีดความสามารถในการคัดแยก (%)
50	91
100	95
150	89
200	74
250	62
300	51

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับอัตราการไหลต่างๆ (ต่อ)

อุณหภูมิอากาศ 28 (°C)

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 74.8 (%)

ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 2

อัตราการไหล (kg/hr)	ขีดความสามารถในการคัดแยก (%)
50	92
100	93
150	90
200	80
250	68
300	52

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับอัตราการไหลต่างๆ (ต่อ)

อุณหภูมิอากาศ 28 (°C)

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 74 (%)

ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 3

อัตราการไหล (kg/hr)	ขีดความสามารถในการคัดแยก (%)
50	94
100	93
150	87
200	74
250	68
300	54

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับแรงดันไฟฟ้า

อุณหภูมิอากาศ 25.7 (°C)

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 86.6 (%)

ครั้งที่ 1

แรงดันไฟฟ้า(kV)	ขีดความสามารถในการคัดแยก (%)
10	42
15	51
20	62
25	69
30	77
35	82
40	94
45	88
50	80

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับแรงดันไฟฟ้า (ต่อ)

อุณหภูมิอากาศ 28.9 (°C)

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 87 (%)

ครั้งที่ 2

แรงดันไฟฟ้า(kV)	ขีดความสามารถในการตัดแยก (%)
10	44
15	50
20	62
25	69
30	76
35	83
40	92
45	89
50	81

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับแรงดันไฟฟ้า (ต่อ)

อุณหภูมิอากาศ 28.6 (°C)

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 87.2 (%)

ครั้งที่ 3

แรงดันไฟฟ้า(kV)	ขีดความสามารถในการตัดแยก (%)
10	45
15	51
20	64
25	71
30	78
35	87
40	92
45	89
50	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่อุณหภูมิของอากาศต่างๆ
ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 80 (%)
ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 1

อุณหภูมิอากาศ (°C)	ขีดความสามารถในการตัดแยก (%)
15	84
18	89
21	93
24	92
27	89
30	82

ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่อุณหภูมิของอากาศต่างๆ (ต่อ)
ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 80 (%)
ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 2

อุณหภูมิอากาศ (°C)	ขีดความสามารถในการตัดแยก (%)
15	86
18	89
21	95
24	92
27	90
30	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่อุณหภูมิของอากาศต่างๆ (ต่อ)

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 80 (%)

ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 3

อุณหภูมิอากาศ (°C)	ขีดความสามารถในการคัดแยก (%)
15	86
18	88
21	94
24	92
27	89
30	88

ตารางที่ ข.13 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับความชื้นอากาศสัมพัทธ์ต่างๆ

อุณหภูมิอากาศ 28 (°C)

ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 1

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (%)	ขีดความสามารถในการคัดแยก (%)
55	83
65	89
75	93
85	86
95	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับความชื้นอากาศสัมพัทธ์ต่างๆ (ต่อ)

อุณหภูมิอากาศ 28 (°C)

ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 2

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (%)	ขีดความสามารถในการตัดแยก (%)
55	86
65	90
75	95
85	88
95	74

ตารางที่ ข.13 ผลการทดสอบขีดความสามารถที่ระดับความชื้นอากาศสัมพัทธ์ต่างๆ (ต่อ)

อุณหภูมิอากาศ 28 (°C)

ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

ครั้งที่ 3

ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (%)	ขีดความสามารถในการตัดแยก (%)
55	86
65	91
75	94
85	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 ผลการทดสอบขีดความสามารถของต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวด้วย
 สนามไฟฟ้า
 ที่อุณหภูมิอากาศ 24 (°C)
 ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 75 (%)
 ระดับแรงดันไฟฟ้า 40 kV

จำนวนครั้ง	ขีดความสามารถในการคัดแยก (%)
1	90
2	91
3	93
4	92
5	91
6	91
7	93
8	92
9	90
10	91
11	92
12	91
13	94
14	92
15	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของเมล็ดพืช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติของเมล็ดพืช เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบ อิเล็กโทรด โดยนำเมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิด มาทำการทดสอบโดยแบ่งหัวข้อการทดสอบดังนี้

ค.1 การทดสอบหาค่าประจุของเมล็ดพืชต่อเมล็ดโดยใช้เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a)

การทดสอบหาคุณสมบัติของเมล็ดพืชโดยใช้เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a) เพื่อหาค่า ประจุของเมล็ดพืชต่อเมล็ด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตัวอย่างเมล็ดพืช
2. อิเล็กโทรดแบบระนาบ ขนาด $40 \times 50 \text{ cm}^2$
3. เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a)
4. เครื่องชั่งดิจิตอล

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด 4 cm
2. ต่อชุดอิเล็กโทรดเข้ากับเครื่อง C Tan δ แล้วทำการวัดค่า คาปาซิแตนซ์ของอิเล็กโทรด เปล่าและบันทึกผล
3. นำตัวอย่างเมล็ดพืชที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในชุดอิเล็กโทรดและวัดค่าคาปาซิแตนซ์ บันทึกผล และนำตัวอย่างเมล็ดพืชมาชั่งน้ำหนักรวม
4. เปลี่ยนตัวอย่างเมล็ดพืชและทำการทดลองซ้ำข้อ 3

เมื่อทดสอบจนครบแล้ว ทำการคำนวณเพื่อหาค่าประจุ จาก

$$C \text{ ของเมล็ดพืช} = \{ C \text{ รวม} - C \text{ เพลทเปล่า} \}$$

จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า q รวม

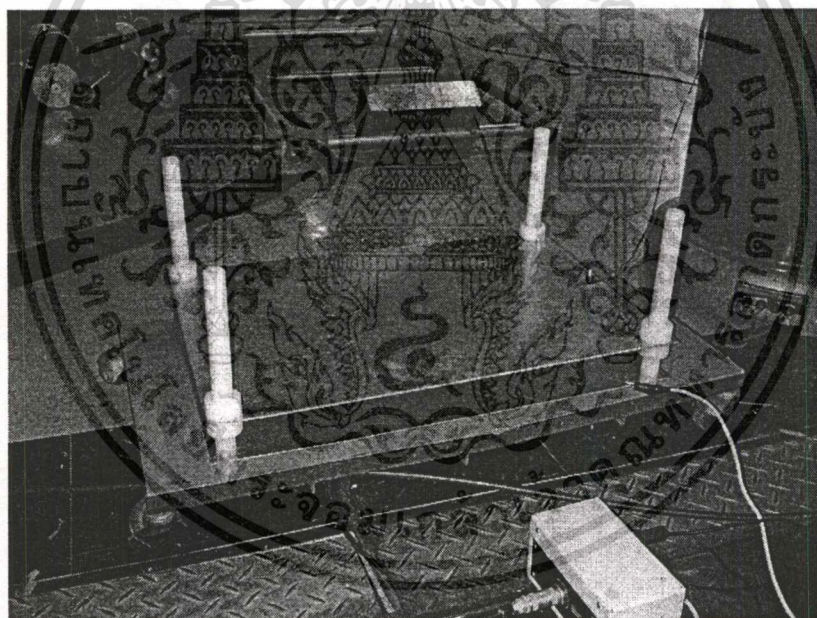
$$Q = CV$$

เมื่อได้ค่า q ของเมล็ดพืชรวมแล้ว นำค่าที่ได้มาหาค่าประจุต่อเมล็ด โดยการหารด้วยจำนวนเมล็ดพืช ที่ใช้ทดสอบ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a)

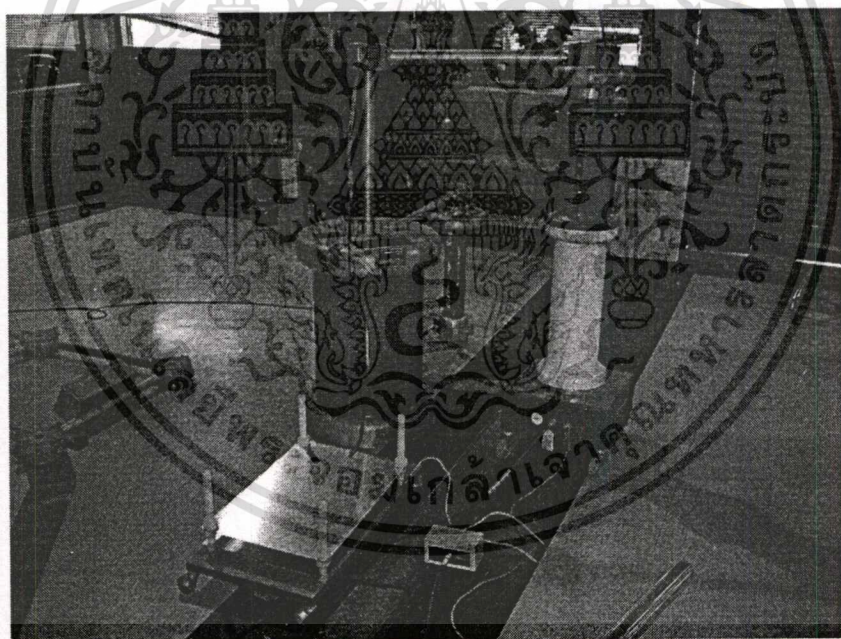


รูปที่ ค.2 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 การใส่ตัวอย่างในการทดสอบ



รูปที่ ค.4 ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การทดสอบหาค่า Permittivity (ϵ_r) ของเมล็ดพืชโดยใช้เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตัวอย่างเมล็ดพืช
2. อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอก $r_1 = 0.5 \text{ cm}$, $r_2 = 3 \text{ cm}$, $l = 10 \text{ cm}$
3. เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a)

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อชุดอิเล็กโทรดเข้ากับเครื่อง C Tan δ แล้วทำการวัดค่า คาปาซิแตนซ์ของอิเล็กโทรดเปล่าและบันทึกผล

2. นำตัวอย่างเมล็ดพืชที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในชุดอิเล็กโทรดโดยใส่ให้เต็มและวัดค่าคาปาซิแตนซ์ บันทึกผล

3. เปลี่ยนตัวอย่างเมล็ดพืชและทำการทดลองซ้ำข้อ 2

เมื่อทดสอบจนครบแล้ว ทำการคำนวณเพื่อหาค่า Permittivity (ϵ_r) จาก

$$\epsilon_{res} = \frac{v_1}{\frac{v_1}{\epsilon_1} + \frac{v_2}{\epsilon_2}}$$

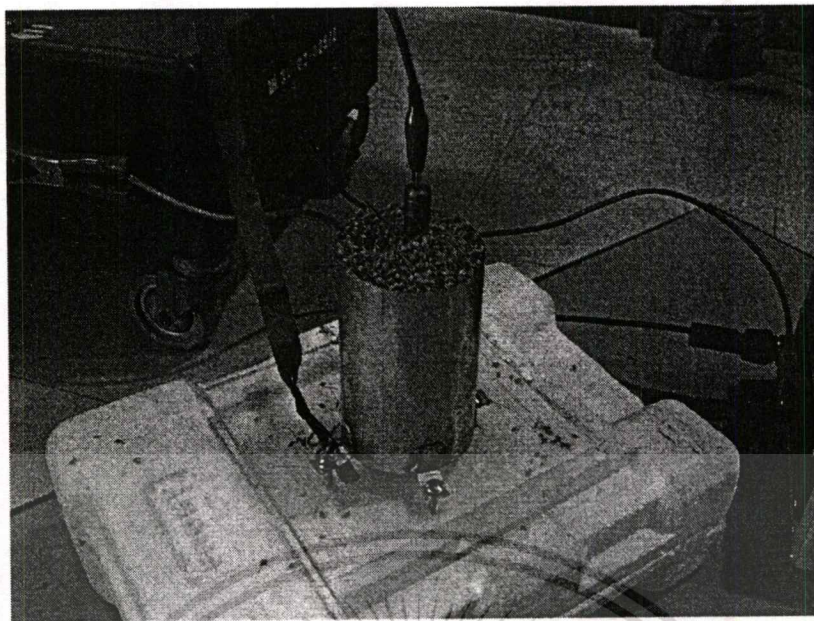
เมื่อ v คือ ปริมาตรของวัสดุ

ซึ่งได้ค่า Permittivity (ϵ_r) ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ ค.5 ชุดอิเล็กโทรดในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.6 การใส่ตัวอย่างในการทดสอบ



รูปที่ ค.7 ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 การทดสอบหาค่าประจุของเมล็ดพืชต่อเมล็ดโดยใช้หลักการวัดค่าประจุไฟฟ้า

แบบ Faraday Ice Pail

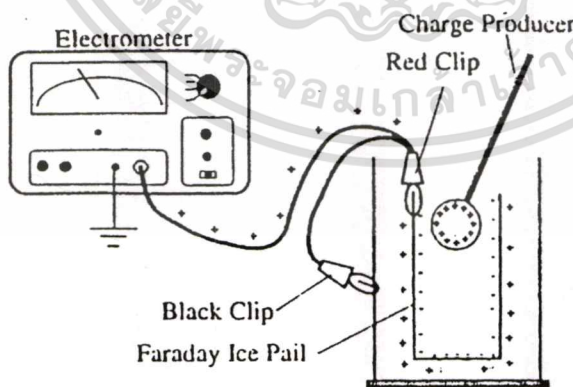
การทดสอบหาคุณสมบัติของเมล็ดพืชโดยใช้หลักการวัดค่าประจุไฟฟ้าแบบ Faraday Ice Pail เพื่อเปรียบเทียบกับ การหาประจุโดยใช้เครื่อง C Tan δ (Tettex 2809a)

ค.3.1 ความรู้เบื้องต้น

ICE PAIL ออกแบบโดย FARADAY เป็นอุปกรณ์ใช้ตรวจสอบการกระจายของประจุทำงานโดยอาศัยกฎว่าประจุที่บริเวณผิวด้านในของตัวนำย่อมจะเหนี่ยวนำประจุบนผิวด้านนอก สำหรับตัวอย่างประจุนลูกบอลถูกแขวนอยู่ด้านในภาชนะโลหะ ประจุนบนบริเวณด้านนอกของภาชนะโลหะจะเท่ากับประจุนลูกบอล



รูปที่ ค.8 FARADAY ICE PAIL

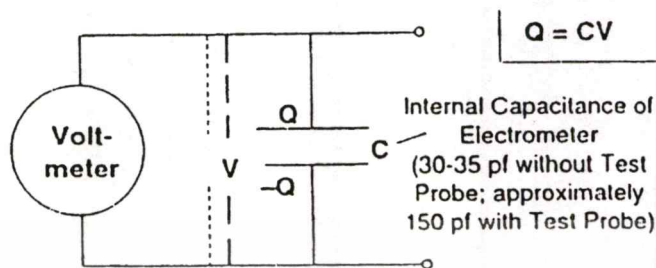


รูปที่ ค.9 วิธีการวัดค่าประจุของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

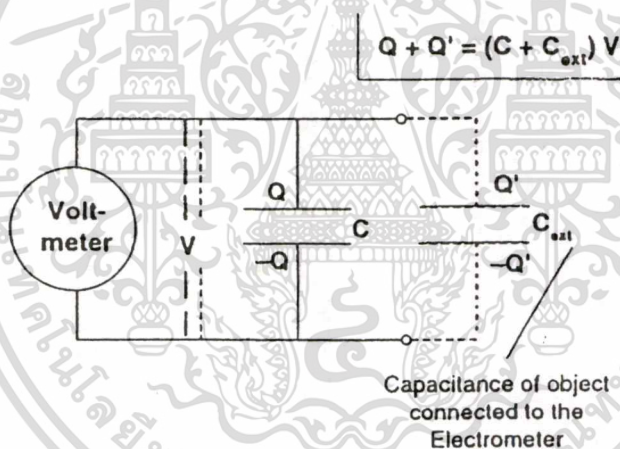
ก.3.2 การวัดค่าประจุ

การทดสอบเป็นการวัดค่าประจุโดยอ้อมเท่านั้น โดยใช้สมการที่เกี่ยวข้องคือ $Q = CV$ เมื่อ Q คือ ค่าประจุ V คือ แรงดันไฟฟ้า และ C คือ ค่าคาปาซิแตนซ์



รูปที่ ก.10 วงจรจำลองการวัดในอุดมคติ

เมื่อวัดค่าประจุโดยอ่านค่าแรงดันจากมิเตอร์ เมื่อทราบค่า C ก็สามารถคำนวณค่า Q ได้ จาก $Q = CV$



รูปที่ ก.11 การเปลี่ยนแปลงของค่าความจุ 2 ตัวต่อประจุของวัตถุ

เมื่อทำการทดลองโดยเพิ่มค่าประจุเข้าไปดังแสดงในรูปที่ ก.11 ค่าประจุไฟฟ้าตัวใหม่ $(C + C_{ext})$ ต้องกำหนดให้แน่นอนในการคำนวณหาประจุ ซึ่งได้จากการวัดค่าแรงดัน ซึ่งค่า C หาได้จากสูตร

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{B}{A}\right)}$$

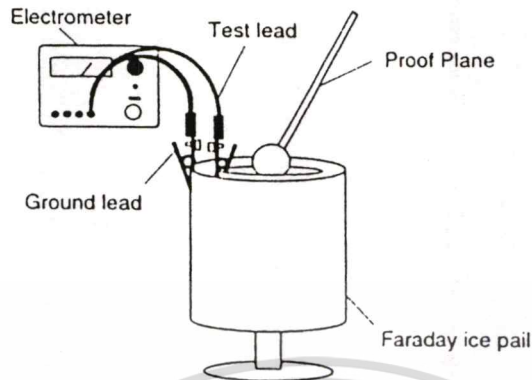
เมื่อ ϵ_0 คือ เพอร์มิตติวิตีของฟรีสเปซ $= 8.85 \times 10^{-12}$

l คือ ความสูงของกระป๋อง (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระป๋องชั้นนอก (m)

A คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระป๋องชั้นใน (m)



รูปที่ ค.12 การใช้ Faraday Ice Pail

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตัวอย่างเมล็ดพีช
2. อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอก $r_1 = 2 \text{ cm}$, $r_2 = 3 \text{ cm}$, $l = 10 \text{ cm}$
3. กัลวานอ์มิเตอร์
4. เครื่องขั้วดีจิตอล

ขั้นตอนการทดสอบ

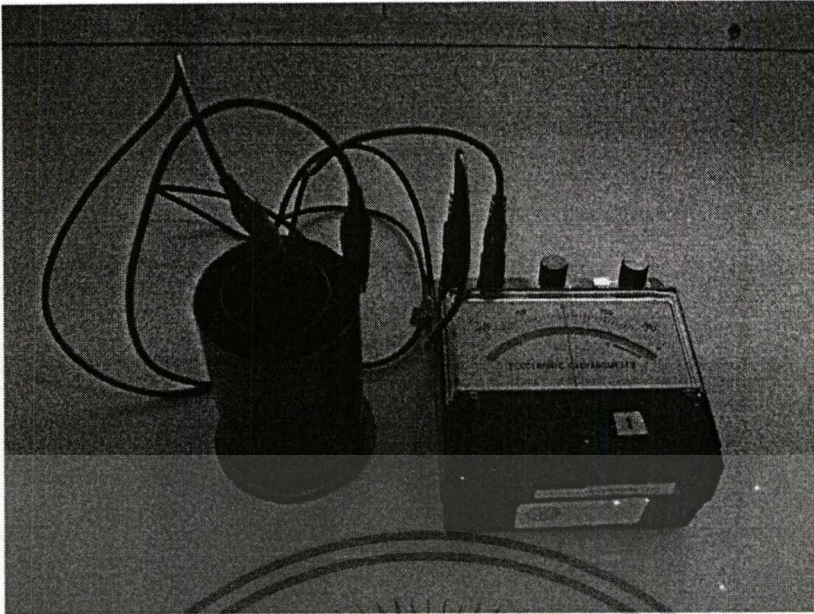
1. ต่อชุดอิเล็กโทรดเข้ากับกัลวานอ์มิเตอร์
2. นำตัวอย่างเมล็ดพีชที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในชุดอิเล็กโทรดและอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่กัลวานอ์มิเตอร์และ บันทึกผล
3. นำตัวอย่างเมล็ดพีชมาซึ่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการหาจำนวนเมล็ดพีชต่อไป
4. เปลี่ยนตัวอย่างเมล็ดพีชและทำการทดลองซ้ำข้อ 2,3

จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า q รวม

$$Q = CV$$

เมื่อได้ค่า q ของเมล็ดพีชรวมแล้ว นำค่าที่ได้มาหาค่าประจุต่อเมล็ดโดยการหารด้วยจำนวนเมล็ดพีชที่ใช้ทดสอบ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.13 การทดสอบโดยใช้หลักการวัดค่าประจุไฟฟ้าแบบ Faraday Ice Pail

ค.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของปลายข้าวสาร

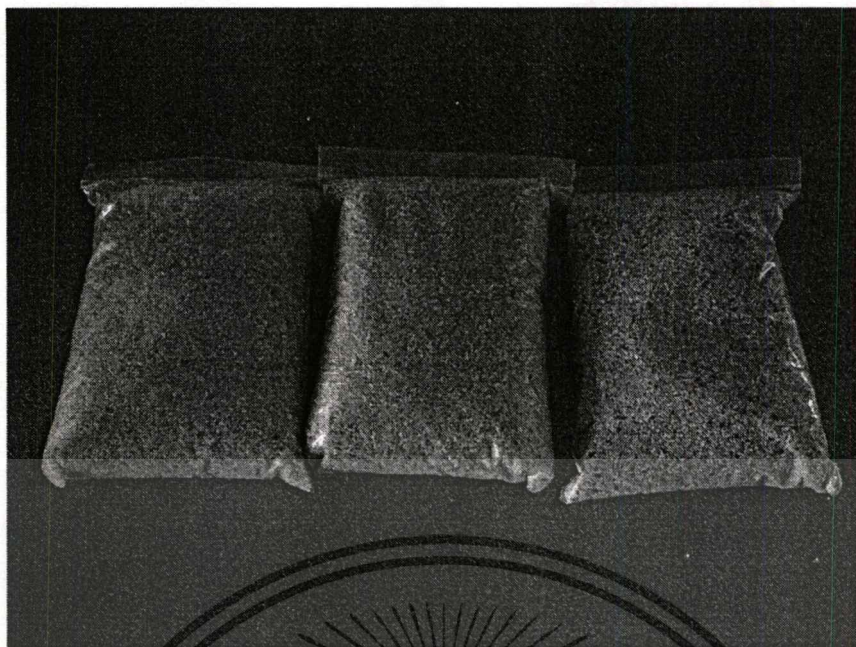
การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของปลายข้าวสารสำหรับใช้ในการออกแบบกล่องปล่อยปลายข้าวให้มีความเหมาะสม มีอัตราการไหลตามที่ต้องการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตัวอย่างเมล็ดปลายข้าวสาร
2. หลอดต้วขนาด 10 cc
3. บีกเกอร์ ขนาด 200 cc
4. กระจกใสสาร
5. เครื่องชั่งดิจิตอล

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ตวงปลายข้าวสารใส่หลอดต้วปริมาณ 5 cc
2. นำตัวอย่างเมล็ดพืชปริมาณ 5 cc ที่ตวงได้นำไปชั่งและ บันทึกน้ำหนักที่ได้ลงตาราง
3. คำนวณเพื่อหาน้ำหนักที่ปริมาตร 1 m^3



รูปที่ ค.14 ตัวอย่างเมล็ดปลายข้าวใช้ในการทดสอบ



รูปที่ ค.15 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักของเมล็ดพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักของเมล็ดพืช

ครั้งที่	น้ำหนักที่ 5 cc(g)	ครั้งที่	น้ำหนักที่ 5 cc(g)
1	4.4	11	4.32
2	4.26	12	4.28
3	4.34	13	4.37
4	4.34	14	4.29
5	4.33	15	3.94
6	3.92	16	4.18
7	4.32	17	4.14
8	3.91	18	4.09
9	4.37	19	4.23
10	4.29	20	4.26
		เฉลี่ย	4.229

หาค่าความหนาแน่น จากการเทียบ

น้ำหนักปลายข้าวที่ปริมาตร 1 cc = 0.8458 g

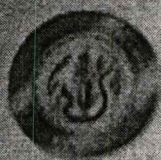
น้ำหนักปลายข้าวที่ปริมาตร 1 m³ = 1000000 x 0.8458

= 845.8 kg

ดังนั้น ค่าความหนาแน่นของปลายข้าวสาร มีค่าเท่ากับ 845.8 kg/m³



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการประจำปี 2546



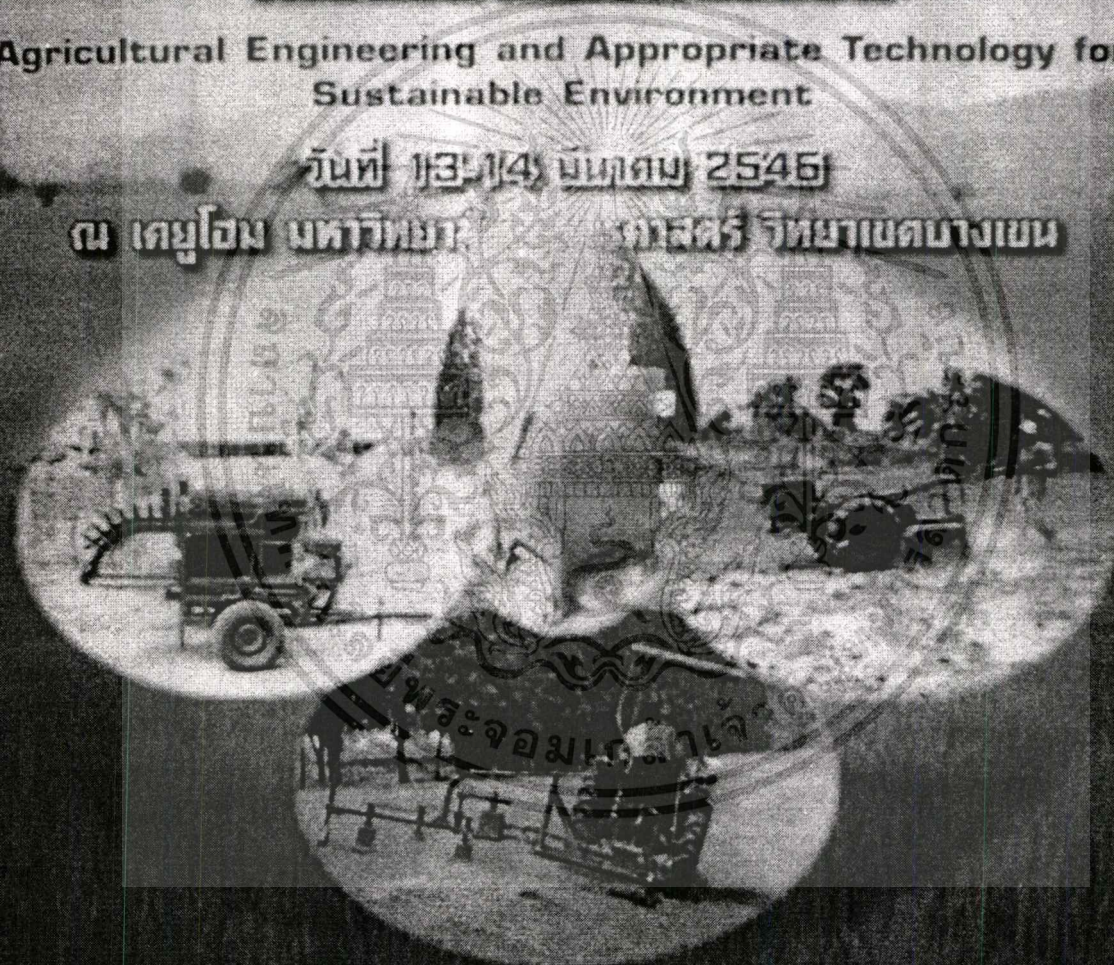
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

วิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

Agricultural Engineering and Appropriate Technology for
Sustainable Environment

วันที่ 13-14 มีนาคม 2546

ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร



จัดโดย

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

ร่วมกับ

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

เทคนิคการคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้สนามไฟฟ้า
SEPARATING GRASS SEED FROM BROKEN MILLED RICE
USING ELECTRIC FIELD TECHNIC

จักรพงษ์ กลิ่นสะอาด¹, *พงษ์เทพ เกิดคอนแฝง² และ ศิริวิวัฒน์ โพธิเวทกุล³

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท, ²อาจารย์, ³รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

โทร : (02) 737-3000 Email: chakarpong@hotmail.com

*ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร 10530

โทร/โทรสาร : (02) 988-3655 ต่อ 149 Email: Pongtep@mut.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้สนามไฟฟ้า เพื่อใช้ในการเพิ่มระดับคุณภาพของปลายข้าวสารในโรงสีข้าว ซึ่งการคัดแยกจะใช้เทคนิคสนามไฟฟ้ากระทำต่อคุณสมบัติที่แตกต่างระหว่างเมล็ดหญ้ากับปลายข้าวสาร ซึ่งมีหลักการทำงานโดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงให้กับแผ่นอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้า โดยมีทิศทางของสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กโทรดล่างไปยังแผ่นอิเล็กโทรดบน เมื่อปลายข้าวสารที่มีเมล็ดหญ้าปะปนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า แรงของสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อเมล็ดหญ้าให้แยกตัวออกจากปลายข้าวและเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าไปยังปล่องสำหรับทิ้ง ส่วนปลายข้าวสารจะเคลื่อนที่ปกติไปยังส่วนอื่นของระบบต่อไป ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอสามารถคัดแยกเมล็ดหญ้าที่มีอัตราการเจือปน 50 กรัมต่อปลายข้าวสาร 10 กิโลกรัม โดยมีขีดความสามารถในการคัดแยกได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์

เทคนิคการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้สนามไฟฟ้า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการคัดแยกที่ค่าเป็นการลดต้นทุนในการผลิต และไม่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในขณะที่ทำงาน เป็นการลดมลภาวะทางอากาศในโรงสีข้าวและมีขนาดที่ไม่ใหญ่ สะดวกในการติดตั้งและมีการสึกหรอของอุปกรณ์น้อย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

ABSTRACT : This research presents a technic to separate grass seed from milled rice using electric field technic to improve milled rice quality. The separation of grass seed from milled rice process in rice mills, the electric field is applied to obtain the different characteristic between grass seed and milled rice. This technic operates by supplying the high voltage direct current into electrode plates to produce electric fields. The direction of electric

จากทฤษฎีด้านฟิสิกส์การเคลื่อนที่ของวัตถุ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์มีขนาดและทิศทาง ส่วนแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุนั้นมีความเร่งในทิศทางของแรง ความเร่งมีค่าแปรผันตรงกับแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

$$F_{mech} = ma \quad (1)$$

เมื่อ F_{mech} : แรงทางกล (N)
 m : มวลของวัตถุ (kg)
 a : ความเร่ง (m/s^2)

แรงของสนามไฟฟ้า[1],[2]เป็นแรงอย่างหนึ่งที่เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด ถ้านำประจุทดสอบ q วางในสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงกระทำขึ้นที่ประจุทดสอบนั้น โดยแรงที่เกิดกับประจุบวกจะมีทิศทางตามสนามไฟฟ้าและแรงที่เกิดกับประจุลบจะมีทิศทางตรงข้ามสนามไฟฟ้า

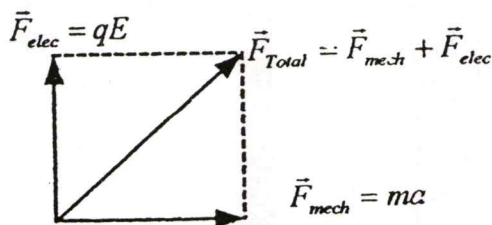
$$F_{elec} = qE \quad (2)$$

เมื่อ F_{elec} : แรงทางไฟฟ้า (N)
 E : สนามไฟฟ้า (kV/cm)
 q : ประจุไฟฟ้า (C)

วัตถุเคลื่อนที่ได้เมื่อมีแรงมากระทำกับวัตถุนั้น วัตถุจะมีความเร่งและเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงลัพธ์ ซึ่งเทคนิคการคิดแยกแยะผลของแรงจากปลายข้าว โดยใช้สนามไฟฟ้า มีแรงเกี่ยวข้องกัน คือ แรงของสนามไฟฟ้าและแรงการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกับมวลของวัตถุ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของแรงลัพธ์และทิศทางที่ต้องการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืชเป็นผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงทั้งสองดังแสดงในภาพที่ 1

$$\vec{F}_{Total} = \vec{F}_{mech} + \vec{F}_{elec} \quad (3)$$

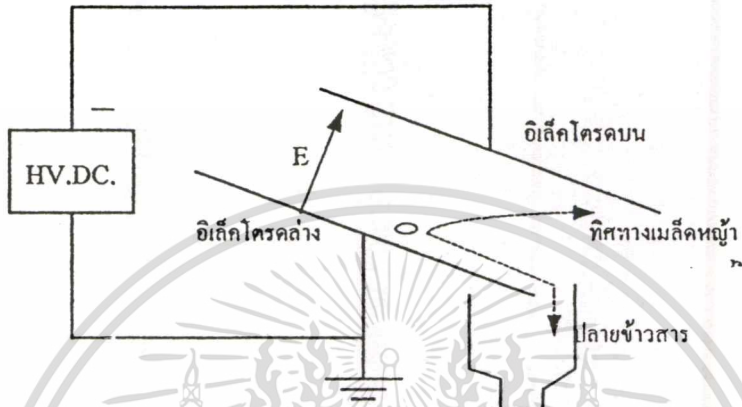
เมื่อ \vec{F}_{Total} คือ แรงลัพธ์ของแรงทั้งสอง



ภาพที่ 1 การรวมทางเวกเตอร์

3. ดันแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

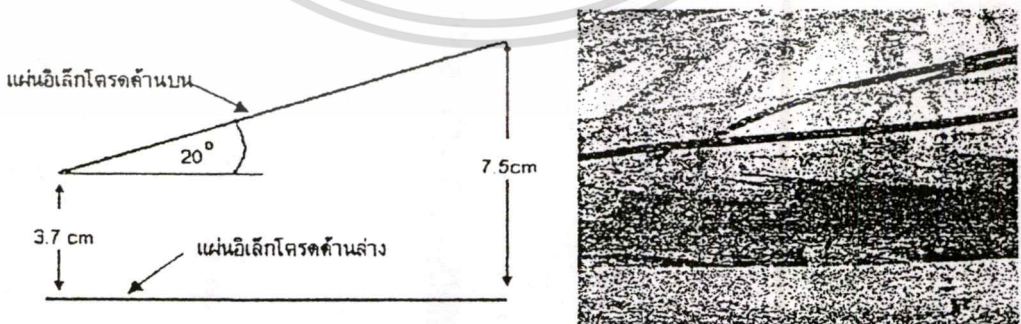
จากทฤษฎีเบื้องต้นสามารถนำมาออกแบบสร้างดันแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า[4] มีหลักการคัดแยกโคหยาศัยแรงของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากแผ่นอิเล็กโทรดแบบขั้วลบ เมื่อปลายข้าวสารที่มีเมล็ดหญ้าปะปนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น แรงของสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อเมล็ดหญ้าให้แยกตัวออกจากปลายข้าวและเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าไปยังปล่องสำหรับทิ้ง แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หลักการของเทคนิคการคัดเมล็ดหญ้าด้วยสนามไฟฟ้า

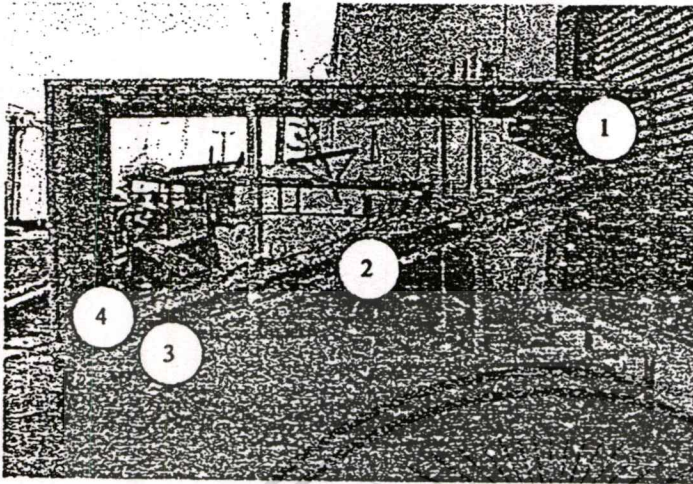
3.1 ชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า

ชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้าเป็นแบบแผ่นระนาบเพื่อให้มีความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า โดยแผ่นอิเล็กโทรดกลางทำจากแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตรขนาด 40 X 70 ตารางเซนติเมตร และแผ่นอิเล็กโทรดรอบทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตรมีขนาด 15 X 37 ตารางเซนติเมตร จำนวน 12 แผ่น เกลือบด้วยฉนวนอะคริลิกเพื่อเป็นฉนวนป้องกันการเบรคดาวร์ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดรอบและแผ่นอิเล็กโทรดกลาง มีระยะห่าง 3.7 เซนติเมตร และแผ่นอิเล็กโทรดรอบทำมุมกับแผ่นอิเล็กโทรดกลาง 20 องศา(ภาพที่ 3) เพื่อใช้เป็นช่องทางออกของเมล็ดหญ้าไปยังปล่องทิ้งเมล็ดหญ้า



ภาพที่ 3 ชุดอิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า

3.2 โครงสร้างคันแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

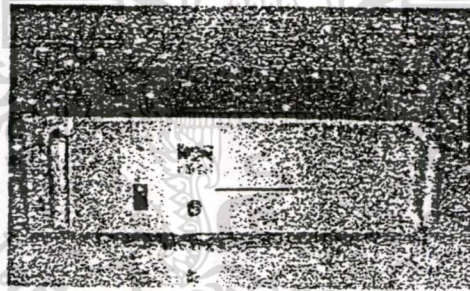


ภาพที่ 4 โครงสร้างเครื่องคันแบบ

1. ตั้งวัสดุการคัดแยก
2. ชุดอิเล็กทรอนิกส์สร้างสนามไฟฟ้า
3. ช่องทางออกของปลายข้าวสาร
4. ปุ่มกดตั้งเมล็ดหญ้า

3.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง

ใช้หลักการสร้างแรงดันสูงแบบสวิทซ์ความถี่สูง 30 kHz หม้อแปลงแบบ Fly back มีแรงดันเอาต์พุต $60 \text{ kV}_{\text{dc}}$ กระแส $100 \mu\text{A}$ แรงดันระลอกประมาณ 5% สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้า $220 \text{ V}_{\text{ac}}$ หรือแรงดันไฟฟ้า 12 V_{dc} ได้แสดงคังภาพที่ 5



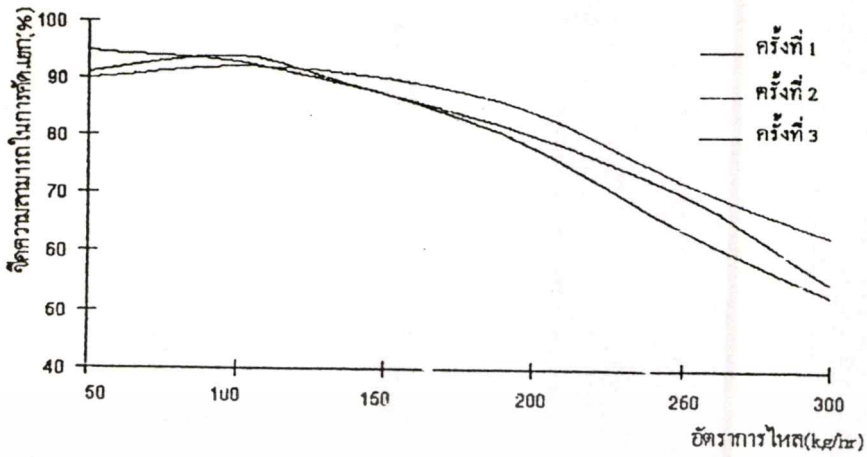
ภาพที่ 5 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง

4. การทดสอบคันแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

คันแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เมื่อจัดสร้างแล้วได้นำมาทดสอบขีดความสามารถในการคัดเมล็ดหญ้าที่ปะปนมากับปลายข้าวสารที่อัตราการเจือปนเมล็ดหญ้า 50 กรัมต่อปลายข้าวสาร 10 กิโลกรัม โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แบ่งการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบเครื่องคันแบบที่อัตราการไหลของปลายข้าวสารระดับต่างๆ

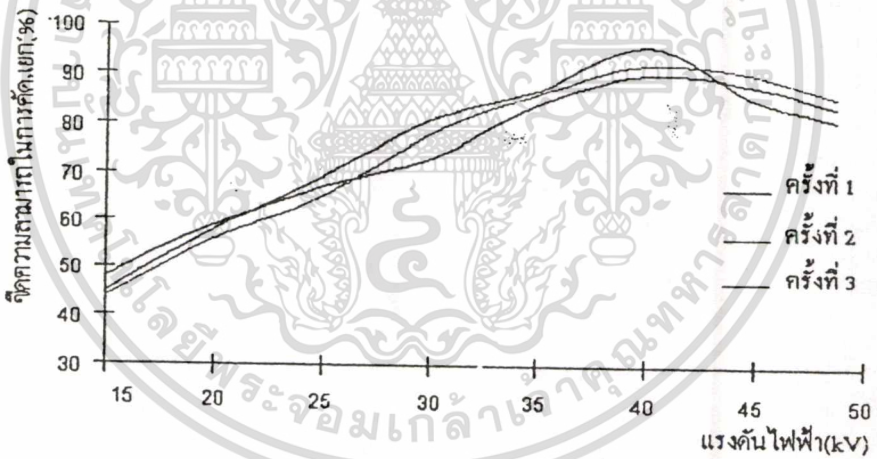
เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของปลายข้าวสารผ่านชุดอิเล็กทรอนิกส์สร้างสนามไฟฟ้าต่อขีดความสามารถในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสาร โดยการทดสอบจะใช้การควบคุมอัตราการไหลจากการปรับช่องปล่อยของถังวัสดุการคัดแยกที่อัตราการไหล 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



ภาพที่ 6 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่อัตราการใช้ของปลายข้าวสารระดับต่างๆ

4.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าระดับต่างๆ

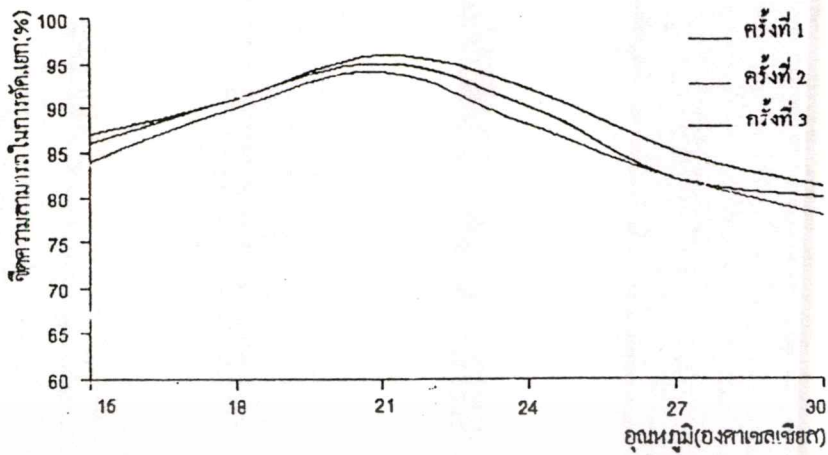
เพื่อศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้าต่อขีดความสามารถในการคัดแยกเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวสาร โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 15 - 50 kV



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าชุดอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างสนามไฟฟ้า

4.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับขีดความสามารถในการคัดแยก

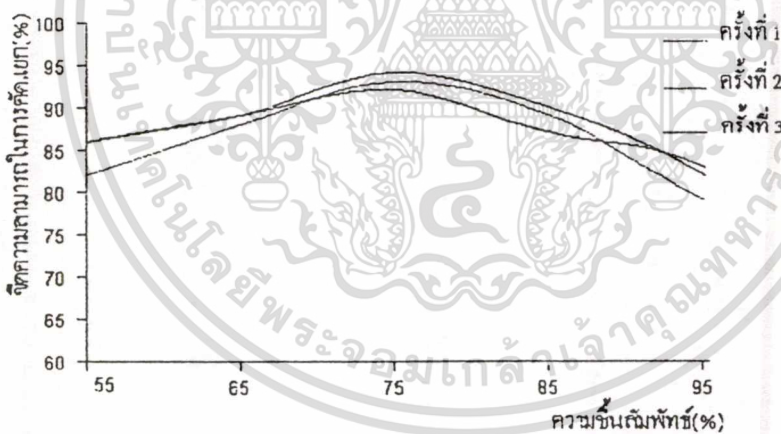
เพื่อศึกษาดังผลของอุณหภูมิอากาศที่มีผลต่อขีดความสามารถในการคัดแยกของต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เนื่องจากอุณหภูมิขณะใช้งานจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสถานที่และเวลาการใช้งาน ทำการทดสอบในห้องที่สามารถปรับอุณหภูมิของอากาศ โดยการทดสอบใช้ที่อุณหภูมิ 15 - 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 ผลของอุณหภูมิอากาศกับขีดความสามารถในการคิดแยกของเครื่องต้นแบบ

4.4 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอากาศกับขีดความสามารถในการคิดแยกของเครื่องต้นแบบ

เพื่อศึกษาถึงผลของความชื้นของอากาศที่มีผลต่อขีดความสามารถของต้นแบบเครื่องคิดเมตริกหน่วย โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า เนื่องจากความชื้นของอากาศขณะใช้งานจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสถานที่ และเวลาการใช้งาน โดยทำการทดสอบในห้องที่ปิดมิดชิดเพื่อควบคุมระดับความชื้นของอากาศ



ภาพที่ 9 ผลของความชื้นอากาศกับขีดความสามารถในการคิดแยกของเครื่องต้นแบบ

5. สรุปและวิเคราะห์ผล

จากการออกแบบสร้างและทดสอบต้นแบบเครื่องคิดเมตริกหน่วยจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 10 พบว่าเทคนิคการคิดแยกเมตริกหน่วยโดยใช้สนามไฟฟ้า สามารถมีขีดความสามารถในการคิดแยกได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิอากาศ 18-25 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 65-85 เปอร์เซ็นต์ และสามารถปรับระดับขีดความสามารถในการคิดแยกโดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อเล็ก โครงสร้างสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 38 - 45 kV เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับเครื่องต้นแบบ โดยที่มีอัตราการไหลของปลายข้าวสารในช่วงประมาณ 50 - 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะทำให้การคัดแยกมีขีดความสามารถที่ดี ในการทดสอบได้ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะทดสอบนำมาคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้า มีค่าประมาณ 10 วัตต์ หรือมีค่าพลังงานไฟฟ้า 0.2348 kWh ซึ่งเป็นการใช้พลังงานที่ต่ำ ดังนั้นเทคนิคการคัดแยกเมล็ดหญ้า โดยใช้สนามไฟฟ้าน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้งานเพื่อลดการใช้พลังงานและเพิ่มคุณภาพของปลายข้าวสาร! ห้อยู่ในระดับที่สูง สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้ทันที



ภาพที่ 10 ต้นแบบเครื่องคัดเมล็ดหญ้าจากปลายข้าวโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

1. E.Kuff and M.Abddulah, High-Voltage Engineering, Pergamon Press , Oxford , 1977
2. L.L. Alston , High-Voltage Technology,Oxford University Press , London , 1968
3. ไพโรจน์ ตรีธรรณากุลและทวีศักดิ์ แก้วขิม “ฟิสิกส์พื้นฐานกลศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง)” ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, หน้า 56-61,2536
4. พงษ์เทพ เกิดคอนแฝง,พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ,จักรพงษ์ กลั่นสะอาดและศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล “การศึกษาการใช้แรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืช”,สัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2545
5. สำรวย สังข์สะอาด, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ”,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายจักรพงษ์ กลิ่นสะอาด เกิดเมื่อ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดสิงห์บุรี สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปี 2542 ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2543

ผลงานวิจัยที่ได้รับรางวัล

“ตู้สับจ่ายโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้า” ได้รับด้วยรางวัลชนะเลิศของ ฯพณฯ พล.อ.เปรม ติณสูลานนท์ ประธานองคมนตรี ในการประกวดสิ่งประดิษฐ์โดยภูมิปัญญานักประดิษฐ์ไทย ประเภทเครื่องจักรกลการเกษตร ครั้งที่ 1 ปี 2545 ในงาน “มหกรรมภูมิปัญญาของแผ่นดิน” จัดโดยสถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ วันที่ 23-25 สิงหาคม พ.ศ. 2545