การศึกษาการใช้แรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืช
A Study of Electric Force for Grain Separation

พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก[1] พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ[2]
จักรพงษ์ กลิ่นสะอาด[2] และ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล[2]

Abstract

This paper presents a study of electric forces for grain separation. The study of the electric forces for the grain separation is simulated in constant velocity, weight, charge, humidity, generated under the electric fields. This is based on the electric field theory, the physical theory and the electrostatic theory. The electric forces enable the grain separation by moving the grain up at different height. A voltage potential distribution is calculated on the basis of Finite Element Method (FEM). Moreover, the FEM can identify the specific position of electric fields, force direction, generated under the electric fields. The results can be used for a design and construction of small grain separation machines with the electric field for industrial applications with energy saving, low cost of production, easy mobility and convenient installation.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้แรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืชขนาดเล็ก โดยศึกษาแรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืชที่หยุดนิ่งและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ผลของน้ำหนักและค่าประจุ (q) ของเมล็ดพืชที่แตกต่างกัน ผลของความชื้นของอากาศ ซึ่งมีผลต่อการคัดแยกเมล็ดพืชขนาดเล็กภายใต้สนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นโดยอาศัยทฤษฎีสนามไฟฟ้า ทฤษฎีด้านฟิสิกส์ รวมถึงหลักการเกิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งแรงของสนามไฟฟ้าจะทำการคัดแยกเมล็ดพืชโดยการยกเมล็ดพืชให้ลอยขึ้นที่ความสูงต่างกัน โดยหลักการไฟไนต์อิลิเมนท์มาช่วยในการคำนวณค่าการกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้า คำนวณค่าสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ทิศทางของแรงสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น ซึ่งการศึกษาการใช้แรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืชขนาดเล็กที่นำเสนอ สามารถนำมาช่วยในการออกแบบสร้างเครื่องคัดแยกเมล็ดพืชขนาดเล็กด้วยสนามไฟฟ้า เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานในการคัดแยกเมล็ดพืชในอุตสาหกรรมโดยมีต้นทุนการผลิตต่ำ เคลื่อนย้ายง่าย สะดวกในการติดตั้ง

คำนำ

การคัดแยกสิ่งที่ปะปนมากับข้าวเปลือก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการปะปนของเมล็ดหญ้าจากขบวนการเก็บเกี่ยว ซึ่งขบวนการในการคัดแยกส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะทางกล (ลมดูด) มีการสึกหรอของอุปกรณ์สูงและใช้พลังงานมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้แรงสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืชขนาดเล็กซึ่งทำให้ใช้พลังงานน้อย การใช้แรงของสนามไฟฟ้าต้องศึกษาองค์ประกอบที่มีผลในการคัดแยกเมล็ดพืชขนาดเล็ก เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องจักรให้มีขีดความสามารถในการคัดแยกสูง ใช้พลังงานต่ำและสามารถปรับระดับขีดความสามารถในการคัดแยกได้ง่าย

ทฤษฎี

สนามไฟฟ้า

ความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า (E_b) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ เช่น รูปลักษณะเรขาคณิตของอิเล็กโตรด ตัวนำไฟฟ้า ลักษณะคุณสมบัติของไดอิเล็กตริก (Dielectric) ความดัน อุณหภูมิ เป็นต้น อิเล็กโตรดที่ใช้ในการศึกษาแรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืชนี้ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้นๆ ความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งรูปทรงเรขาคณิตของอิเล็กโตรด สมการทั่วไปที่ใช้หาค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวของอิเล็กโตรดรูปทรงเรขาคณิตจะคำนวณได้จาก

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

เมื่อ E_{max} : ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (V/m)

[1] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร 10530 โทร/โทรสาร : (02) 988-3655 ต่อ 149 Email: Pongtep@mut.ac.th
[2] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร : (02) 737-3000
Email: kpsiriwa@kmitl.ac.th

V : แรงดันไฟฟ้า (V)

d : ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (m.)

η^* : แฟคเตอร์สนามไฟฟ้า (Field utilization factor)

การวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์ (FEM)

งานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนท์ [4] มาช่วยในการวิเคราะห์หาการกระจายระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน ทิศทางของแนวแรงสนามไฟฟ้า ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า โดยสมการที่นำมาใช้จะเป็นแบบ 2 มิติ และไม่คำนึงถึงผลของประจุตกค้าง ($\rho_s = 0$) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element มี 4 ขั้นตอน [1]

1) แบ่งขอบเขตของปัญหาเป็นอิลิเมนท์ย่อย (Discretization) คือ แบ่งบริเวณของปัญหาที่พิจารณาเป็นรูปสามเหลี่ยมย่อยๆ เรียกว่า อิลิเมนท์ โดยแต่ละอิลิเมนท์ประกอบด้วยโหนด (node) 3 โหนด อิลิเมนท์แบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะใช้กับปัญหารูปทรงต่างๆ ได้สะดวก

2) พิจารณาหาสมการของแต่ละอิลิเมนท์ (Element Governing Equation) ซึ่งจะอาศัยจากความสัมพันธ์ของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยความยาวที่สัมพันธ์กับแต่ละอิลิเมนท์ [1] ดังสมการที่ (2)

$$W_e = \frac{1}{2}\int \varepsilon |\vec{E}|^2 \, ds \qquad (2)$$

เมื่อ W_e : พลังงานต่อหนึ่งหน่วยความยาวที่สัมพันธ์กับแต่ละอิลิเมนท์ (J/m)

ε : ค่าเปอร์มิติวิตี้ของวัสดุ (F/m)

E : ความเครียดสนามไฟฟ้า (V/m)

ds : พื้นที่ผิวของแต่ละอิลิเมนท์ (m^2)

3) รวมอิลิเมนท์เป็นขอบเขตของปัญหาดังเดิม (Assemblage)

4) แก้สมการ(Solving System of Equation)

การเคลื่อนที่ของวัตถุ

แรง คือ การดันหรือการดึงที่กระทำต่อวัตถุ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์มีขนาดและทิศทาง ส่วนแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุมีความเร่งในทิศทางของแรง ความเร่งมีค่าแปรผันตรงกับแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ ดังสมการ

$$\vec{F}_{mech} = m\vec{a} \qquad (3)$$

เมื่อ $\vec{F}_{mech}$: แรงลัพธ์

m : มวลของวัตถุ

$\vec{a}$: ความเร่ง

แรงของสนามไฟฟ้าเป็นแรงที่เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด ถ้านำประจุทดสอบ (q) วางในสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงกระทำขึ้นที่ประจุทดสอบนั้น

$$\vec{F}_{elec} = q\vec{E} \qquad (4)$$

เมื่อ $\vec{E}$: ความเครียดสนามไฟฟ้า

q : ประจุไฟฟ้า

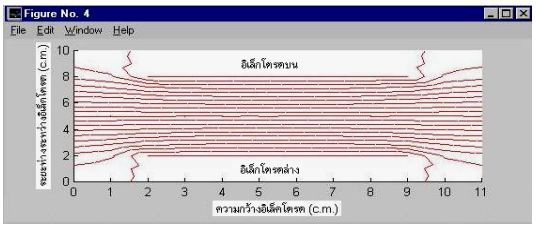
ในการศึกษาแรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืช มีแรงเกี่ยวข้องกัน คือ แรงของสนามไฟฟ้าและแรงการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งกับมวลของวัตถุ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของแรงลัพธ์ของแรงทั้งสองดังนี้

$$\vec{F}_{Total} = \vec{F}_{mech} + \vec{F}_{elec} \qquad (5)$$

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

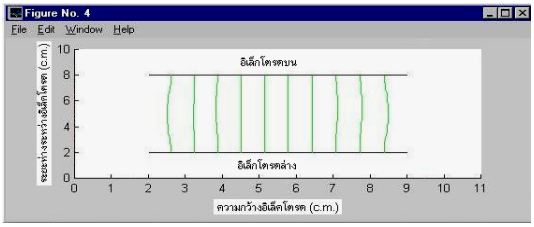
อุปกรณ์และวิธีการ

จากการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์อิลิเมนท์มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างอิเล็กโตรด 5.018 kV/cm แรงดันที่ใช้วิเคราะห์ 30 kV/cm ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 6 cm การกระจายของศักดาไฟฟ้าจากแรงดันที่ป้อนมีลักษณะการกระจายที่สม่ำเสมอ เนื่องจากเป็นอิเล็กโตรดระนาบที่วางขนานกัน สามารถแสดงในภาพที่ 1



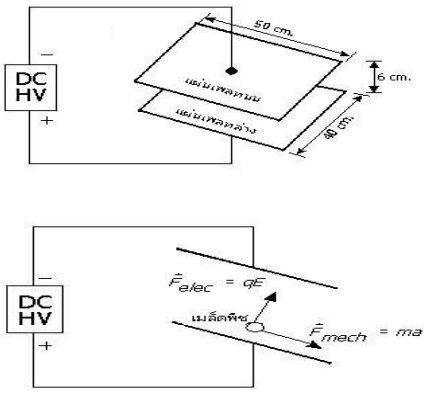
ภาพที่ 1 การกระจายของระดับแรงดันไฟฟ้าวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์

ส่วนทิศทางแนวแรงสนามไฟฟ้า จะมีทิศทางพุ่งขึ้นและตั้งฉากกับพื้นผิวอิเล็กโตรด ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ทิศทางแนวแรงสนามไฟฟ้าวิเคราะห์ โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์

จากสมการที่ 1 และการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์สามารถออกแบบชุดทดลองได้ดังภาพ



ภาพที่ 3 ชุดทดลองใช้ในการศึกษา

โดยมีลักษณะเป็นแผ่นเพลทแบบระนาบเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอมีขนาดแผ่นเพลท 40x50 ตารางเซนติเมตร มีระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท 6 เซนติเมตร มีอากาศเป็นฉนวนซึ่งมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเบรคดาวน์ (E_b) ประมาณ 25 kV/cm ชุดทดลองสามารถทนแรงดันสูงสุด 150 kV และปรับความเอียงของชุดทดลองได้

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ใช้เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง มีวงจรทำงานแบบ voltage doubler circuit มีพิกัดกำลัง 15 kVA แรงดัน 330 kV กระแส 10 mA ripple 2.5% โดยจากการทดสอบขั้นต้นกำหนดความเข้มสนามไฟฟ้าในการทดสอบอยู่ในช่วง 3-5 kV/cm เนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดพืชเริ่มยกตัวจากอิเล็กโตรด ดังนั้นแรงดันที่ใช้ทดสอบจึงอยู่ในช่วง 18-30 kV ในการทดสอบใช้เมล็ดพืช 3 ชนิดๆ ละ 100 เมล็ด ปล่อยเข้าสู่อิเล็กโตรดสร้างสนามไฟฟ้าที่มีสเกลเพื่อใช้ในการวัดความสูงในการยกของแรงสนามไฟฟ้ามีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร

การทดสอบค่าประจุ (q) ของเมล็ดพืช

จากสมการที่ 5 ขนาดและทิศทางของ $\vec{F}_{mech}$ และ $\vec{F}_{elec}$ ซึ่งแรงทั้งสองจะขึ้นอยู่กับค่าประจุ (q) ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (E) ค่าความเร่ง (a) และ ค่ามวล (m) ในงานวิจัยนี้ได้นำเมล็ดพืชที่แห้งมีค่าความชื้นไม่เกิน 15% คือ ข้าวเปลือก แกลบ

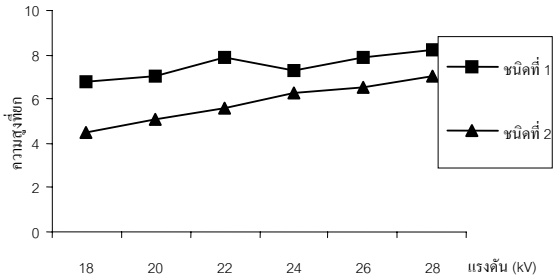
และเมล็ดหญ้า โดยใช้เครื่อง C Tan δ (Tettex AG 2805) ในการหาคาปาซิแตนซ์ของเมล็ดพืช จากนั้นทำการคำนวณหาค่าประจุ (q) ของเมล็ดพืชได้ค่าตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเมล็ดพืช

ชนิดของวัสดุ	ค่าประจุของเมล็ดพืชต่อเมล็ด (μC)	น้ำหนักของเมล็ดพืชต่อเมล็ด (g)
1.ข้าวเปลือก	1.227	0.0304
2. แกลบ	0.634	0.0108
3. เมล็ดหญ้า	0.961	0.0148

การทดสอบแรงสนามไฟฟ้ายกเมล็ดพืชกับค่าประจุ (q) ของเมล็ดพืช

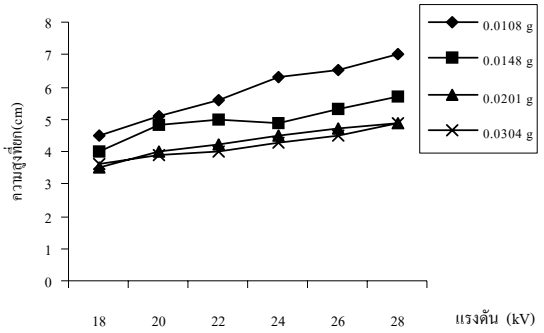
นำเมล็ดพืชที่มีค่าประจุต่างกันปล่อยผ่านชุดอิเล็กโตรดสร้างสนามไฟฟ้า ผลแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสูงในการยกเมล็ดพืชในสนามไฟฟ้ากับค่าประจุ (q) ของเมล็ดพืช

การทดสอบแรงสนามไฟฟ้ายกเมล็ดพืชที่มวลของเมล็ดพืชแตกต่างกัน

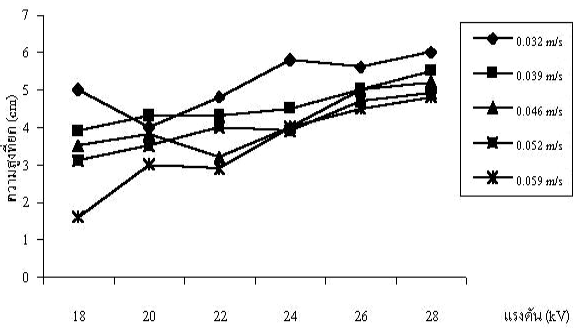
นำเมล็ดพืชชนิดที่ 3 จำนวน 100 เมล็ด ซึ่งมีน้ำหนักแตกต่างกัน 4 ค่า ปล่อยผ่านชุดอิเล็กโตรดสร้างสนามไฟฟ้าผลแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสูงในการยกเมล็ดพืชในสนามไฟฟ้ากับมวลของเมล็ดพืช

การทดสอบแรงสนามไฟฟ้ากับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืชแตกต่างกัน

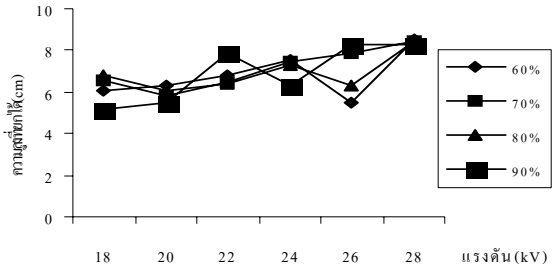
ปรับความเร็วโดยการปรับมุมของแผ่นอิเล็กโตรดที่ความเร็วต่างกันตามลำดับ ผลแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสูงในการยกเมล็ดพืชในสนามไฟฟ้ากับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืช

การทดสอบแรงสนามไฟฟ้ายกเมล็ดพืชกับความชื้นของอากาศ

ปล่อยเมล็ดพืชผ่านชุดอิเล็กโตรดสร้างสนามไฟฟ้า ผลแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสูงในการยกเมล็ดพืชในสนามไฟฟ้ากับความชื้นของอากาศ

วิจารณ์

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

การทดสอบการใช้แรงสนามไฟฟ้าในการยกเมล็ดพืชจากรูปที่ 4 เมล็ดพืชมีค่าประจุ (q) ค่าที่ต่ำจะใช้แรงสนามไฟฟ้าน้อยซึ่งสามารถยกเมล็ดพืชได้สูงกว่าเมล็ดพืชที่มีค่าประจุ (q) ค่าสูงๆ จากภาพที่ 5 เมล็ดพืชมีน้ำหนักเบาจะยกได้ง่ายกว่าเมล็ดพืชที่มีน้ำหนักมากจากภาพที่ 6 เมล็ดพืชมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ค่าน้อยๆ สามารถยกเมล็ดพืชได้ง่ายและมีระดับสูงจากภาพที่ 7 ความชื้นของอากาศมีผลกับการยกเมล็ดพืชค่อนข้างน้อย

สรุป

การศึกษาครั้งนี้ได้นำวิธีไฟไนต์อิลิเมนท์มาวิเคราะห์การกระจายระดับแรงดันไฟฟ้า ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดและทิศทางแนวแรงสนามไฟฟ้าของอิเล็กโตรดเพื่อให้มีทิศทางที่เหมาะสม จากการทดลองการศึกษาแรงของสนามไฟฟ้าในการคัดแยกเมล็ดพืชพบว่าแฟคเตอร์ที่สำคัญคือผลของน้ำหนักของเมล็ดพืชมีผล 35.7% รองลงมาคือความเร็วมีผลประมาณ 25% อันดับสามคือค่าประจุ (q) ของเมล็ดพืชมีผล 12.5% และส่วนความชื้นของอากาศมีผลน้อยมาก ซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำไปใช้ออกแบบสร้างเครื่องคัดเมล็ดพืชให้มีขีดความสามารถในการคัดที่สูง เพื่อแก้ปัญหาในการคัดแยกเมล็ดหญ้าที่ปนมากับข้าวเปลือกในอุตสาหกรรมการแปรรูปข้าว

เอกสารอ้างอิง

พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก 2542. เทคนิคการวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงโดยมอเตอร์สนามไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์. บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Kuff, E. and M. Abddulah. 1977. High-Voltage Engineering. Pergamon Press. Oxford.

Alston, L.L. 1968. High - Voltage Technology. Oxford University Press. London.

Tippens, Paul E. Physics. Fifth Edition.