

เครื่องผลิตมะขามแก้วอัตโนมัติโดยควบคุมการตัดกระแสของมอเตอร์เพื่อใช้ ในกระบวนการแปรรูปอาหาร

Tamarind Caramel Machine Controller by Current Transmission Motor in Food Process.

ชริน สังข์เกษม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ถ.พัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตประเวศ กทม. 10250

โทร 02-3216930-9 ต่อ 1203 E-mail: charinsu@hotmail.com

Charin Sungkasem

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University,

Pattanakarn Rd., Suanluang, Prawet, Bangkok 10250

Tel: 02-3216930-9 Ext.1203 E-mail: charinsu@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการผลิตมะขามแก้วโดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรก เป็นการออกแบบเครื่องกวนมะขามแก้วควบคุมการทำงานโดยวงจรโอเวอร์โวลต์เพื่อตัดกระแสของมอเตอร์ซึ่งกำลังให้สัมพันธ์กับความหนืดของมะขามแก้วขณะที่กวน ในการทดลองจะมีการวัดสัมประสิทธิ์ความหนืดของมะขามแก้วเมื่อสุก กับกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ วงจรโอเวอร์โวลต์จะตัดกระแสพอดี เมื่อมะขามสุก และตัดกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปโซลินอยด์วาล์วเพื่อตัดการไหลของแก๊ส เครื่องกวนมะขามแก้วสามารถกวนได้สูงสุด 7.5 kg ต่อครั้ง ส่วนที่สอง เป็นการออกแบบเครื่องอัดเม็ดมะขามแก้วโดยใช้ชุดสกรูอัดมะขามออกมาเป็นแท่งและคลุกกับน้ำตาลในภาตคลุก ซึ่งทำให้มะขามแก้วเข้ากับน้ำตาลทราย ผลและบทสรุปจากบทความนี้ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของมะขามแก้ว $41.218 \frac{kN \cdot s}{m^2}$ ช่วงกระแสระหว่าง 3.6 - 3.9 A ทำให้มะขามแก้วสุกพอดีและชุดอัดเม็ดมะขามแก้วที่ความเร็วสกรูอัด 30 rpm และความเร็วของภาต เท่ากับ 62.6 fpm ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้จริง

Abstract

This research proposes the process of an automatic Tamarind Caramel producing machine which can be divided in to 2 parts. The first part was designed the overloaded circuit that will control the machine by shutting down the current of transmission motor corresponding to the viscosity of mixed tamarind. Meanwhile the experiments on the

viscosity coefficient of tamarind and the current passing through motor are measured, the overloaded circuit will stop the process properly, when the mixed tamarind is cooked as well as stop the current passing through solenoid valve for stopping the gas flow. The machine is designed for maximum mixing the tamarind of 7.5 kilogram per batch. The second part was to designed a compressing machine. The screw set is used for forming a tamarind bar which is mixed with some sugar in a plate. The result of this experiment shows that the mixed tamarind is cooked perfectly when the viscosity coefficient is $41.218 \frac{kN \cdot s}{m^2}$ and the current is in-between 3.6 -3.9 A. In additional, the tamarind bar compress set works at the screw velocity of 30 rpm and the plate velocity of 62.6 fpm. According to those results, this machine can be used in practical.

1. บทนำ

มะขามในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่คือมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว มะขามเปรี้ยวสามารถนำมาใช้กวนมะขามแก้วซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคในปัจจุบัน กระบวนการผลิตยังคงใช้แรงงานคน ทำให้มีความล่าช้าในกระบวนการผลิต จึงเกิดแนวความคิดงานวิจัยกระบวนการผลิตมะขามแก้ว กระบวนการผลิตแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ

1.1 เครื่องกวนมะขามแก้ว ซึ่งจะใช้วงจรโอเวอร์โวลต์ควบคุมการปิดเปิดโดยวัดจากกระแสของมอเตอร์ เมื่อมะขามใกล้

สุกความหนืดของเนื้อของมะขามจะมีค่ามากขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ก็มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย จึงอาศัยหลักการนี้ มาทดลองหากระแสตัดวงจรโอเวอร์โวลต์เพื่อให้ชุดก้านกวนหยุดการทำงาน ในขณะที่มะขามสุกพอดี เมื่อโอเวอร์โวลต์ตัดกระแส จะตัดชุดโซลินอยส์วาล์วของแก๊สทำให้ชุดแก๊สตัดการทำงานด้วย ดังนั้นในการผลิตจึงไม่ต้องใช้แรงคนในการกวนมะขามแก้ว

1.2 เครื่องอัดเม็ดมะขามแก้ว เมื่อได้มะขามแก้วที่กวนสุกแล้ว นำมาป้อนที่ชุดสกรูอัด เพื่ออัดมะขามแก้วให้ออกมาเป็นลักษณะแท่งทรงกระบอก จากนั้น ชุดใบตัดจำนวน 2 ใบจะตัดออกมาเป็นมะขามแก้วอัดเม็ด แล้วลงไปในชุดถาดคลุกน้ำตาล มะขามแก้วจะคลุกเคล้ากับน้ำตาลออกมาเป็นมะขามแก้วอัดเม็ด ในกระบวนการผลิตทั้งสองกระบวนการ ทำให้ลดเวลา ลดต้นทุน และลดแรงงานคนในการผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

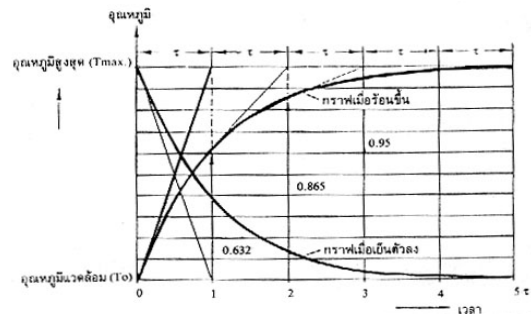
2.1 หลักการทำงานของโอเวอร์โวลต์

หน้าที่ของการป้องกันการเกินโวลต์คือ การปล่อยให้ค่ากระแสเกินที่ไม่เกิดอันตรายทำงานได้ปกติ เช่น $1,1 I_N$ ถ้ากระแสเกินที่ก่อให้เกิดอันตรายต้องถูกตัดออกไป มอเตอร์ที่มทำงานโดยมีค่ากำลังไฟฟ้าปกติ (Rated power) และขดลวดมีค่ากระแสทำงานปกติไหลผ่าน กระแสทำงานปกติจะก่อให้เกิดความสูญเสียขึ้นตลอดเวลาที่ตัวมอเตอร์จะร้อนขึ้น หลังจากสับสวิตซ์ไฟ ให้กระแสไหลผ่านตัวมอเตอร์ ทำให้อุณหภูมิของตัวมอเตอร์เพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วเกือบเป็นเส้นตรง (รูปที่ 1) ซึ่งปริมาณความร้อนนี้ มอเตอร์เองจะเป็นตัวรับความร้อนเก็บไว้ทั้งหมด เมื่อไม่มีการระบายความร้อนออกมาอุณหภูมิยิ่งเพิ่มสูงขึ้น มีลักษณะเป็นเส้นเ็นยร์ (Linear) ต่อไป หลังจากช่วงเวลา 1τ อุณหภูมิจะมีค่าสูงสุด (T_{max}) ความร้อนส่วนหนึ่งของมอเตอร์จะระบายผ่านครีระบายความร้อนออกมา ถ้ามอเตอร์ร้อนมากขึ้น ความร้อนจะระบายออกมากขึ้นด้วย ดังนั้นกราฟของอุณหภูมิคือย ๆ เพิ่มมากขึ้น และเข้าใกล้อุณหภูมิสูงสุดที่อนุญาตคือ T_{max} หลังจากเวลา 5τ อุณหภูมิถึงค่า $0.9933 T_{max}$ ค่าเวลา τ (เทา) นี้ เป็นค่าทางฟิสิกส์คือ Thermal time constant ปกติค่านี้จะนานเป็นนาทีและค่าเวลาคงที่ (Time constant) เป็นค่ารวมความจุความร้อน (Heat capacity) ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของมอเตอร์ และค่าเวลาคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์และขนาดของมอเตอร์ มีค่าอยู่ระหว่าง 20-60 นาที นั่นคือ อุณหภูมิอนุญาตสูงสุดท้าย (End temperature) ขึ้นอยู่กับขนาดของมอเตอร์นี้ ซึ่งใช้เวลาตั้งแต่ 100 - 300 นาที ค่าอุณหภูมิอนุญาตสูงสุดท้าย T_{max} นี้ จะเท่ากับค่าอุณหภูมิสูงสุดที่อนุญาต (Maximum permissible temperature) ตอนที่มอเตอร์มีกระแสทำงานปกติไหลเข้าตัวมอเตอร์

T_0 คือ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม หรืออุณหภูมิระบายอากาศ

T_{max} คือ อุณหภูมิสูงสุดที่อนุญาตให้ไว้

τ คือ Thermal time constant



รูปที่ 1 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในตัวมอเตอร์เมื่อกระแสทำงานปกติ

2.2 การออกแบบ

สมการที่เกี่ยวข้องมีหลายสมการแต่ในการวิจัยกระบวนการผลิตมะขามแก้วนี้ จะใช้เฉพาะสมการที่สำคัญเท่านั้น

สัมประสิทธิ์ความหนืดใช้เพื่อหาสัมประสิทธิ์ความหนืดของมะขามแก้วโดยการนำมะขามแก้วขณะกำลังสุกจากนั้นนำแผ่นเพลตโลหะ 2 แผ่นมาประกบทั้งสองด้านเป็นระยะห่าง y แล้วใช้น้ำหนักถ่วงแล้วจับเวลาเพื่อหาความเร็ว สามารถคำนวณได้จาก

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน (Shearing stress), $\frac{N}{m^2}$

du คือ ความเร็ว, $\frac{m}{s}$

dy คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นวัตถุทั้งสอง, m

μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด, $\frac{N.s}{m^2}$

ความหนืดคิเนมาติกสามารถหาได้จากสัมประสิทธิ์ความหนืด

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

เมื่อ ν คือ ความหนืดคิเนมาติก, $\frac{m^2}{s}$

ρ คือ ความหนาแน่น, $\frac{kg}{m^3}$

ในการทดลองหาแรงบิดที่กระทำต่อก้านและใบกวนสามารถหาได้จากการทดลองโดยใส่มะขามแก้ว ที่ปริมาตรสูงสุด 7.5 kg แล้วใช้ตาชั่งสปริงดึงได้แรงสูงสุดจากการทดลอง 13 kg สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและออกแบบก้านกวนโดยใช้สมการออกแบบเพลตามัดของ AMSE

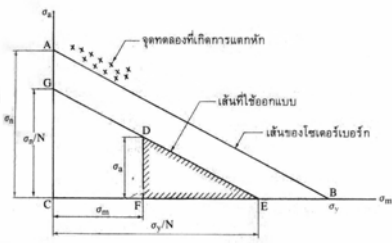
$$d^3 = \frac{16}{\pi} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (3)$$

เมื่อ C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด, ไม่มีหน่วย
 C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด, ไม่มีหน่วย
 T คือ แรงบิด, $N.m$
 M คือ โมเมนต์ดัด, $N.m$

ออกแบบต้องคำนึงถึงความล้าเนื่องการะของเพลลาที่มอเตอร์ขับจึงได้ใช้ทฤษฎีของไซเดอร์เบิร์กมาออกแบบด้วย

$$\frac{1}{N} = \frac{\tau_m}{\tau_y} + \frac{\tau_a}{\tau_n} \quad (4)$$

เมื่อ N คือ ค่าความปลอดภัย, ไม่มีหน่วย
 $\tau_m, \tau_a, \tau_y, \tau_n$ ดังแสดงในรูปที่ 2 แต่ต้องเปลี่ยนจากความเค้นเป็นความเค้นเฉือนเนื่องจากเพลลารับภาระแรงเฉือน



รูปที่ 2 แสดงเกณฑ์ของไซเดอร์เบิร์ก

ขนาดของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$w_p = \frac{2\pi n T}{60} \quad (5)$$

เมื่อ w_p คือ กำลังของมอเตอร์, watt
 n คือ จำนวนรอบที่ต้องการส่งกำลัง, rpm

ในการส่งกำลังของสายพานต้องมีการคำนวณหาแรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกชนิดของสายพาน หน้าตัดสายพานและความยาวของสายพาน

$$F = F_1 - F_2 = \frac{W_p}{V} \quad (6)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงในสายพาน, N
 F_1 คือ แรงดึงในสายพานด้านตึง, N
 F_2 คือ แรงดึงในสายพานด้านหย่อน, N
 W_p คือ กำลังที่ใช้ในการส่งกำลัง, N

แรงดึงชั้นต้นในสายพานจึงเท่ากับ

$$F_i = (k_1 F + 2k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (7)$$

เมื่อ F_i คือ แรงดึงชั้นต้นในสายพาน, N
 k_1 คือ ตัวประกอบใช้งาน, ไม่มีหน่วย
 k_2 คือ ค่าตัวประกอบ, ไม่มีหน่วย
 α คือ มุมของสายพาน, Radian

เสาในภาคคลูกของเครื่องอัดมะขามแก้วใช้สมการการออกแบบเสาสูงของออยเลอร์ใช้ออกแบบขนาดของเสาโดยที่เสามี $\frac{L_c}{k} > 115$

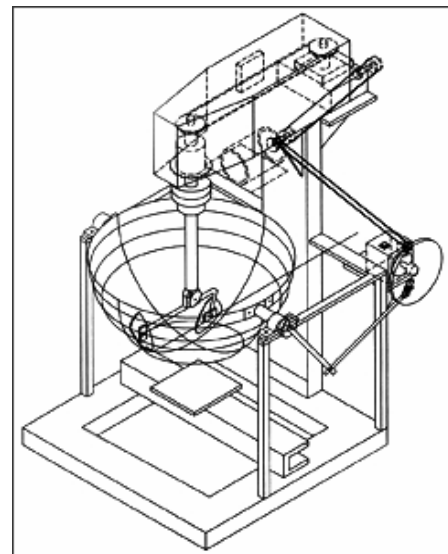
$$F = \frac{\pi^2 EI}{NL_c^2} \quad \text{โดย} \quad \frac{L_c}{k} > 115 \quad (8)$$

เมื่อ
 I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่, m^4
 $L_c = \frac{L}{2}$ คือ ความยาวสมมูล แบบปลายยึดแน่น, m
 k คือ รัศมีไจเรชั่น, m
 N คือ ค่าความปลอดภัย, ไม่มีหน่วย

3. ผลการวิจัย

ส่วนแรก เครื่องกวนมะขามแก้วควบคุมการตัดกระแสดของมอเตอร์ในการออกแบบจะได้ข้อมูลต่างๆดังนี้

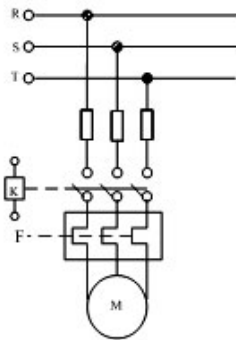
1. เส้นผ่านศูนย์กลางของกระทะ 40 cm ได้จากความหนาแน่นของมะขามแก้วที่น้ำหนัก 7.5 kg
2. ก้านกวนทั้งสองก้านมีความยาว 25 และ 18 cm ทำมุม 30 และ 50 องศา ตามลำดับ
3. ขนาดของก้านกวน 20 mm จากสมการที่ (3) และ (4)
4. ขนาดเกียร์ทด 50:1 ได้จากการทดรอบของใบกวนในอัตรารอบที่เหมาะสมเท่ากับ 23 rpm
5. มอเตอร์ขนาด 2 Hp. 3 phase จากสมการที่ (5)
6. แรงดึงชั้นต้นในสายพาน 210.18 N จากสมการ (7)



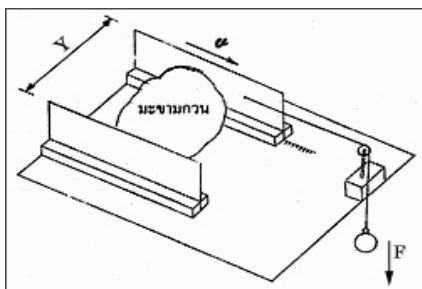
รูปที่ 3 แสดงแบบของเครื่องกวนมะขามแก้ว



รูปที่ 4 รูปแสดงเครื่องกวนมะขามแก้ว



รูปที่ 5 แสดงการต่อวงจรโอเวอร์โวลต์และโซลินอยด์



รูปที่ 6 แสดงทดลองหาสัมประสิทธิ์ความหนืด

อธิบายรูปที่ 3 และ 4 แสดงแบบงานสามมิติของเครื่องกวนมะขามแก้วโดยใช้วงจรโอเวอร์โวลต์ตัดกระแส และแสดงเครื่องกวนมะขามแก้ว และการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องตามลำดับ

อธิบายรูปที่ 5 แสดงการต่อวงจรโอเวอร์โวลต์และโซลินอยด์ในเครื่องกวนมะขามแก้วเพื่อใช้ควบคุมการตัดกระแสของมอเตอร์ และควบคุมการตัดวาล์วของถังแก๊ส

อธิบายรูปที่ 6 แสดงการทดลองหาสัมประสิทธิ์ความหนืดของมะขามแก้วโดยการนำมะขามแก้วขณะกำลังสุกจากนั้นนำแผ่นเพลตโลหะ 2 แผ่นมาประกบทั้งสองด้านเป็นระยะห่าง Y แล้วใช้น้ำหนักถ่วงแล้วจับเวลาเพื่อหาความเร็ว

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาเวลาที่แผ่นเพลตเคลื่อนที่ที่น้ำหนัก 1 kg เวลา 30 s

ครั้งที่	ระยะทาง (m)
1.	0.030
2.	0.037
3.	0.035
4.	0.030
5.	0.033
6.	0.039
7.	0.039
8.	0.039
9.	0.038
10.	0.045

สัมประสิทธิ์ความหนืดของมะขามที่สุกพอดี, $\mu = 41.218 \frac{kN \cdot s}{m^2}$

ความหนืดคิเนมาติก $\nu = 40.98 \frac{m^2}{s}$ จากสมการ (2)

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหากระแสสูงสุดที่ทำให้มะขามแก้วสุกพอดี น้ำหนักของมะขามก่อนกวน 7.5 kg

เวลา (min)	น้ำหนัก (kg)	กระแส (A)	ผลที่ได้
34	7.21	3.35	ยังไม่สุก
36	7.16	3.41	ยังไม่สุก
38	7.09	3.52	เริ่มสุก
40	7.04	3.64	สุกพอดี
42	6.96	3.71	สุกพอดี
44	6.89	3.75	สุกพอดี
46	6.81	3.82	สุกพอดี
48	6.74	3.91	สุกพอดี
50	6.66	3.97	เริ่มไหม้
52	6.57	4.06	เริ่มไหม้
54	6.44	4.12	เริ่มไหม้

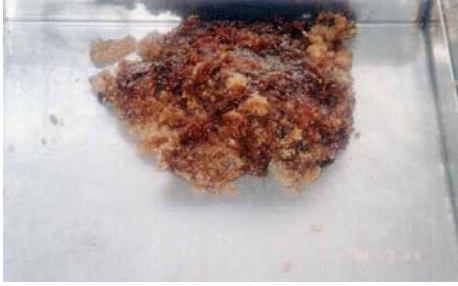
จากการทดลองหาจุดตัดของกระแสชุดวงจรโอเวอร์โวลต์จะได้กระแสสูงสุดที่ทำให้มะขามสุก คือช่วง 3.6 -3.9 A

อธิบายตารางที่ 1 แสดงผลของการทดลองหาเวลาแผ่นเพลตเคลื่อนที่ จากการทดลองในรูปที่ 6 เพื่อหาสัมประสิทธิ์ความหนืด

อธิบายตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองหากระแสสูงสุดที่ทำให้มะขามแก้วสุกพอดี โดยการทดลองกวนมะขามที่ น้ำหนัก 7.5 kg และใช้แอมป์มิเตอร์ต่ออนุกรมแล้วคอยฝาดูจนกระทั่งมะขามแก้วสุกจนกระทั่งไหม้ พร้อมทั้งบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า



รูปที่ 7 แสดงมะขามแก้วที่สุกพอดี



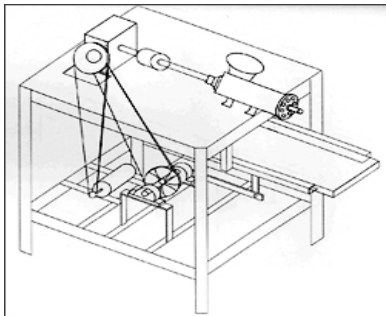
รูปที่ 8 แสดงมะขามแฉกที่ไหม้เนื่องจากกระแสเกิน

อธิบายรูปที่ 7 แสดงมะขามแฉกที่สุกพอดีเนื่องจากกระแสพอเหมาะที่อยู่ระหว่าง 3.6 – 3.9 A

อธิบายรูปที่ 8 แสดงมะขามแฉกที่ไหม้เนื่องจากกระแสเกินคือ มากกว่า 3.9 A ขึ้นไป

ส่วนที่สอง เครื่องอัดเม็ดมะขามแฉกในการออกแบบจะได้ข้อมูลต่างๆดังนี้

1. ใช้เสาน้ำตัด 25 x 25 x 3 mm ยาว 30 cm จากสมการของออยเลอร์ ขนาดของเสาคำนวณได้จากสมการที่ (8)
2. ขนาดของเพลลา 30 mm จากสมการที่ (3) และ(4)
3. มอเตอร์ขนาด 1 Hp 3 phase จากสมการที่ (5)
4. แรงดึงขั้นต่ำในสายพาน 250.6 N จากสมการ (7)
5. เกียร์ทด 20 : 1 จากการทดลองอัดมะขามแฉกที่อัตราการป้อน 30 rpm ซึ่งเป็นอัตราที่เหมาะสมทำให้ใบตัดสามารถตัดมะขามแฉกออกมาได้เป็นชิ้นโดยไม่ติดกับใบตัด



รูปที่ 9 แสดงแบบของเครื่องอัดเม็ดมะขามแฉก



รูปที่ 10 แสดงเครื่องอัดเม็ดมะขามแฉก



รูปที่ 11 แสดงมะขามแฉกอัดเม็ดที่คลุกน้ำตาลเรียบร้อยแล้ว

อธิบายรูปที่ 9 แบบสามมิติแสดงชิ้นส่วนและองค์ประกอบของเครื่องอัดเม็ดมะขามแฉก

อธิบายรูปที่ 10 แสดงเครื่องอัดเม็ดมะขามแฉก และการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่อง

อธิบายรูปที่ 11 แสดงมะขามแฉกอัดเม็ดที่คลุกน้ำตาลเรียบร้อยแล้ว และใบตัดของเครื่องสามารถตัดเม็ดมะขามแฉกออกมาเป็นชิ้นโดยไม่ติดกับใบตัด เนื่องจากใช้รอบในการป้อนที่เหมาะสม

4. บทสรุป

4.1 เครื่องกวนมะขามแฉก จากการทดลองกวนที่น้ำหนัก 7.5 kg กระแสที่อยู่ในช่วง 3.6 -3.9 A สมประสิทธิ์ความหนืด, $\mu = 41.218 \frac{kN \cdot s}{m^2}$ และความหนืดคิเนมาติก, $\nu = 40.98 \frac{m^2}{s}$ มะขามแฉกจะสุกพอดี

4.2 เครื่องอัดเม็ดมะขามแฉก จากการทดลองได้อัตราการผลิตต่อเนื่อง 72 kg / hr ที่ความเร็วรอบสกรูอัด 30 rpm

4.3 เปรียบเทียบกระบวนการกวนมะขามแฉกกับแรงงานคน เครื่องกวนมะขามแฉกเมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการกวนด้วยมือค่าแรงงานคนกับค่าเชื้อเพลิง ในการกวนแต่ละครั้งอยู่ที่ 40 บาท/ครั้ง แต่ค่าใช้จ่ายในการกวนด้วยเครื่องอยู่ที่ 7.95 บาท /ครั้ง (ไม่รวมค่ามะขามแฉก) ต่างกัน 80.12% เครื่องอัดเม็ดมะขามแฉกเมื่อคิดค่าใช้จ่ายจากแรงงานคนต่อวัน ได้ 56 .16 kg /วัน เครื่องสามารถผลิตได้ 511.2 kg /วัน ต่างกัน 89.01%

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จได้ โดยได้รับการเอื้อเฟื้อและขอขอบคุณบุคคลดังต่อไปนี้

1. คุณสมเพียร มะโชะ และ คณะ ช่วยทดลองงานวิจัย
2. อาจารย์ปัทมาภรณ์ พิมพ์พานาม อาจารย์ประจำศูนย์คอมพิวเตอร์มหาวิทยาลัยกรุงเทพ เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่

6. หนังสืออ้างอิง

- [1.] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, “การออกแบบเครื่องจักรกล 1”, ครั้งที่ 3 , พศ. 2536, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม., หน้า 110 -180
- [2.] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, “การออกแบบเครื่องจักรกล 2”, ครั้งที่ 2 , พศ. 2535, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม., หน้า 92 - 123

[3.] B.S.MASSEY, "MECHANIC OF FLUID", 2 nd Ed.,VAN
NOSTRANDREIN-HOLD Co., 1970

[4.] สุนันท์ ศรีถนยนิตย์, "กลศาสตร์ของไหล" ครั้งที่ 6, พศ.2536, ,
มจร., กทม., หน้า 10 -23