วิทยานิพนธ์

การออกแบบและพัฒนากลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

DESIGN AND DEVELOPMENT OF MECHANISM FOR DETACHING THE SHANK OF YOUNG EAR CORN

นายธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการอาหาร)

ปริญญา

วิศวกรรมการอาหาร | วิศวกรรมการอาหาร

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การออกแบบและพัฒนากลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

Design and Development of Mechanism for Detaching the Shank of Young Ear Corn

นามผู้วิจัย นายธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

กรรมการ .....

(อาจารย์วรศักดิ์ สมตน, M.Eng.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์ประภาศรี สิงห์รัตน์, M.Appl.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... **เดือน**..... **พ.ศ.**.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนากลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

Design and Development of Mechanism for Detaching the Shank of Young Ear Corn

โดย

นายธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการอาหาร)

พ.ศ. 2550

ธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์ 2550: การออกแบบและพัฒนากลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการอาหาร) สาขาวิศวกรรมการอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D. 103 หน้า

การออกแบบและพัฒนากลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน เพื่อนำมาใช้กับเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง เริ่มจากการศึกษาหาความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพภายนอกของฝักข้าวโพดทั้งฝักกับความยาวของก้านฝักข้าวโพด เพื่อใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการออกแบบ โดยจากการศึกษาฝักข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ SG17SUPER จำนวน 100 ฝัก พบว่า ฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่มีความยาวฝักยาวมีแนวโน้มที่จะมีขนาดความยาวก้านฝักยาวด้วย ซึ่งความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างขนาดความยาวตลอดทั้งฝักของฝักข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับขนาดความยาวก้านฝักของฝักข้าวโพดฝักอ่อน (A) มีค่า $R^2 = 0.7919$ ผลจากความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่า ฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่นำมาหักขั้วควรมีการคัดความยาวทั้งฝักก่อน เพื่อให้มีความยาวก้านฝักภายในใกล้เคียงกัน จากการทดสอบการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนในลักษณะต่าง ๆ พบว่า การหักขั้วฝักที่ดีที่สุด คือ วิธีนำข้าวโพดฝักอ่อนไปกรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝักโดยหงายฝักแล้วจึงนำไปหักขั้วฝัก และระยะตรงขั้วฝักเป็นตำแหน่งการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่ดีที่สุด ซึ่งคิดเป็น 96 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบ และสร้างกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนซึ่งใช้ตำแหน่งของการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่ 4.9 เซนติเมตรจากทางขั้วฝัก และนำไปทดสอบระดับการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่มีความชื้นแตกต่างกันตามระยะเวลาที่เก็บรักษา 3 วัน (87.50, 84.75 และ 80.53%) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาความสัมพันธ์โดยการทดสอบไค-สแควร์ (Chi-square test) พบว่า ระดับการหักขั้วฝักและความชื้นของขั้วฝักมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีประสิทธิภาพในการหักขั้วฝักสูงสุดคิดเป็น 89 เปอร์เซ็นต์

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Thitipong Phothisoot 2007: Design and Development of Mechanism for Detaching the Shank of Young Ear Corn. Master of Engineering (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 103 pages.

The mechanism for detaching the shank of young ear corn was designed and developed for installation in the baby corn husking machine based on rollers. This research investigated the relationship between the whole length of the baby corn and the shank of young ear corn and the obtained data would be used in the design of mechanism for detaching the shank of young ear corn. 100 young ear corn of the SG17SUPER variety were measured. The results indicated that the greater the whole length of the young ear corn (C) the greater the shank length (A). Linear regression analysis showed R^2 between these 2 parameters of 0.7919. The implication of this regression result was that young ear corn had to be graded by the whole length to obtain the consistent length of shank. Then the young ear corn was tested to study the optimum shank detaching configurations. The best method to detach the shank from the young ear corn was to cutting individual corns along the longitudinal axis before detaching. Besides detaching the shank at the calculated distance was the best position and the efficiency was 96%.

The position that used to design the mechanism for detaching the shank was 4.9 cm from the shank tip. The detaching level was tested at different moisture content of the shank (87.50, 84.75 and 80.53%) that resulted from 3 days of storage time. The statistical analysis with Chi-square test indicated that the detaching level was significantly correlated well with its moisture content at 0.01 level of test. The performance testing showed that this detaching mechanism performed with 89% maximum efficiency.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์วรศักดิ์ สมตน กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และ อาจารย์ ดร.วิทิตร ใจอารีย์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมการอาหารทุกท่านที่กรุณาอบรมและสั่งสอนสิ่งต่าง ๆ ระหว่างการศึกษา ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคนโดยเฉพาะพี่อภิชัยและพี่วุฒิชัย ที่คอยให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านการศึกษาตลอดมา รวมถึงขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
การบรรจุ	8
โครงสร้างต้นทุน	10
อุปกรณ์และวิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	29
การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	40
ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	43
สรุป	43
ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	45
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก ข้อมูลขนาดที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน	49
ภาคผนวก ข การทำงานของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	93
ภาคผนวก ค แบบของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	95
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์ ไค- สแควร์	101
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลการทดสอบการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อนที่ความชื้นต่าง ๆ	39
2	ค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	42

ตารางผนวกที่

ก1	ข้อมูลขนาดที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน (หน่วย cm.)	49
ก2	ค่าความชันที่หนึ่งโดยใช้การข้ามหนึ่งจุด (First derivative)	53
ก3	ค่าความชันที่สองโดยใช้การข้ามหนึ่งจุด (Second derivative)	61
ก4	ผลการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	69
ก5	ค่าความชื้น (%) ของฝักข้าวโพดที่นำมาทดสอบกลไกการหักขั้วฝัก	71
ก6	ระดับการหักของขั้วข้าวโพดฝัดอ่อน	86
ก7	แรงที่ใช้ในการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	91
ง1	วิธีการวิเคราะห์ ไค- สแควร์	102

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ช่อดอกตัวเมียของข้าวโพด	3
2	แสดงการปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน	5
3	ขนาดของข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม	6
4	ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักและความยาวของข้าวโพดฝักอ่อน	11
5	แสดงขนาดต่าง ๆ ที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน	11
6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวขั้ว (A) กับความยาวฝักข้าวโพด (C) ของข้าวโพดฝักอ่อน 500 ฝัก	12
7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวฝักอ่อน (B) กับเส้นผ่านศูนย์กลางฝักก่อนปอก (E) ของข้าวโพดฝักอ่อน 500 ฝัก	12
8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ D-E ของข้าวโพดฝักอ่อน 500 ฝัก	13
9	ขนาดต่าง ๆ ที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน	14
10	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตั้งแต่ขั้วของฝักข้าวโพดที่เป็นเปลือกจนถึงขั้วของฝักข้าวโพดที่เป็นเนื้อ (A) กับความยาวข้าวโพดทั้งฝักรวมเปลือก (C)	14
11	ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบหักขั้ว	16
12	โครงสร้างเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบกระทุ้ง	18
13	เครื่องปอกเปลือกแบบใช้มือหมุนขับชุดสายพานพาข้าวโพดสู่ชุดกรีดฝัก	20
14	ภาพวาดไอโซเมตริกแสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องปอกเปลือกที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งป้อน ลูกกลิ้งดึงฝักออกจากกลไกการกรีด ลูกกลิ้งปอกเปลือกและกลไกการกรีด	21
15	ขนาดต่าง ๆ ที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน	24
16	การกำหนดจุด x และ y ที่เปลือกด้านนอกของข้าวโพดฝักอ่อน	25
17	แสดงลักษณะการทำงานของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	26
18	การทดสอบแรงที่ใช้หักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	27
19	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวก้านฝัก ของข้าวโพดฝักอ่อน (A)	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อฝักอ่อน (B)	30
21	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (A) กับความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อฝักอ่อน (B)	31
22	ค่าความชันอันดับหนึ่งของความโค้งรูปด้านข้างของตัวอย่างฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะความยาวจากขั้วฝัก	32
23	ข้าวโพดที่ทดสอบหาตำแหน่งขั้ว	32
24	ค่าความชันอันดับสองของความโค้งรูปด้านข้างของตัวอย่างฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะความยาวจากขั้วฝัก	33
25	แสดงกลไกการหักขั้ว	35
26	แสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกในการหักขั้วฝัก	35
27	แสดงการออกแบบกลไกโดยวิธีกราฟ	36
28	แสดงกลไกที่เสร็จสมบูรณ์	36
29	แสดงกลไกการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน	37
30	แสดงระบบหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	38

ภาพผนวกที่

1	การทำงานของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	93
2	โปรแกรมการทำงานของ PLC (Ladder diagram)	94
3	แบบ Isometric Assembly เครื่องหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	96
4	แบบ 3 Views standard แสดงเครื่องหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	97
5	แบบโครงสร้างเครื่องหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	98
6	แบบ 3 Views standard กลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	99
7	แบบลูกกลิ้งลำเลียงของเครื่องหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	100

การออกแบบและพัฒนากลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

Design and Development of Mechanism for Detaching the Shank of Young Ear Corn

คำนำ

ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำรายได้มาสู่เกษตรกร และประเทศไทยปีละหลายพันล้านบาท ทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์สด แช่แข็ง หรือบรรจุกระป๋อง ซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น โดยที่ในปี 2549 การส่งออกข้าวโพดอ่อนบรรจุกระป๋อง มีปริมาณถึง 96,347 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,145.07 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) นับว่าเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีบทบาทต่อเศรษฐกิจการส่งออกของประเทศมาก แต่ในปัจจุบันการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนยังไม่เพียงพอต่อความต้องการที่มากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องมาจากมีปัญหาหลักคือ เรื่องการปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่ยังต้องใช้แรงงานคนในการปอกเปลือก ทั้งในเรื่องการขาดแคลนคนงาน และคนงานนั้นจะต้องมีความชำนาญในการปอกเปลือกจึงจะสามารถปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนส่งโรงงานได้ทันความต้องการ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนขึ้นมาเพื่อใช้แทนแรงงานคนหลายรูปแบบ ซึ่งเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่มีนั้น ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากข้าวโพดฝักอ่อนที่ใช้ในการส่งออกในอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋องจะต้องทำการปอกเปลือกและหักขั้วออก เหลือแต่เฉพาะเนื้อฝักอ่อนเท่านั้น และต้องไม่ทำให้เกิดความช้ำเสียหายต่อเนื้อฝักอ่อน เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบลูกกลิ้งที่พัฒนาโดย อนุพันธ์ และภัทร (2548) เป็นเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่มีศักยภาพ และสามารถพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ โดยปัญหาหลักคือเมื่อข้าวโพดฝักอ่อนออกมาจากเครื่องแล้วยังมีก้านฝักติดอยู่ซึ่งจะต้องนำมาหักขั้วอีก จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการพัฒนากลไกการหักขั้วฝักข้าวโพด เพิ่มเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อให้ สามารถทำการปอกเปลือกและหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อนได้ เพื่อที่จะได้เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่สามารถผลิตข้าวโพดฝักอ่อนได้ทันตามความต้องการของตลาด และจะเป็นการประหยัดเวลาไม่ต้องมาใช้แรงงานคนในการหักขั้วที่ยังติดอยู่กับฝักข้าวโพดฝักอ่อน นอกจากนั้นแล้ว ในปัจจุบันยังมีความต้องการเครื่องที่สามารถกรีดเปลือก หักขั้วฝัก และแยกเนื้อฝักที่ยังไม่ต้องกำจัดไหมออกจากเปลือก ดังนั้นกลไกการหักขั้วฝักที่พัฒนานี้จะสามารถนำมาใช้ในกรณีนี้ได้

วัตถุประสงค์

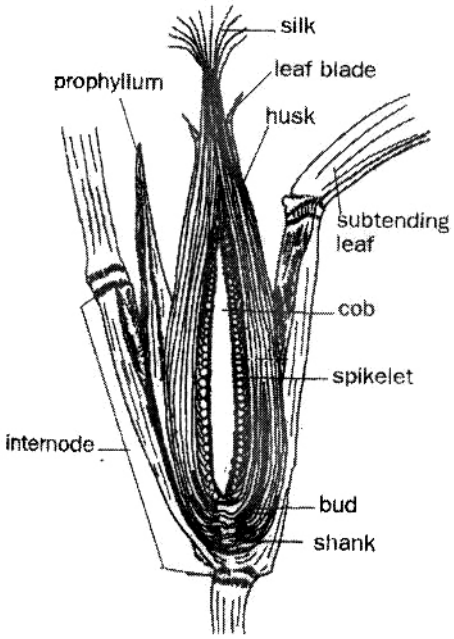
เพื่อออกแบบและพัฒนากลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน ที่สามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบลูกกลิ้งเพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานระดับอุตสาหกรรม

การตรวจเอกสาร

1. ข้าวโพดฝักอ่อน

1.1 ลักษณะของข้าวโพดฝักอ่อน

ข้าวโพด (Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea Mays L. อยู่ในวงศ์ (Family) GRAMINEAE ข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn หรือ young ear corn) หมายถึง ข้าวโพดส่วนที่ยังเป็นช่อดอกที่ยังไม่เจริญเป็นเมล็ดทั้งฝัก



ภาพที่ 1 ช่อดอกตัวเมียของข้าวโพด

ตัวฝักอ่อนของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่นำมารับประทานเป็นช่อดอกตัวเมีย (pistillate inflorescence) เกิดจากตาที่มุมใบข้อที่ 7 หรือ 8 บนลำต้นนับจากใบธงลงมา ช่อดอกเป็นแบบ spike เรียกทั่วไปว่าฝัก (ear) การพัฒนาของช่อดอกเริ่มต้นเมื่อข้าวโพดมีอายุประมาณ 40 – 45 วันหลังงอก มีส่วนของ prophyllum ห่อหุ้มตาในขณะที่ตายังไม่พัฒนา และเมื่อช่อดอกพัฒนาเต็มที่แล้วจะเป็นส่วนที่กั้นระหว่างฝักกับลำต้น ก้านฝักหรือช่อดอก (shank) ไม่ยืดตัว และเกิดส่วนของใบที่มีเฉพาะกาบใบเป็นเปลือกหุ้มฝัก ใบที่รองรับช่อดอกตัวเมียนี้เรียกว่า subtending leaf (รังสฤษดิ์ และคณะ, 2541)

ข้าวโพดฝักอ่อนจะเก็บมารับประทานเมื่อฝักยังอ่อนอยู่หรือเมื่อแกนกลาง (ซัง) ยังไม่แข็งและสามารถจะเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ไหมยังไม่โผล่จากเปลือกหุ้มฝักจนไหมโผล่ โดยทั่วไปจะทำการเก็บเกี่ยวหลังจากที่ข้าวโพดฝักอ่อนมีอายุประมาณ 45 วันและมีช่วงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวประมาณ 2 สัปดาห์ (ลาวัลย์, 2531)

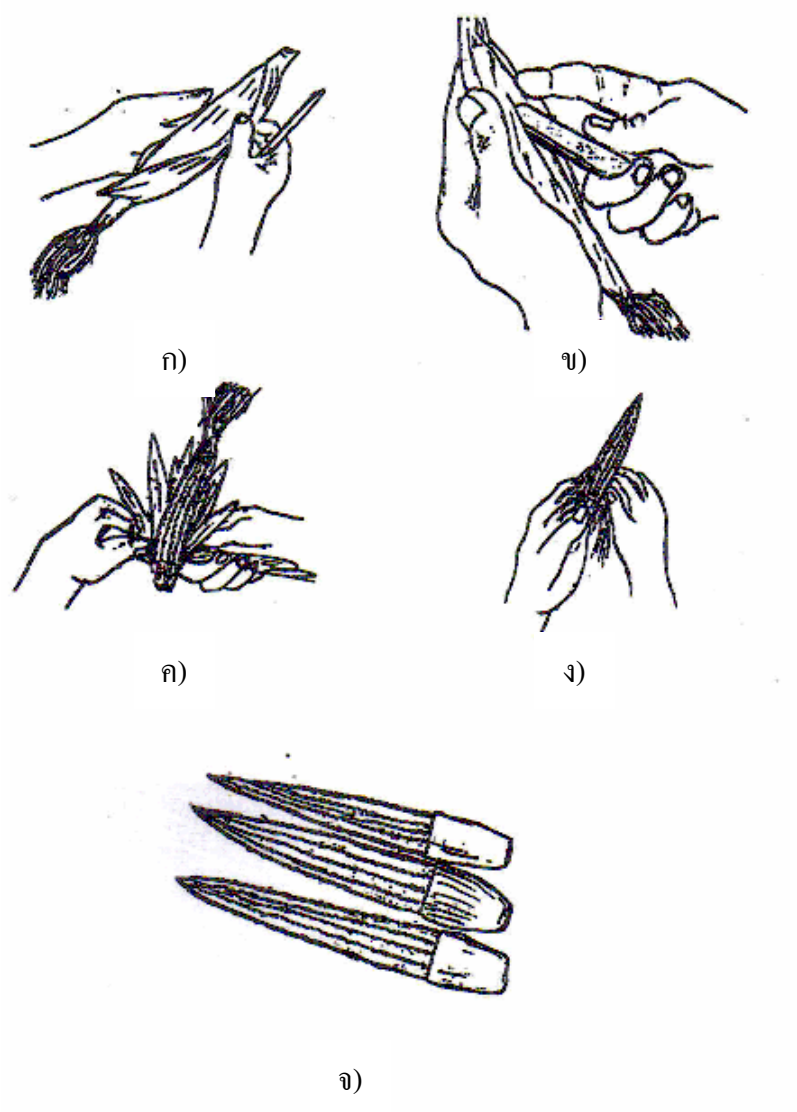
1.2 ข้อควรปฏิบัติในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

เมื่อเก็บฝักข้าวโพดฝักอ่อนแล้ว เกษตรกรควรรีบนำเข้าที่ร่ม หรือโรงเรือนที่มีการระบายอากาศที่ดี พยายามจัดวางให้ผลผลิตได้ระบายความร้อน ไม่ควรเก็บข้าวโพดฝักอ่อนไว้เป็นกองสูง ๆ และไม่ควรทิ้งไว้หลายวัน ถ้าเป็นไปได้ ควรนำมาลอกเปลือกออกทันทีหลังการเก็บเกี่ยว ในการขนส่งควรทำโดยเร็วที่สุด และไม่กองฝักข้าวโพดบนพื้นดิน หรือพื้นรถบรรทุกโดยตรงควรใส่ในภาชนะ ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปอกเปลือกแล้วควรบรรจุในกล่องกระดาษ หรือตะกร้าพลาสติกที่มีรูระบายอากาศ ส่วนการปอกเปลือกข้าวโพดอ่อน ต้องกรีดไม่ให้เกิดบาดแผล ลอกไหมให้เกลี้ยง เครื่องมือที่ใช้ เช่น มีด ภาชนะบรรจุ ต้องสะอาด ในการทำความสะอาดก็เพื่อลดปริมาณเชื้อราตามที่ต่างๆ เช่น เครื่องมือ เครื่องใช้ มีด หรือภาชนะที่ใช้ตั้งแต่การเก็บเกี่ยวถึงการบรรจุหีบห่อ และทำความสะอาดห้องเก็บรักษาในรูปของแก๊สหรือใช้สารละลายที่ฆ่าเชื้อโรคภายนอก เช่น ฟอร์มาดีไฮด์ อัตรา 1-2 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำฉีดพ่นหรือใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ เป็นต้น สำหรับผู้ส่งออก ควรลดอุณหภูมิข้าวโพดฝักอ่อนที่มาจากแปลงปลูกโดยเร็วที่สุดเท่าที่ทำได้ วิธีที่นิยมใช้คือ การอัดลมเย็น (forced-air cooling) จะทำให้ลดการระบาดของการเน่า ลดการสูญเสียน้ำและความหวาน ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการเก็บรักษา หรือระหว่างการขนส่ง คือ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ในการบรรจุหีบห่อที่เหมาะสม ไม่บรรจุมากเกินไปในกล่องเดียวกัน การเก็บรักษาในถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์ม PVC จะช่วยป้องกันผลผลิตให้คงคุณภาพดี และควรหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดบาดแผลหรือความช้ำบนฝัก เริ่มตั้งแต่การปอกเปลือกตลอดจนการบรรจุหีบห่อ การขนส่งและการปฏิบัติอื่น ๆ หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการที่เชื้อราและบักเตรีบางชนิดเข้าทำลาย

1.3 การกรีดเปลือกออกหรือการปอกเปลือก

วิธีการกรีดจะเริ่มจากการลอกเปลือกด้านนอกออก 3 – 4 ชั้น ขณะปอกจับฝักข้าวโพดหันทางด้านโคนฝักขึ้น (ภาพที่ 2 ก) จากนั้นผู้กรีดจะใช้มีดคัตเตอร์ หรือมีดคม ๆ ยาวประมาณ 15 เซนติเมตร และอาจใช้ผ้า หรือเทปพลาสติกพันรอบปลายมีดให้เหลือปลายเพียง 1 – 1.5 เซนติเมตร

เพื่อป้องกันไม่ให้มีดกรีดลึก และถูกฝักอ่อนข้างใน กรีดรอบโคนฝักให้ขาดเฉพาะส่วนเปลือกเท่านั้น แล้วจึงกรีดเปลือกตามความยาวของฝักลงมา (ภาพที่ 2 ข) หลังจากกรีดแล้วจะมีรอยแยกพอมองเห็นรอยต่อของก้านกับฝักอ่อน ผู้ปอกจะใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วกลางจับ แล้วใช้มือขวาบิดหมุนเปลือกเอาฝักอ่อนออกมานอกเปลือก หรืออาจแกะออกก็ได้ การกรีดจะทำอย่างระมัดระวัง เพราะจะทำให้ฝักอ่อนหักได้ (ภาพที่ 2 ค)จากนั้นใช้มือรวบไหมจากส่วนยอดฝัก แล้วดึงมายังโคนฝักตามความยาวจนไหมหลุดออกมาเกือบหมดจากนั้นหมุนฝักไปรอบๆ แล้วใช้นิ้วมือรูดไหมออกจากแกนอ่อนให้หมด การรูดไหมต้องระวังไม่ให้ปลายฝักหัก เนื่องจากจะทำให้ข้าวโพดฝักอ่อนถูกตัดราคาจากผู้ซื้อหรือโรงงานได้ (ภาพที่ 2 ง) จากนั้นทำการคัดขนาดและบรรจุลงภาชนะ เพื่อลำเลียงไปจำหน่ายต่อไป (ภาพที่ 2 จ) (อรรถพล, 2541)

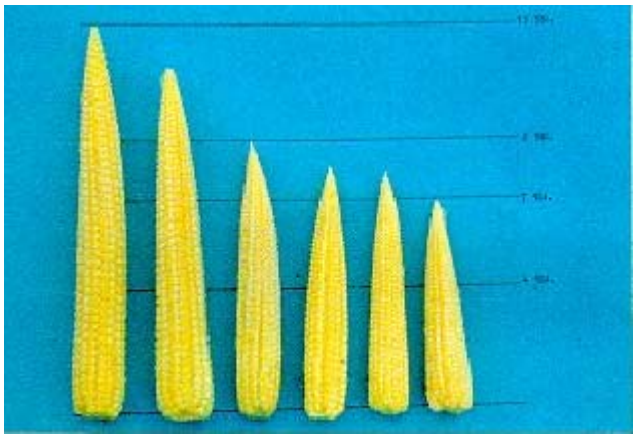


ภาพที่ 2 แสดงการปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน

ในโรงกรีดผู้กรีดที่มีความชำนาญจะทำทุกขั้นตอนจนได้ข้าวโพดฝักอ่อนที่ไม่มีเปลือกและไหมแต่บางคนที่ยังไม่มีความชำนาญก็จะทำขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งแล้วส่งให้คนอื่นทำขั้นตอนต่อไป เช่น คนปอกเปลือกก็จะปอกเปลือกจนได้ข้าวโพดที่มีไหมส่งให้คนลอกไหมมาลอกไหมให้หมด เมื่อได้ข้าวโพดแล้วจะนำมาบรรจุลงภาชนะต่างๆ เช่น ตะกร้าพลาสติก ถุงพลาสติก กระบุงพลาสติก ฯลฯ พร้อมกับทำการคัดขนาดและคุณภาพไปด้วย การลอกเปลือกควรทำทันทีหลังการเก็บเกี่ยว ไม่ควรทิ้งเอาไว้หลายวัน

1.4 มาตรฐานข้าวโพดฝักอ่อน

เพื่อจะผลิตข้าวโพดฝักอ่อนที่มีคุณภาพดี เกษตรกรจะต้องรู้มาตรฐานและคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนที่ผู้ซื้อต้องการ



ภาพที่ 3 ขนาดของข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม

ขนาดของข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม (กรมวิชาการเกษตร, 2549) จำแนกเป็น 3 เกรด (ดูภาพที่ 3) คือ

1. ความยาวฝัก 9 – 13 เซนติเมตร (เกรด L)
2. ความยาวฝัก 7 – 9 เซนติเมตร (เกรด M)
3. ความยาวฝัก 4 – 7 เซนติเมตร (เกรด S)

ส่วนใหญ่โรงงานจะผลิตเกรด S, M มากกว่า L โดยคุณภาพที่ต้องการ คือ

สีของฝัก	มีสีเหลืองหรือครีม
ฝักสมบูรณ์	การเรียงของไข่ปลาตรง ไม่หัก เน่า หรือแก่เกินไป ฝักไม่มีรอยกรีด ไม่มีเศษไหมติด
ฝักสด	ไม่เหี่ยวแห้ง ไม่ผ่านการแช่น้ำ
ขั้ว	ตัดแต่งระหว่างรอยขั้วกับฝักเรียบร้อย

1.5 ข้าวโพดฝักอ่อนกระป๋อง

กรรมวิธีการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนกระป๋อง ทำได้โดย

ก. นำข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลอกเปลือกแล้ว มาทำความสะอาด

ข. ต้มหรือลวกให้สุก โดยต้มในน้ำที่เดือดแล้ว ผสมด้วยสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.2%

ค. แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05% นาน 10นาที

ง. แช่น้ำเย็น

จ. คัดแยกเกรด

ฉ. นำมาบรรจุในกระป๋องที่ล้างสะอาดและผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

ช. เติมน้ำเกลือ ไล่อากาศ ปิดฝา

ซ. นำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยหม้อนึ่งความดัน ณ อุณหภูมิ 250 องศาฟาเรนไฮน์ 20 นาที

ฌ. จากนั้นนำกระป๋องมาทำให้เย็น

ญ. ปิดฉลาก และบรรจุกระป๋องข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋อง มีมาตรฐานกำหนดชนิดผลิตภัณฑ์ตามความยาวฝัก โดยแบ่งเป็น 4 ขนาด คือ

1. ฝักใหญ่ขนาด	10 - 13	เซนติเมตร
2. ฝักกลางขนาด	7 - 10	เซนติเมตร
3. ฝักเล็กขนาด	4 - 7	เซนติเมตร
4. ฝักหักคละกันไม่จำกัดขนาด		

ชนิดที่ 1 – 3 จะมีข้าวโพดที่ผิดขนาดได้ไม่มากกว่าร้อยละ 5 ของจำนวนฝักในแต่กระป๋อง และแบบการบรรจุเป็นการบรรจุโดยการเติมของเหลว (Liquid pack) ส่วนประกอบหลักคือข้าวโพดฝักอ่อนและน้ำเกลือโดยสารเจือปนที่ยอมให้ใช้ได้ คือ ผงชูรส (Monosodium glutamate monohydrate) และยอมให้มีสารปนเปื้อนจำพวกดีบุกไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมนอกจากข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุน้ำเกลือแล้วยังมีผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีก เช่น ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำส้มสายชูไม่ใส่เครื่องเทศ และใส่เครื่องเทศ วิธีการแปรรูปจะคล้ายกับข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุในน้ำเกลือจะต่างกันบ้างคือ ส่วนผสมในน้ำที่บรรจุ สำหรับปริมาณการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือจะมีมากกว่าข้าวโพดในน้ำส้มสายชู ซึ่งส่งไปขายยังประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

การบรรจุ

การบรรจุเป็นการเติมของเหลว ส่วนประกอบที่ใช้จึงเป็นข้าวโพดฝักอ่อนกับน้ำเกลือ หรือน้ำส้มสายชู มีสารเจือปนที่ยอมให้ใช้ได้คือ ผงชูรส และยอมให้มีสารปนเปื้อนจำพวกดีบุกไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนลักษณะของฝักข้าวโพดที่จะนำไปบรรจุจะถูกกำหนดเป็นปริมาณข้อบกพร่องที่ยอมให้มีได้ต่อข้าวโพดฝักอ่อนหนึ่งกระป๋อง ดังนี้ (ฝักใหญ่ กลาง เล็ก)

ตำหนิหรือฝักที่ผิดปกติไม่เกิน	1 ฝักต่อกระป๋อง
ก้านหรือเปลือกไม่เกิน	1 ชิ้นต่อกระป๋อง
ส่วนที่หักต่อกันได้	1 ฝักต่อกระป๋อง
ชิ้นที่เป็นเศษ	1 ชิ้นต่อกระป๋อง

สำหรับฝักหักคละ ข้อบกพร่องเหมือนชนิดฝักใหญ่ ฝักกลาง และฝักเล็ก ยกเว้นไม่จำกัดจำนวนส่วนที่หักต่อกันได้ และชิ้นเศษ ส่วนปริมาณสุทธิในแต่ละกระป๋องต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 90 ของความจุกระป๋อง และน้ำหนักเนื้อข้าวโพดฝักอ่อนในแต่ละกระป๋องต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 42 ของน้ำหนักสุทธิ นอกจากนี้ ในส่วนที่สำคัญอีกอย่างคือในเรื่องของพันธุ์ข้าวโพด ที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นฝักอ่อนบรรจุกระป๋อง จะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

กลิ่นและรส ปกติข้าวโพดทุกพันธุ์จะมีกลิ่นดีและคล้ายคลึงกัน มีส่วนแตกต่างกันน้อยมาก แต่ที่สังเกตได้ชัดก็คือ ในเรื่องของรสชาติ พบว่าข้าวโพดหวาน เช่นพันธุ์ Hawaiian Sugar Super Sweep จะให้รสชาติดีกว่าข้าวโพดไร่ทั่วไป

ลักษณะเนื้อ ให้เนื้อสัมผัสที่ดี กรอบ ไม่แข็งกระด้าง สาเหตุดังกล่าวอาจเกิดจากข้าวโพดฝักอ่อนที่แก่เกินไป นอกจากนี้ข้าวโพดฝักอ่อนที่แก่ยังมีขนาดใหญ่เกินความต้องการมีแถวการเรียงตัวของเมล็ดห่างเกินไป ทำให้ลักษณะของฝักไม่สวย

ขนาดของฝัก ไม่ควรใช้ฝักที่มีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไป ฝักที่มีขนาดแหลม และบรรจุกระป๋องได้ผลดี เรียงฝักได้สวย คือ ฝักที่ขนาด 7-10 เซนติเมตร

การเรียงตัวของเมล็ด มีการเรียงตัวของเมล็ดดี สม่ำเสมอ

ลักษณะสี สีสม่ำเสมอ ภายในกระป๋องเดียวกันปกติจะใช้พันธุ์เดียวกัน เพื่อให้ได้สีเดียวกันทั้งกระป๋อง

มีเปลือกน้อย ข้าวโพดฝักอ่อนปกติมีน้ำหนักเปลือกอยู่ประมาณ 80-90% ด้วยเหตุนี้ ทางโรงงานจึงลดอัตราการเสี่ยงด้วยการรับซื้อเฉพาะข้าวโพดฝักอ่อนปอกเปลือกแล้วเท่านั้น และยังเป็นการลดค่าจ้างแรงงานในการปอกได้อีกด้วย แต่ยังมีข้อเสียคือ เรื่องแมลงเจาะทำลาย และเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลที่เนื้อบริเวณเนื้อที่สัมผัสกับอากาศในระหว่างรอการผลิต ทำให้คุณภาพลดลง และทำให้สูญเสียเนื้อจากการเน่ามากขึ้น

ผลผลิตต่อไร่สูง จะช่วยลดราคาวัตถุดิบในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋อง ในกรณีที่โรงงานไม่มีไร่ปลูกเป็นของตนเอง

บรรจุภัณฑ์ ภาชนะบรรจุมีทั้งที่เป็นกระป๋อง และเป็นขวด ซึ่งส่วนใหญ่การบรรจุขวดแก้วจะส่งไปขายในตลาดญี่ปุ่น ขนาดบรรจุแบบกระป๋องมี 3 ขนาด คือ ขนาด 15, 20 และ 108 ออนซ์ โดยที่แต่ละขนาดจะมีฝักอ่อน น้ำหนักสุทธิ 210 , 270 และ 1,500 กรัม ตามลำดับ โรงงานส่วนใหญ่จะบรรจุในขนาด 108 ออนซ์ ซึ่งผู้นำเข้าในต่างประเทศส่วนใหญ่จะขายให้แก่ ภัตตาคาร ส่วนอีก 2 ขนาดจะขายตามซุปเปอร์มาเก็ต

โครงสร้างต้นทุน

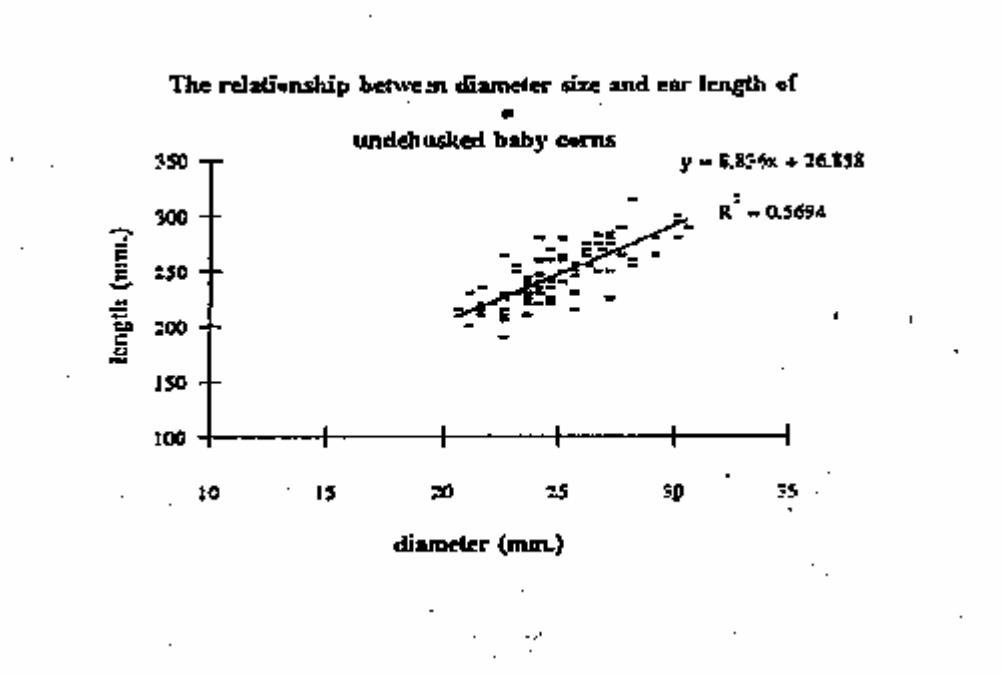
ต้นทุนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋องขนาดบรรจุ 108 ออนซ์ จำนวน 1 หีบ (6 กระป๋อง) ในปี 2539 นั้น พบว่าเป็นข้าวโพดฝักอ่อนร้อยละ 61.17 ของต้นทุนการผลิตผันแปร ที่เหลือเป็นค่าบรรจุภัณฑ์ แรงงานวัตถุดิบ ส่วนผสม พลังงาน/น้ำ และค่าขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 18.54, 15.45, 3.09, 1.08 และ 0.67 ของต้นทุนการผลิตตามลำดับ โดยราคาจำหน่ายให้ผู้นำเข้าไปในปีนี้เท่ากับ 350 บาท/หีบ คิดเป็นกำไรต่อหีบเท่ากับ 26.30 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 8.12 ของต้นทุนการผลิตผันแปร ซึ่งพบว่าอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

2. คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวโพดฝักอ่อน

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะจะช่วยให้สามารถทำการออกแบบกลไกในการปอกเปลือกและการหักขั้วได้อย่างมีประสิทธิภาพและที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาไว้

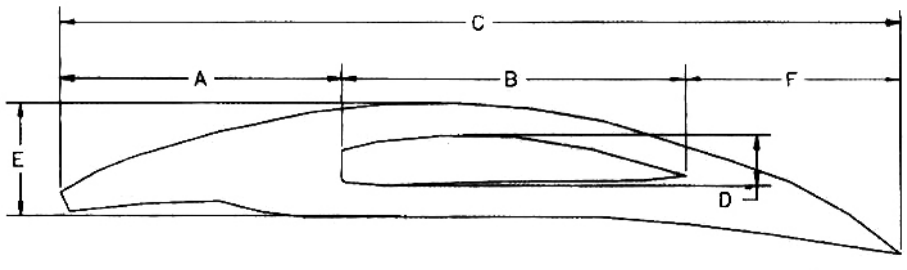
ประยุทธ์ และ อเนก (2536) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดพบว่าส่วนปลายของข้าวโพดฝักอ่อนมีค่ามุมประมาณ 12 – 13.5 องศา ตัวฝักอ่อนจะซ่อนตัวอยู่ในบริเวณค่อนไปทางด้านโคนของฝักข้าวโพด เมื่อจับที่ส่วนโคนฝักข้าวโพดแล้วยกตัวฝักขึ้น ฝักอ่อนจะหักที่มุมตั้งแต่ 30 องศาขึ้นไป และของเหลวจากเปลือกและไหมของข้าวโพดฝักอ่อนจะทำปฏิกิริยากับวัสดุจำพวกโลหะ อลูมิเนียม เหล็กธรรมดาเหล็กไร้สนิม และทองเหลืองทำให้เกิดเป็นสีคล้ำ

สุวรรณ และคณะ (2540) ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวฝักตามแนวนอนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของข้าวโพดฝักอ่อน (120 ฝัก) ออกมาได้อยู่ในรูปของสมการ $y = 8.836x + 26.858$ (ภาพที่ 4) โดยที่ y คือ ขนาดความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนตามแนวนอน และ x คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โตที่สุดของฝักข้าวโพดและยังได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของความหนาของเปลือกและไหม กับเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักพบว่าเกือบไม่มีความสัมพันธ์กันเลย แต่เมื่อนำข้อสรุปนี้มาออกแบบชุดกรีด พบว่าเกิดรอยกรีดที่เนื้อฝักอ่อนด้วย



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักและความยาวของข้าวโพดฝักอ่อน

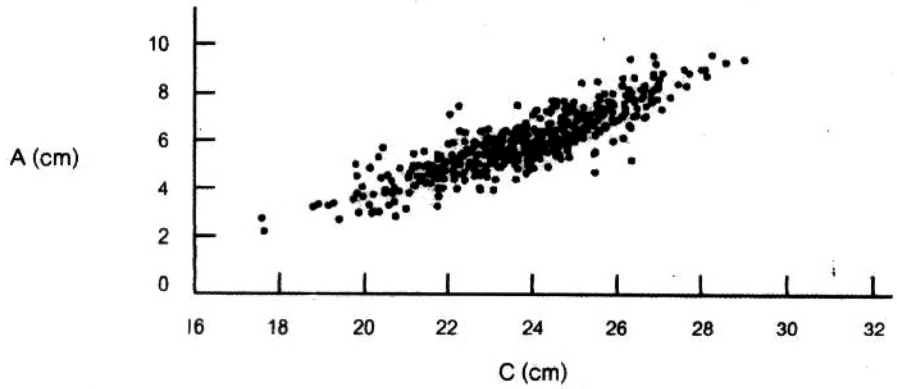
ชมพูนุช และรัฐพล (2542) หาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดภายในและภายนอกของข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ ซีบรา-5414 จำนวน 500 ฝัก พบว่าความยาวขั้ว (A) มีความสัมพันธ์กับความยาวทั้งฝัก (C) , ความยาวฝักอ่อน (B) มีความสัมพันธ์กับ เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งเปลือก (E) และ เส้นผ่านศูนย์กลางของฝักอ่อนไม่รวมเปลือก (D) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งเปลือก (E) โดยที่ระยะต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงขนาดต่าง ๆ ที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวขั้ว A กับความยาวฝักข้าวโพด C มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7458 ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวโพดที่มีความยาวฝักยาวมีแนวโน้มที่จะมีขนาดความยาวของขั้วยาวด้วย สามารถนำมาเขียนเป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้ (ภาพที่ 6)

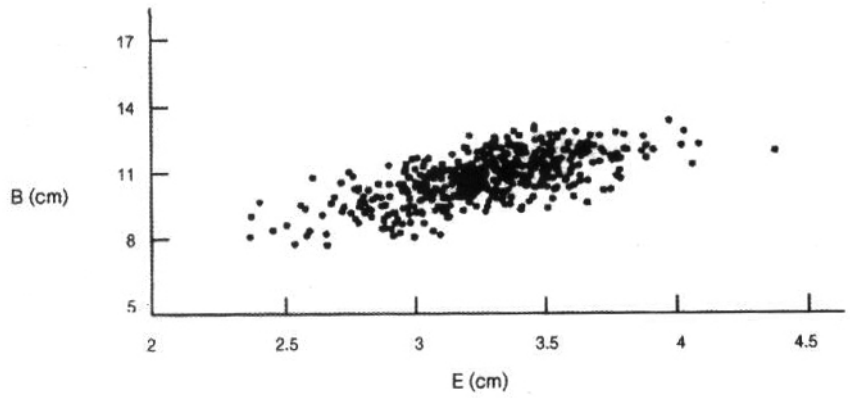
$$A = 0.5696C - 8.3590$$



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวขั้ว (A) กับความยาวฝักข้าวโพด (C) ของข้าวโพดฝักอ่อน 500 ฝัก

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวฝักอ่อน B กับเส้นผ่านศูนย์กลางฝักก่อนปอก E มีค่า R^2 เท่ากับ 0.4411 ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวโพดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่มีแนวโน้มว่าความยาวของฝักข้าวโพดที่เป็นเนื้อจะยาวด้วย สามารถนำมาเขียนเป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้ (ภาพที่ 7)

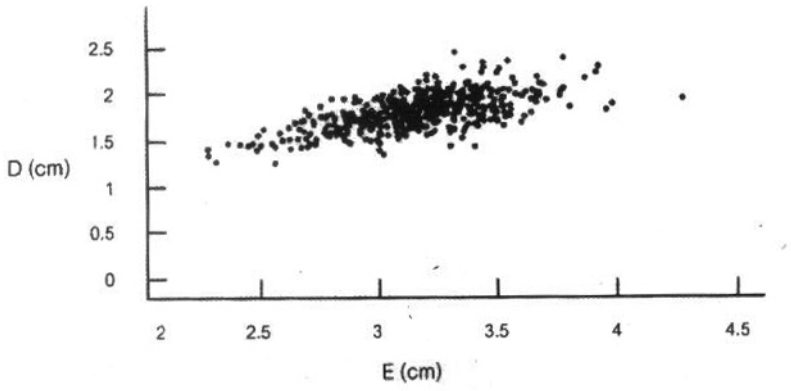
$$B = 2.5310E + 2.8960$$



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวฝักอ่อน (B) กับเส้นผ่านศูนย์กลางฝักก่อนปอก (E) ของข้าวโพดฝักอ่อน 500 ฝัก

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางฝักอ่อน D กับเส้นผ่านศูนย์กลางฝักก่อนปอก E มีค่า R^2 เท่ากับ 0.3932 ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวโพดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งเปลือกใหญ่มีแนวโน้มที่เส้นผ่านศูนย์กลางของฝักที่เป็นเนื้อใหญ่ด้วย สามารถนำมาเขียนเป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้ (ภาพที่ 8)

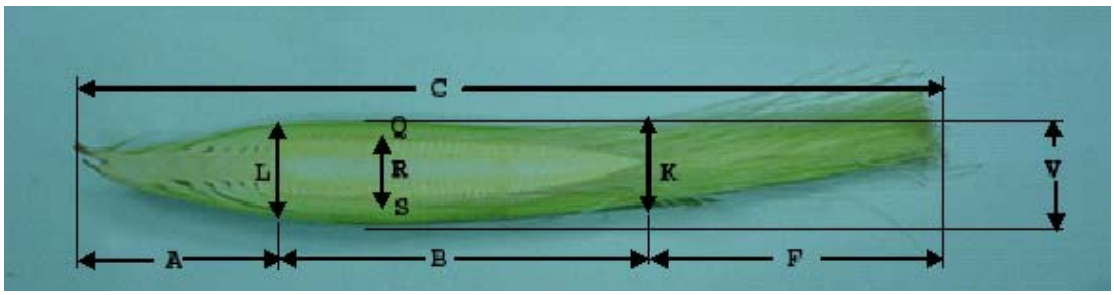
$$D = 0.3994E + 0.4542$$



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ D-E ของข้าวโพดฝักอ่อน 500 ฝัก

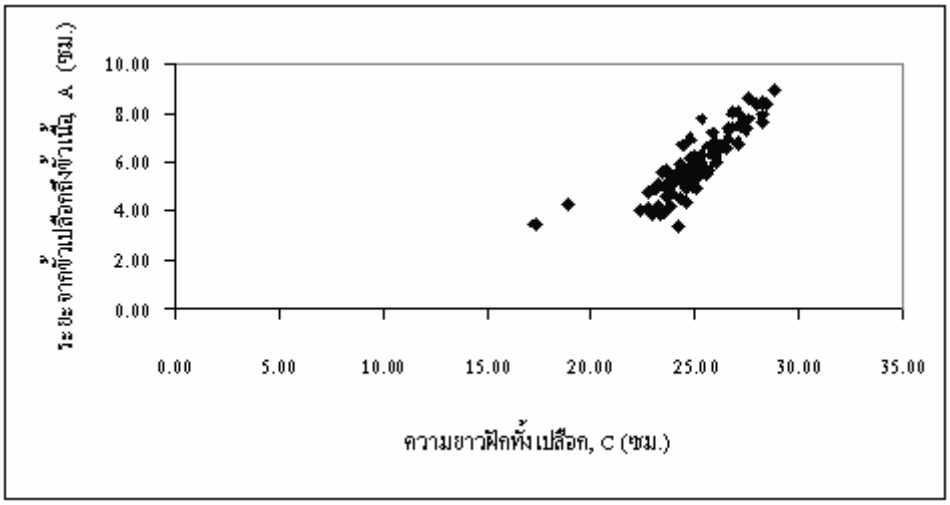
จากความสัมพันธ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ออกแบบชุดกรีดฝักข้าวโพด เพื่อแก้ปัญหาที่ชุดกรีดฝักกรีดฝักได้ไม่ตลอดแนวและทำลายเนื้อฝักภายใน เนื่องจากขนาดภายนอก (E และ C) มีความสัมพันธ์กับขนาดภายใน (A, B และ D) ข้อมูลความสัมพันธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าควรทำการคัดขนาดก่อนหรือถ้าเป็นเครื่องแบบอัตโนมัติจะต้องมี Sensor เพื่อตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวฝักข้าวโพด (Sensor ต้องสามารถตรวจสอบได้ทั้ง E และ C)

ภัทร (2547) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดฝักอ่อน พันธุ์ซีบรา – 5414 จำนวน 100 ฝักโดยมีการวัดขนาดส่วนต่างๆของฝักข้าวโพดฝักอ่อนดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ขนาดต่าง ๆ ที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน

พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตั้งแต่ขั้วของฝักข้าวโพดที่เป็นเปลือกจนถึงขั้วของฝักข้าวโพดที่เป็นเนื้อ (A) กับความยาวข้าวโพดทั้งฝักรวมเปลือก (C) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.721 ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตั้งแต่ขั้วของฝักข้าวโพดที่เป็นเปลือกจนถึงขั้วของฝักข้าวโพดที่เป็นเนื้อ (A) กับความยาวข้าวโพดทั้งฝักรวมเปลือก (C)

สมการความสัมพันธ์ทั้งเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นที่ให้ความสัมพันธ์สูงมีดังนี้

A	=	$0.587C - 8.775$	,	$R^2 = 0.721$
A	=	$0.0031C^{2.337}$	,	$R^2 = 0.686$
A	=	$0.051C^2 - 1.873C + 20.975$	,	$R^2 = 0.799$

ความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดที่มีความยาวฝักยาวมีแนวโน้มที่จะมีขนาดความยาวของขั้วยาวด้วย และยังได้มีการศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางฝักกับความหนาของเปลือกพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของข้าวโพดนั้นมีความสัมพันธ์กับความหนาของเปลือกข้าวโพด โดยข้าวโพดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่นั้น มีแนวโน้มที่จะมีความหนาของเปลือกสูง และยังพบอีกว่าเปลือกจะมีความหนามากในช่วงปลายฝัก และจะมีแนวโน้มบางลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางฝักทั้งเปลือกโตขึ้นไปจนถึงตำแหน่งที่เส้นผ่านศูนย์กลางฝักที่ใหญ่ที่สุด หลังจากนั้นความหนาเปลือกมีแนวโน้มลดลงต่อไปอีก ขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเช่นเดียวกันตามความยาวฝักไปยังด้านขั้วของเนื้อ

สุรพงษ์ (2548) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะภายในกับระยะภายนอกของข้าวโพดฝักอ่อนโดยนำข้อมูลการวัดค่าต่างๆ จากข้าวโพดฝักอ่อนของชมพูนุช และรัฐพล (2542) มาวิเคราะห์ใหม่ โดยได้มีการปรับและจัดกลุ่มข้อมูลเพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง หรือความสัมพันธ์ของข้อมูลให้มากขึ้น จากผลการวิจัย พบว่า การใช้เครือข่ายประสาทเทียมสามารถให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในชุดทดสอบของขนาดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อข้าวโพด 100 เปอร์เซ็นต์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของฝักที่เป็นเนื้อ 85 เปอร์เซ็นต์ โดยทำนายจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากระยะต่างๆ

3. การทำงานของเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบต่าง ๆ

3.1 เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบหักขั้วฝัก

เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบหักขั้วฝัก (Kunjara *et al.*, 1995) ประกอบด้วยระบบหลัก 3 ระบบคือ

1. กลไกการกรีดเปลือก
2. กลไกการกำหนดทิศทางเพื่อจัดตำแหน่งข้าวโพดก่อนปอกเปลือก
3. กลไกการปอกเปลือก

การทำงานเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบหักขั้วฝักมีดังภาพที่ 11 โดยเริ่มจาก

- ฝักข้าวโพดในช่อง (1) จะถูกจับด้วยตัวจับ (2)

- หลังจากนั้นมีดกรีดแบบหมุน (3) จะทำการตัดปลายฝักด้านที่เป็นไหม และมีดกรีดตามแนวนอน (4) จะกรีดเปลือกข้าวโพดด้านบนตามยาวจนสุดฝักตามลำดับ

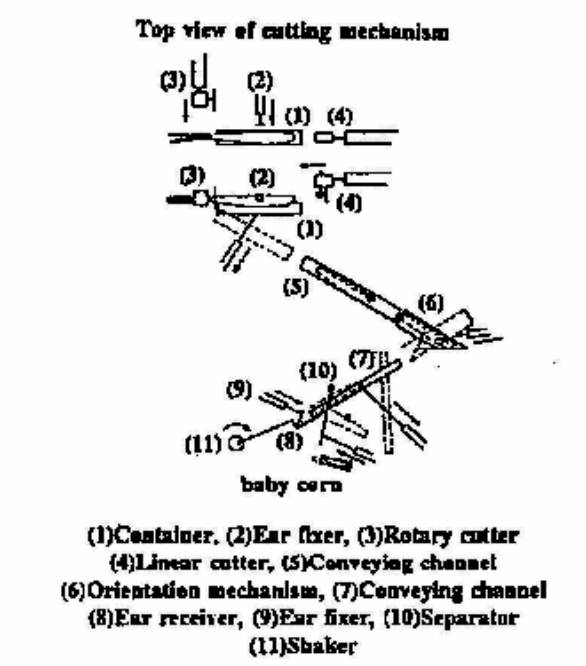
- ตัวจับ (2) จะกลับสู่ตำแหน่งเดิมเพื่อปล่อยข้าวโพดให้ไหลลงสู่ช่องรับ (5) เพื่อเข้าสู่กลไกการจัดตำแหน่ง (6)

- หลังจากนั้นกลไกการจัดตำแหน่งจะหมุนตามเข็มนาฬิกาเพื่อปรับตำแหน่งของฝักข้าวโพดให้ส่วนที่ถูกกรีดอยู่ด้านล่าง หลังจากนั้นข้าวโพดจะไหลลงผ่านช่อง (7) ลงตัวรับ (8)

- ข้าวโพดจะถูกจับด้วยตัวจับ (9)

- ช่อง (7) หมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อที่จะเข้าสู่กลไกแยกเปลือก (10)

- กลไกแยกเปลือก (10) จะหมุนตามเข็มนาฬิกาทำให้เกิดแรงโก่งที่ขั้วของฝักข้าวโพดทำให้ฝักอ่อนหักออกจากขั้วของเปลือก หลังจากนั้น กลไกการแยกฝักอ่อนจากเปลือก (11) ซึ่งเป็นกลไกแบบเคลื่อนที่แบบเขย่าจะปล่อยฝักอ่อนลงสู่ภาชนะรองรับ



ภาพที่ 11 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบหักขั้ว

3.2 เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบกระทุ้ง

เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบกระทุ้งของ ธีรวุฒิ และคณะ (2542) ดังแสดงในภาพที่ 12 เป็นเครื่องปอกเปลือกแบบกระทุ้งให้เนื้อแยกออกจากเปลือกโดยใช้กระบอกลมนิวแมติก มีโครงสร้างดังนี้

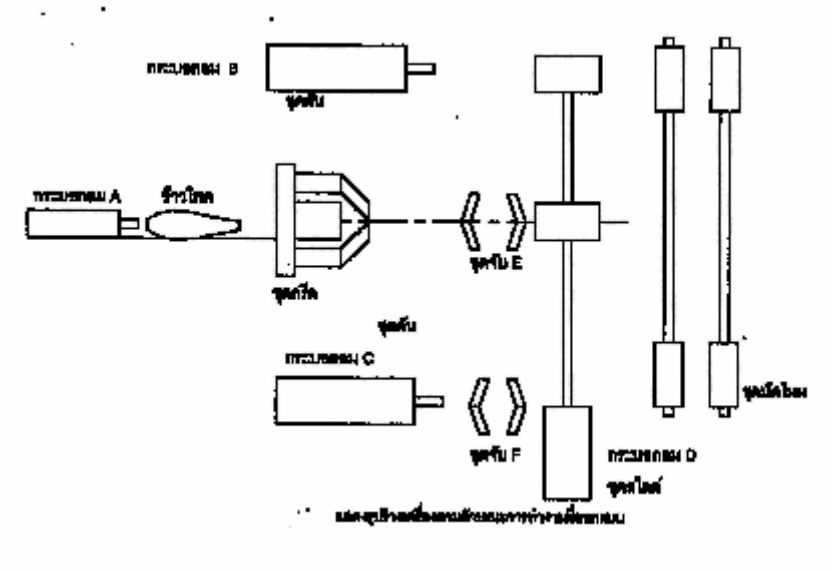
1. ชุดตัดหัวท้าย
   - ประกอบด้วยสายพานลำเลียง
   - ใบมีดที่เป็นลักษณะจานกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร 2 อัน โดยห่างกัน 110 มิลลิเมตร

2. ชุดดันกรีด
   - ใบมีด 4 ใบ
   - สปริงที่คล้องใบมีด 4 อัน
   - ก้านสูบดันกรีด

3. ชุดจับข้าวโพด ลักษณะเหมือนปากคีบโดยใช้พลาสติกติดอยู่เป็นตัวจับข้าวโพด

4. ชุดดันปอก
   - ใช้กระบอกสูบ 2 อัน
   - ตัวสไลด์

5. ชุดปัดไหม
   - แปรงกาบมะพร้าวลักษณะคล้ายแปรงล้างขวดนม ยาว 150 มิลลิเมตร
   - ชุดละ 2 อัน มี 2 ชุด



ภาพที่ 12 โครงสร้างเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบกระทุ้ง

ก่อนนำข้าวโพดมาปอกเปลือกจะต้องตัดปลายฝักที่เป็นขั้วและไหมออกก่อนจึงนำมาป้อน โดยเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบกระทุ้ง มีวิธีการทำงานดังนี้

- สายพานลำเลียงข้าวโพดจากกล่องบรรจุเข้าหาชุดตัดหัวและท้าย
- มีกระบอกลมดันฝักข้าวโพดผ่านชุดกรีดและกรีดตามยาวทั้งฝัก 4 แนว
- ฝักข้าวโพดจะถูกชุดจับฝักข้าวโพดแล้วสไลด์ไปสู่ชุดดันปอก
- มีแกนของกระบอกสูบดันเนื้อฝักอ่อนหลุดออกจากเปลือก
- เนื้อฝักอ่อนที่หลุดออกจากเปลือกแล้วถูกดันต่อไปผ่านชุดปัดไหมซึ่งจะปัดไหมที่ติดมากับเนื้อฝักอ่อนให้หลุดไป
- ได้ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปอกเปลือกเรียบร้อยแล้ว
- มีความเร็วในการปอก 1.44 วินาทีต่อฝัก และฝักที่สามารถปอกเปลือกออกมาได้คิดเป็น 68%

3.3 เครื่องปอกเปลือกแบบใช้มือหมุนขับชุดสายพานพาข้าวโพดสู่ชุดกรีดฝัก

เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้มือหมุนขับชุดสายพานพาข้าวโพดสู่ชุดกรีดฝักของ ประยุทธ์ และ อเนก (2537) ดังแสดงในภาพที่ 13 มีโครงสร้างดังนี้

1. ชุดสายพานลำเลียงฝักข้าวโพด

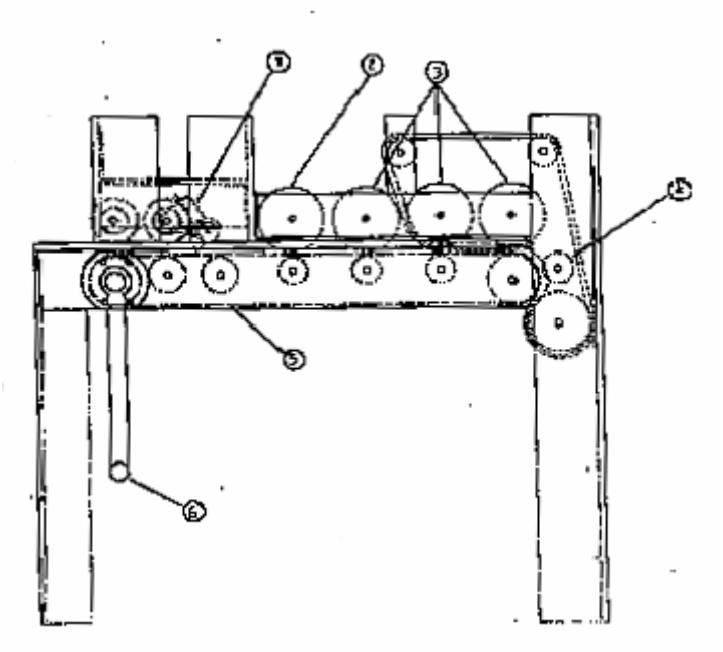
2. อุปกรณ์มีดกรีดเปลือก โดยมีดที่กรีดจะติดอยู่กับแผ่นเหล็กเหนือลูกกลิ้งตัวที่ 2 โดยใช้สปริง

3. ชุดลูกกลิ้งสำหรับแยกเปลือกออกตามรอยกรีด

4. ชุดลูกกลิ้งสำหรับบังคับและหักฝักอ่อนจากเปลือก

5. ชุดขับเคลื่อนกลไกแบบมือหมุน

เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้มือหมุนขับชุดสายพานพาข้าวโพดสู่ชุดกรีดฝักมีหลักการทำงานโดยเริ่มจากการนำข้าวโพดที่ผ่านการคัดขนาดมาแล้วให้มีขนาดใกล้เคียงกัน และจะมีค่าแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดของฝักต่างกันไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และขนาดของฝักต้องไม่ใหญ่เกินกว่า 30 มิลลิเมตร ทำการป้อนฝักเข้าสู่ช่องรับข้าวโพด บังคับให้ฝักถูกป้อนเข้าแนวตรงมากที่สุด ทำการหมุนมือหมุนให้สายพานพาฝักข้าวโพด เข้าสู่ชุดกรีด เมื่อข้าวโพดผ่านออกจากชุดกรีด ชุดลูกกลิ้งที่อยู่ถัดมาจะบีบแยกรอยกรีดให้ส่วนเปลือกเปิดออก จนเห็นเนื้อฝักอ่อนที่อยู่ภายใน จากนั้นลูกกลิ้งชุดถัดมาจะบีบบังคับเปลือกที่แยกออกมานี้ให้แนบติดกับสายพาน ในช่วงนี้ตัวเนื้อฝักอ่อนจะโผล่แยกออกจากเปลือกอย่างชัดเจน ส่วนของไหมกว่า 80% จะถูกแยกออกจากเนื้อตอนที่ผ่านลูกกลิ้งชุดแรก เมื่อฝักข้าวโพดเคลื่อนที่มาถึงส่วนปลายของเครื่องซึ่งเป็นช่วงที่สายพานจะเคลื่อนที่วกกลับลงด้านล่างส่วนเปลือกจะยังคงถูกบังคับให้แนบติดอยู่กับสายพานและเคลื่อนที่ตามสายพานลงไปด้านล่างในขณะที่ตัวเนื้อฝักอ่อนยังคงติดอยู่กับเปลือกบริเวณโคนฝักเท่านั้นส่วนปลายของเนื้อฝักอ่อนจะแทงขึ้นจากเปลือกเองและลอดผ่านลูกกลิ้งสำหรับหักฝักออกจากเปลือก จากนั้นตัวเนื้อฝักอ่อนจะหักออกจากเปลือกและหล่นลงสู่ภาชนะรองรับส่วนเปลือกจะถูกปล่อยทิ้งออกทางด้านล่างของสายพาน



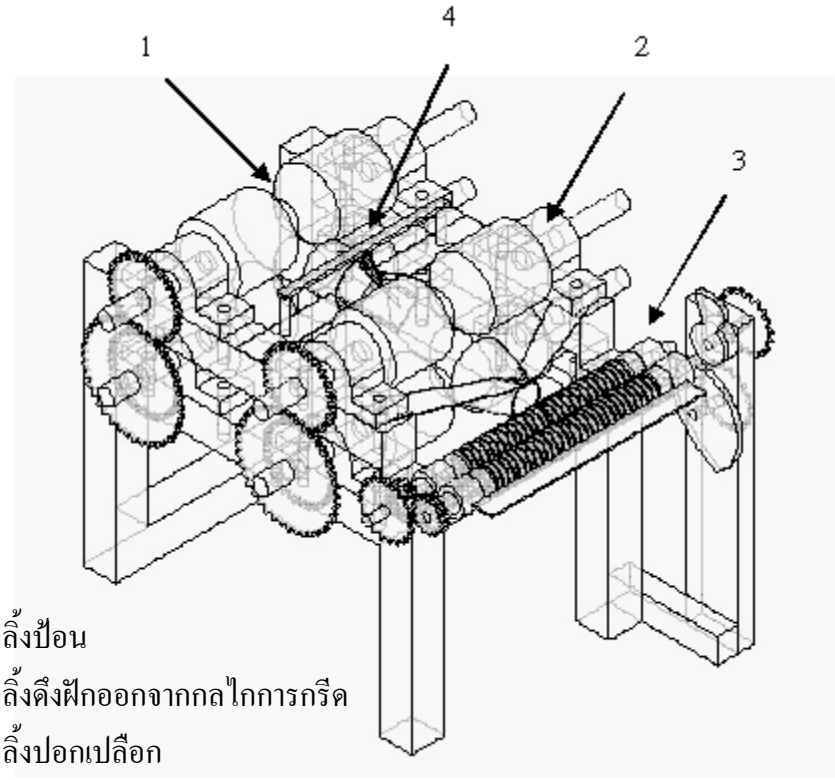
ส่วนประกอบของเครื่อง

1. ชุดกรีดฝัก
2. ชุดลูกกลิ้งบีบแยกเปลือก
3. ชุดลูกกลิ้งกดเปลือกให้แนบกับสายพาน
4. ชุดลูกกลิ้งหักฝักออกจากเปลือก
5. ชุดสายพานลำเลียงฝักข้าวโพด
6. มือหมุน

ภาพที่ 13 เครื่องปอกเปลือกแบบใช้มือหมุนขับชุดสายพานพาข้าวโพดสู่ชุดกรีดฝัก

3.4 การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง

เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง (ภัทร, 2547) มีโครงสร้างดังนี้



1. ลูกกลิ้งป้อน
2. ลูกกลิ้งดึงฝักออกจากกลไกการกรีด
3. ลูกกลิ้งปอกเปลือก
4. กลไกการกรีด

ภาพที่ 14 ภาพวาดไอโซเมตริกแสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องปอกเปลือกที่ประกอบด้วย ลูกกลิ้งป้อน ลูกกลิ้งดึงฝักออกจากกลไกการกรีด ลูกกลิ้งปอกเปลือก และกลไกการกรีด

วิธีการทำงานของเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง มีดังนี้คือ

- ป้อนข้าวโพดโดยหันปลายที่มีไหมเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งป้อน
- ฝักข้าวโพดจะถูกลูกกลิ้งป้อนดันผ่านกลไกการกรีด
- ข้าวโพดจะถูกป้อนเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งปอกเปลือกโดยลูกกลิ้งลำเลียง
- ฝักข้าวโพดเคลื่อนที่มากดสวิทช์ทำให้ลูกเบี้ยวชุดลูกกลิ้งปอกเปลือกทำงาน
- ลูกกลิ้งปอกเปลือกจะดึงเปลือกข้าวโพดลงด้านล่างขณะเดียวกันก็เปิดทางให้ฝักอ่อนเคลื่อนที่ผ่านออกไปได้
- ได้ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปอกเปลือกเรียบร้อยแล้ว
- ลูกเบี้ยวจะทำให้ชุดลูกกลิ้งยกขึ้นมาเพื่อรับไหมและเปลือกจากฝักต่อไป

ปัญหาที่พบคือ กลไกลูกกลิ้งปอกเปลือกทำงานช้า ทำให้การปอกเปลือกแต่ละฝักใช้เวลานาน โดยใช้เวลาประมาณ 30 วินาทีต่อฝัก และข้าวโพดฝักอ่อนที่ได้จะมีขั้วติดมาด้วยเป็นส่วนใหญ่

อุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้งานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวโพดฝักอ่อน

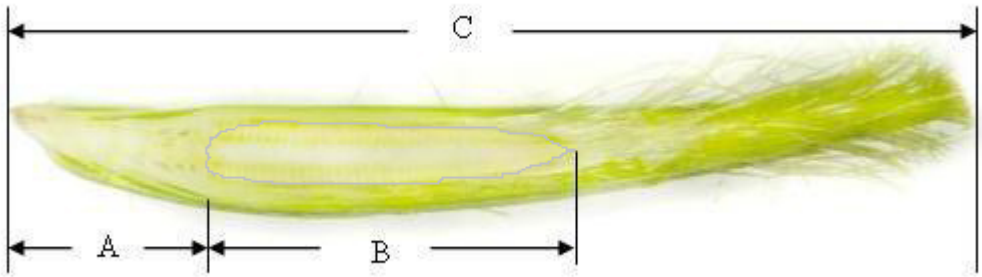
การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวโพดฝักอ่อน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้สมการที่สามารถทำนายความยาวก้านฝักข้าวโพดจากค่าพารามิเตอร์ระยะต่าง ๆ ภายนอกของฝักเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบกลไก โดยมุ่งเน้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของข้าวโพดทั้งฝัก หรือพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับรูปด้านข้าง (Profile) ของเปลือกด้านนอกที่เป็นค่าที่วัดได้โดยไม่ทำลายฝัก กับความยาวก้านฝักข้าวโพดภายใน โดยนำข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ SG17SUPER จำนวน 100 ฝัก มาผ่ากลางตามแนวยาวตลอดทั้งฝักแล้วถ่ายภาพข้าวโพดทั้งก่อนและหลังผ่า โดยมีระยะอ้างอิง และนำภาพถ่ายมาวัดค่าต่างๆ ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ความสำพันธ์ดังนี้

1.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของข้าวโพดทั้งฝักกับความยาวก้านฝักของข้าวโพดโดยทำการวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้ (ดูภาพที่ 15)

A เป็นขนาดความยาวของก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน ที่วัดจากขั้วของเปลือกจนถึงขั้วของเนื้อฝักอ่อน

B เป็นขนาดความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อฝักอ่อน วัดจากขั้วของเนื้อฝักอ่อนจนกระทั่งถึงปลายของเนื้อฝักอ่อน

C เป็นขนาดความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน ที่วัดจากขั้วของเปลือกจนถึงปลาย



ภาพที่ 15 ขนาดต่าง ๆ ที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน

ทำการหาความสัมพันธ์ของระยะต่าง ๆ ที่เก็บข้อมูลมา โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Regression analysis เพื่อหาสมการที่เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยมุ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของข้าวโพดทั้งฝักกับความยาวก้านฝักของข้าวโพด

1.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของรูปด้านข้าง กับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน

โดยบันทึกและพลอตค่าการเปลี่ยนแปลงความโค้งรูปด้านข้างฝักภายนอกที่ระยะความยาวจากขั้วฝักต่าง ๆ กัน และคำนวณหาค่าความชันของความโค้งรูปด้านข้าง และค่าการเปลี่ยนแปลงความชันดังกล่าวที่ระยะความยาวจากขั้วต่าง ๆ กัน และวิเคราะห์หาค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าวที่สามารถทำนายตำแหน่งระยะความยาวก้านฝักได้ถูกต้อง โดยมีวิธีการดังนี้

1.2.1 บันทึกค่า x และ y ที่ได้จากตำแหน่งต่าง ๆ จากเปลือกด้านนอกของข้าวโพดฝักอ่อน ในโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 และบันทึกค่า (ดูภาพที่ 16)

ภาพที่ 16 การกำหนดจุด x และ y ที่เปลือกด้านนอกของข้าวโพดฝักอ่อน

1.2.2 นำค่า x และ y มาพลอตภาพด้านข้างโดยค่า x เป็นแกน x และค่า y เป็นแกน y ซึ่งจะได้แนวโน้มภาพด้านข้างของฝักภายนอก ต่อจากนั้นหาความชันของความโค้งภาพด้านข้างนี้ โดยวิธีข้ามจุดทีละหนึ่งจุด จนครบตลอดทั้งช่วงความยาวของฝักในที่นี้จะเรียกว่าค่าความชันอันดับหนึ่ง (First derivative) แล้วนำค่าความชันที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างค่าความชันอันดับหนึ่ง (dy) กับ ระยะความยาวจากขั้วฝัก (x)

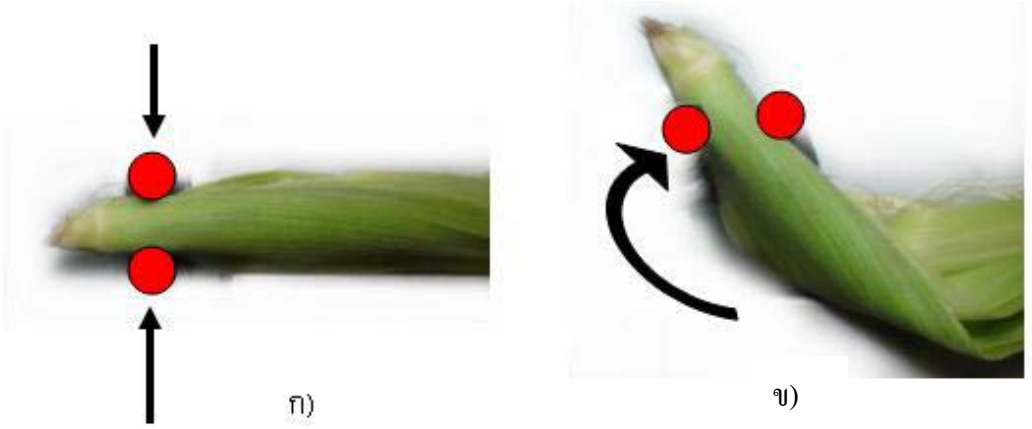
1.2.3 หาความชันของกราฟระหว่างค่าความชันอันดับหนึ่งกับระยะความยาวจากขั้วฝักโดยวิธีข้ามจุดทีละหนึ่งจุดของกราฟที่ได้อีกครั้ง จนครบทุกจุดบนกราฟในที่นี้จะเรียกว่าค่าความชันอันดับสอง (Second derivative) แล้วนำค่าความชันที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างค่าความชัน (d^2y) กับ ระยะความยาวจากขั้วฝัก (x)

1.2.4 ศึกษากราฟที่ได้ เพื่อหาค่าความชันอันดับหนึ่ง (ข้อ 1.2.2) หรือค่าความชันอันดับสอง (ข้อ 1.2.3) ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของขั้วฝัก

2. การออกแบบ สร้าง และทดสอบกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

2.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

การสร้างเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่สามารถทำการหักขั้วฝักได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 สำหรับในส่วนของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อนจะออกแบบให้มีลักษณะที่เป็นก้านเพลา 2 ก้านวางตัวตั้งฉากกับความยาวฝัก หนีบฝักบริเวณขั้วฝัก และหมุนเพื่อดัดขั้วภายในให้หักออกจากเนื้อฝัก (ภาพที่17) อย่างไรก็ตามเพื่อให้การหักขั้วมีประสิทธิภาพจึงต้องควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการหักขั้วด้วยวิธีนี้ ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหักขั้ว คือการกรีดฝัก และลักษณะการวางฝัก โดยนำข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ SG17SUPER จำนวน 200 ฝัก แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 50 ฝัก เท่า ๆ กัน มาทดลองด้วยวิธีการต่อไปนี้



ภาพที่ 17 แสดงลักษณะการทำงานของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

สร้างชุดทดสอบเบื้องต้นการหักขั้วฝักโดยให้กลไกมีลักษณะหนีบขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนและหมุนเพื่อหักขั้วฝัก ทำการทดสอบกับข้าวโพดฝักอ่อนดังนี้

กลุ่มที่ 1 นำข้าวโพดไปกรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝักโดยหงายฝักแล้วจึงนำไปหักขั้วฝัก

กลุ่มที่ 2 นำข้าวโพดไปกรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝักโดยคว่ำฝักแล้วจึงนำไปหักขั้วฝัก

กลุ่มที่ 3 นำข้าวโพดมาหักขั้วฝักโดยหงายฝัก (ไม่ต้องกรีดฝักก่อน)

กลุ่มที่ 4 นำข้าวโพดมาหักขั้วฝักโดยคว่ำฝัก (ไม่ต้องกรีดฝักก่อน)

คำนวณเปอร์เซ็นต์การหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่ตรงกับตำแหน่งขั้วภายในของแต่ละวิธีการ เพื่อนำวิธีการเตรียมและป้อนวางฝักที่ให้เปอร์เซ็นต์การหักสูงที่สุดไปใช้กับกลไกต่อไป

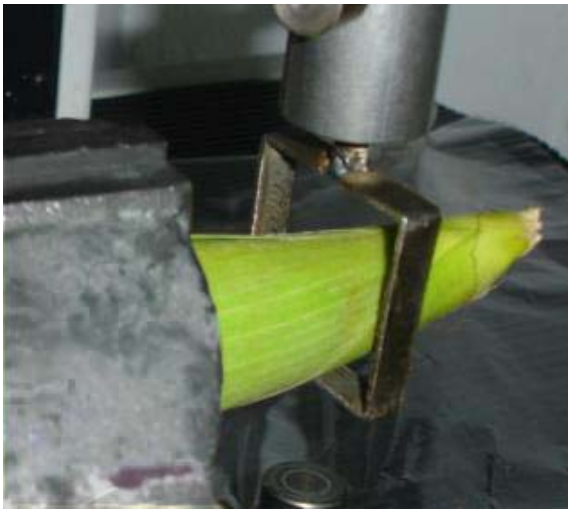
2.2 การออกแบบกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่ได้จากการทดลองข้อ 1 มาทำนายตำแหน่งของขั้วฝัก เพื่อกำหนดตำแหน่งการหักขั้วฝักได้โดยประมาณ และออกแบบกลไกการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนเบื้องต้น

การออกแบบกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน ทำได้โดยการสร้างชุดทดลองการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อนขึ้น โดยจำลองมาจากการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อนของเกษตรกรที่ทำการหักจริงแล้วถ่ายภาพทุกขั้นตอนของการหักขั้ว จากนั้นนำภาพถ่ายมาวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกในการหักขั้ว จากนั้นนำมาออกแบบโดยอาศัยหลักการออกแบบกลไก Four-bar linkage โดยใช้วิธีกราฟ (Wilson and Sadler, 1993)

2.3 การทดสอบการทำงานของกลไกหักขั้ว

นำข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ SG17SUPER จำนวน 330 ฝัก มาทดสอบการทำงานของกลไกหักขั้วโดยใช้เงื่อนไขที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2.1 มาใช้ในการป้อนวางฝักและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการหักขั้วนอกจากนั้นยังศึกษาปัจจัยเพิ่มเติมคือความชื้นของฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่มีผลต่อการหักขั้วด้วยเครื่อง โดยแบ่งทำการทดลอง 3 วัน (เพื่อให้ตัวอย่างข้าวโพดฝักอ่อนที่นำมาทดสอบมีความชื้นแตกต่างกัน 3 ระดับ) ในแต่ละวันจะใช้ข้าวโพดจำนวน 110 ฝัก โดยข้าวโพดที่เหลือจะทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ข้าวโพดที่นำมาทดลองในแต่ละวันจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 จำนวน 100 ฝัก นำไปทดสอบการหักขั้วด้วยกลไกแล้วนับจำนวนข้าวโพดที่ถูกหักขั้วฝัก จากนั้นนำข้าวโพดไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ส่วนกลุ่มที่ 2 จำนวน 10 ฝัก นำไปทดลองหาค่าแรงที่ใช้ในการหักขั้วฝักด้วยเครื่องวัดแรงกดโดยใช้หัวกดที่มีลักษณะเป็นห่วง นำฝักข้าวโพดที่กรีดฝักแล้วมาวางหงายฝักโดยที่ขั้วฝักอ่อนอยู่ตรงกับหัวกด และตัวฝักถูกหนีบไว้ด้วยแท่นหนีบ จากนั้นให้เครื่องทดสอบโดยออกแรงดึงขึ้นเพื่อตรวจสอบหาค่าแรงที่ใช้ในการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การทดสอบแรงที่ใช้หักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

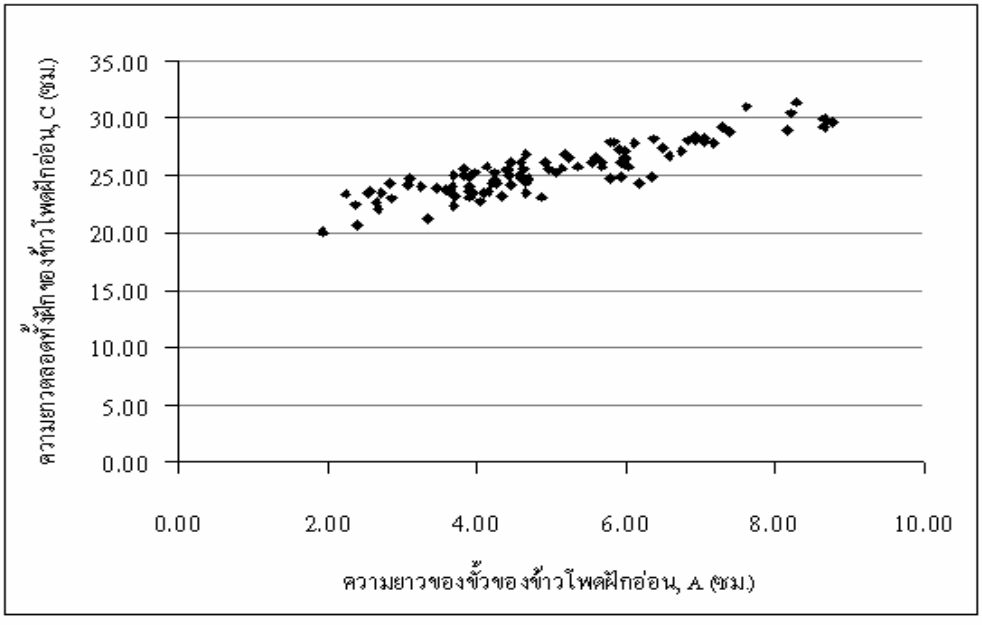
ในการนับจำนวนข้าวโพดฝักอ่อนที่ขั้วถูกหักจะแบ่งตามระดับการหักคือ 1) ขั้วไม่หัก 0 เปอร์เซ็นต์ 2) ขั้วหัก 1 - 33 เปอร์เซ็นต์ 3) ขั้วหัก 34 - 66 เปอร์เซ็นต์ 4) ขั้วหัก 67 - 99 เปอร์เซ็นต์ 5) ขั้วหักขาดทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ และ6) ฝักเสียหาย นำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การหักขั้ว และหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวโพดกับจำนวนข้าวโพดที่ขั้วถูกหัก

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฝักข้าวโพดฝักอ่อน

1.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของข้าวโพดทั้งฝักกับความยาวก้านฝักของข้าวโพด

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้ Linear Regression หาความสัมพันธ์เพื่อพยากรณ์ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจ ซึ่งรายละเอียดของขนาดที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ ก1 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์แต่ละค่าในแบบเชิงเส้น พบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีที่สุดคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (A) โดยมีค่า $R^2 = 0.7919$ ดังแสดงในภาพที่ 19 โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานของ ภัทร (2547)



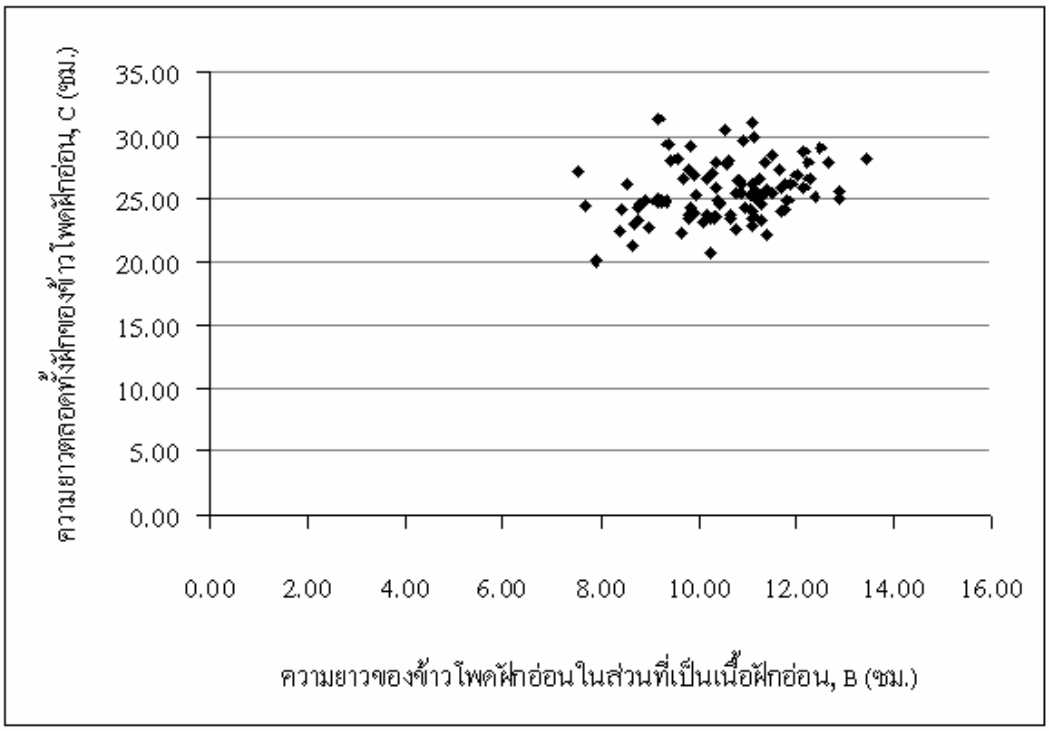
ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (A)

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (A) คือ

$$C = 1.2356A + 19.3440 \quad , \quad R^2 = 0.7919 \qquad (1)$$

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อฝักอ่อน (B) แสดงดังภาพที่ 20 โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นเป็นดังสมการ

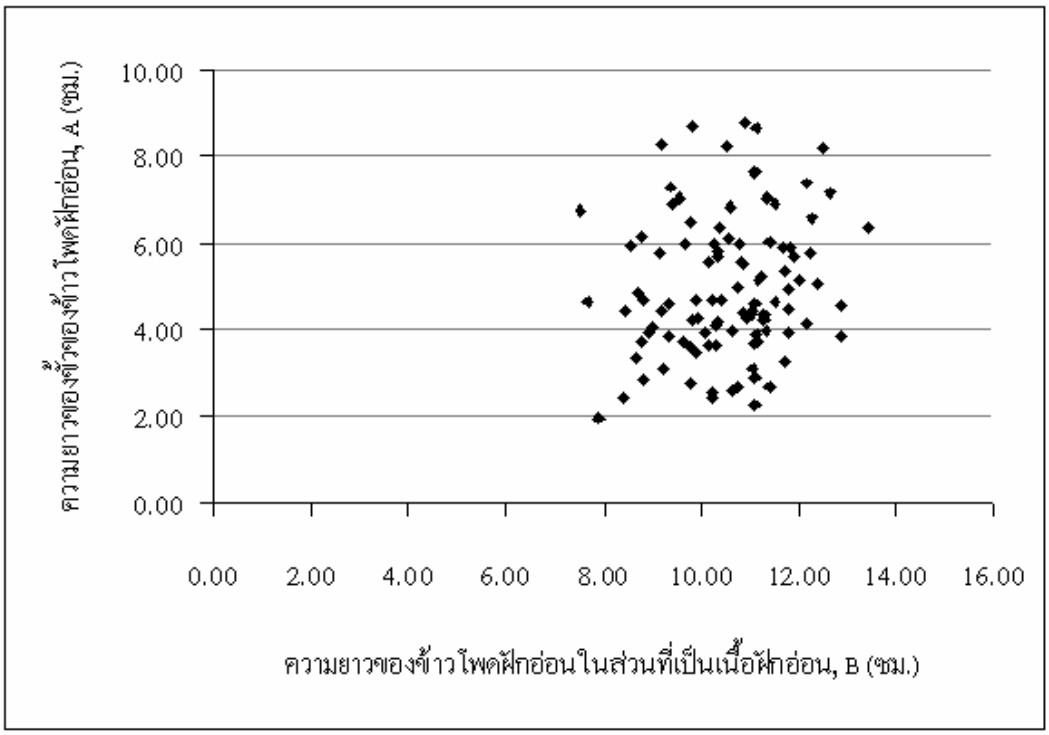
$$C = 0.5072B + 20.1290 \quad , \quad R^2 = 0.0784 \qquad (2)$$



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อฝักอ่อน (B)

จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (A) กับความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อฝักอ่อน (B) เป็นไปดังภาพที่ 21 และสมการ

$$A = 0.1773B + 3.0023 \quad , \quad R^2 = 0.0186 \qquad (3)$$



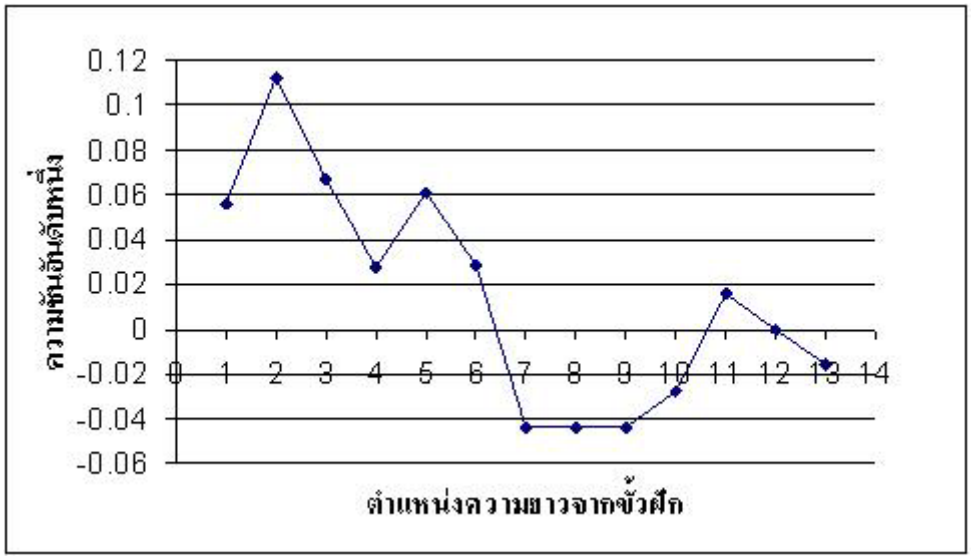
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (A) กับความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนที่เป็นเนื้อฝักอ่อน (B)

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีที่สุดคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (C) กับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (A) ความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดฝักอ่อนที่มีความยาวฝักยาวมีแนวโน้มที่จะมีขนาดความยาวก้านฝักยาวด้วย และสามารถนำสมการความสัมพันธ์มาเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบในการทดลองขั้นต่อไป โดยควรจะคัดขนาดฝักข้าวโพดตามขนาดความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อนก่อนนำมาหักขั้วเพื่อควบคุมให้ฝักข้าวโพดที่นำมาหักขั้วนั้น มีความยาวของก้านฝักโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุก ๆ ฝัก

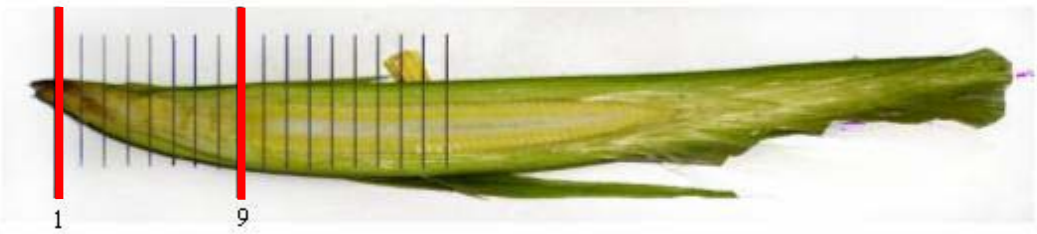
1.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของรูปด้านข้างกับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน

จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของรูปด้านข้าง กับความยาวก้านฝักอ่อน (ตารางผนวกที่ ก2 และ ก3) พบว่าตำแหน่งระยะความยาวก้านฝักที่ได้จากกราฟค่าความชัน

ที่หนึ่ง (First derivative) คือจุดต่ำสุดของกราฟดังภาพที่ 22 ที่เป็นตัวอย่างหนึ่งของข้าวโพดที่วัด ซึ่งเห็นได้ว่าอยู่ที่ระยะ x = 7, 8 และ 9 โดยที่ตำแหน่งระยะจริงของขั้วฝักอ่อนอยู่ที่ตำแหน่งที่ 9 ดังภาพที่ 23

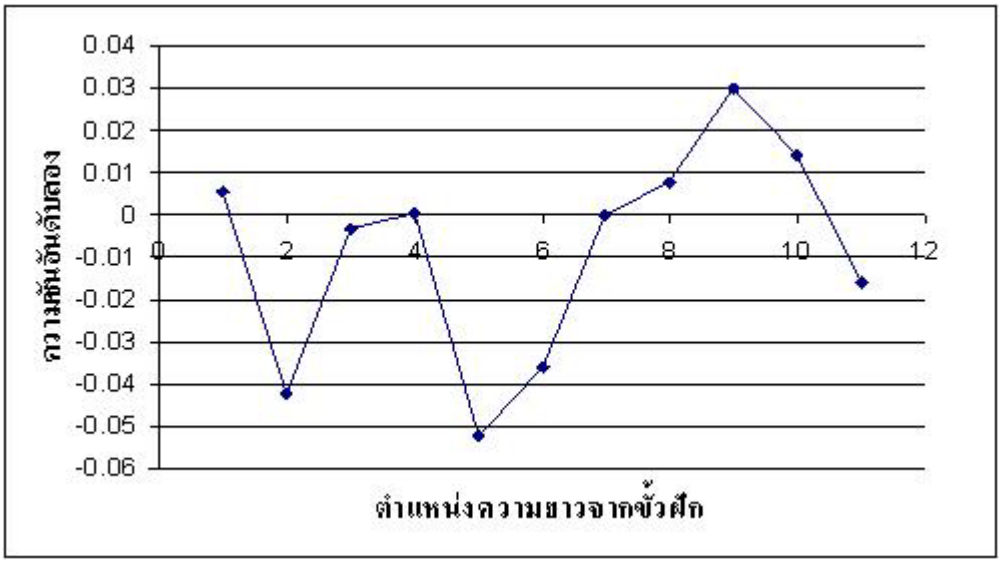


ภาพที่ 22 ค่าความชันอันดับหนึ่งของความโค้งรูปด้านข้างของตัวอย่างฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะความยาวจากขั้วฝัก



ภาพที่ 23 ข้าวโพดที่ทดสอบหาตำแหน่งขั้ว

ส่วนตำแหน่งระยะความยาวขั้วที่ได้จากกราฟค่าความชันอันดับสอง (Second derivative) คือจุดสูงสุดของกราฟดังภาพที่ 24 ซึ่งเห็นได้ว่ามีเพียงระยะเดียวคือระยะที่ 9 ซึ่งตรงกับตำแหน่งระยะจริง



ภาพที่ 24 ค่าความชันอันดับสองของความโค้งรูปด้านข้างของตัวอย่างฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะความยาวจากขั้วฝัก

ผลการทดลองทั้ง 100 ฝักมีแนวโน้มเดียวกันทั้งหมด ทำให้สรุปได้ว่า การใช้กราฟค่าความชันอันดับสองสามารถทำนายตำแหน่งขั้วได้ถูกต้องแม่นยำกว่าการใช้กราฟค่าความชันที่หนึ่ง โดยใช้บอกตำแหน่งขั้วได้ 80% อย่างไรก็ตามในการออกแบบกลไกการหักขั้วฝักนั้นการใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความยาวภายนอกกับความยาวก้านฝักนั้นเพียงพอต่อการออกแบบกลไกในแบบที่ไม่ซับซ้อนจึงไม่ได้ใช้ค่าความชันอันอับสองมาออกแบบซึ่งจะต้องการคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณหาความชันดังกล่าวซึ่งจะทำให้กลไกมีความซับซ้อน

2. การออกแบบ สร้าง และทดสอบกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

2.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

จากการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์ของการหักขั้วฝักที่ตรงกับตำแหน่งขั้วฝักในแต่ละวิธีเป็นดังนี้

กลุ่มที่ 1 ข้าวโพดที่กรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝักโดยหงายฝักแล้วจึงนำไปหักขั้วฝัก พบว่า สามารถหักขั้วตรงกับตำแหน่งขั้วฝักได้ 96 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 2 ข้าวโพดที่กรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝักโดยคว่ำฝักแล้วจึงนำไปหักขั้วฝัก พบว่า สามารถหักขั้วตรงกับตำแหน่งขั้วฝักได้ 78 เปอร์เซ็นต์

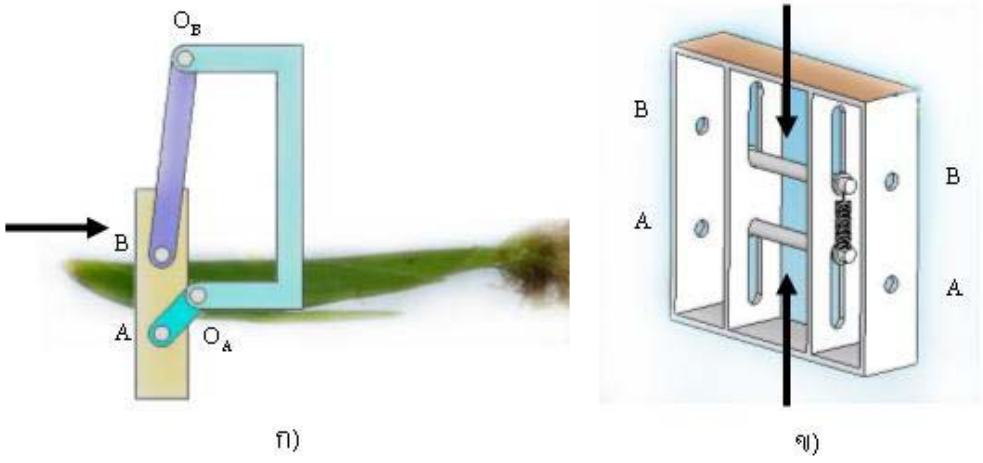
กลุ่มที่ 3 ข้าวโพดที่หักขั้วฝักโดยหงายฝัก (ไม่ต้องกรีดฝักก่อน) พบว่า ไม่สามารถหักขั้วได้ตรงกับตำแหน่งขั้วฝัก คิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 4 ข้าวโพดที่หักขั้วฝักโดยคว่ำฝัก (ไม่ต้องกรีดฝักก่อน) พบว่า ไม่สามารถหักขั้วได้ตรงกับตำแหน่งขั้วฝัก คิดเป็น 24 เปอร์เซ็นต์

โดยรายละเอียดแสดงในตารางผนวกที่ ก4 จากผลที่ได้สรุปได้ว่าการเตรียมป้อนวางฝักที่ให้ผลของการหักขั้วฝักที่ดีที่สุด คือ วิธีนำข้าวโพดไปกรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝักโดยหงายฝักแล้วจึงนำไปหักขั้วฝัก (กลุ่มที่ 1) ซึ่งคิดเป็น 96 เปอร์เซ็นต์

2.2 การออกแบบกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน

กลไกการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่ออกแบบเป็นลักษณะ four bar linkage ดังแสดงในภาพที่ 25 โดยประกอบด้วยลิงค์ O_AO_B เป็นโครงที่ยึดอยู่กับที่ ลิงค์ O_AA เป็น ลิงค์อินพุท หรือ driver ลิงค์ AB เป็น coupler และ ลิงค์ O_BB เป็น follower โดยในส่วนของลิงค์ AB จะประกอบด้วยก้านเพลากลม 2 ก้าน เคลื่อนที่ในสลอตโดยมีสปริงส่งแรงกด ซึ่งก้านเพลาทั้งสองนี้จะทำหน้าที่บีบขั้วฝักข้าวโพดให้แน่นในขณะที่ลิงค์ AB หมุนหักขั้วฝัก

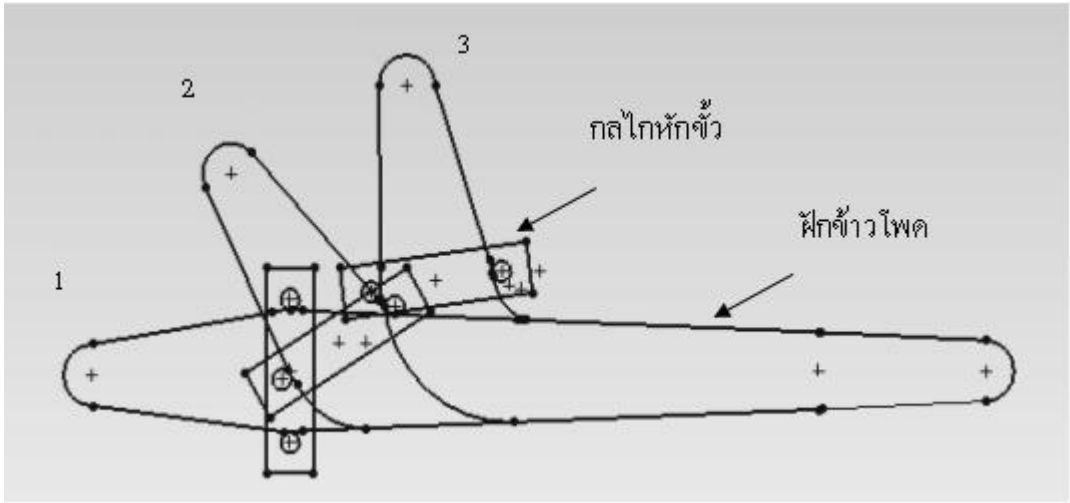


ก)　　ข)

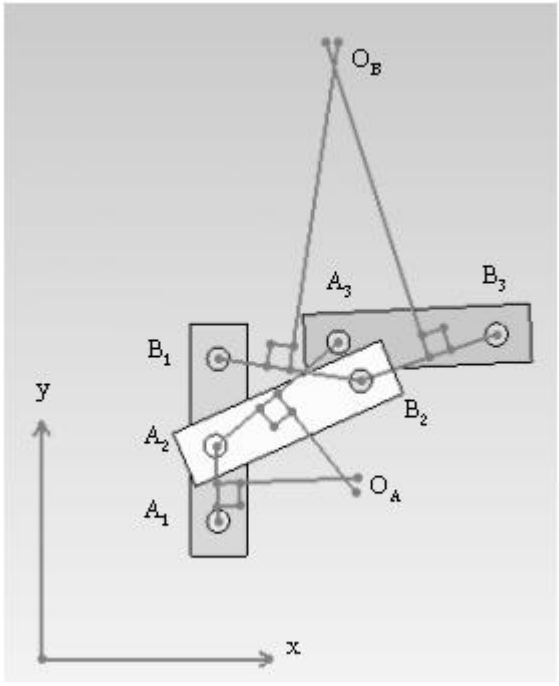
ภาพที่ 25 แสดงกลไกการหักขั้ว

ในการออกแบบกลไก four bar linkage นี้ เป้าหมายคือ การหาความยาวของลิงค์ทั้งสี่ ที่สามารถทำให้ลิงค์ AB หมุนไปตามตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นการออกแบบเริ่มจากการสร้างลิงค์ AB ที่มีลักษณะเป็นก้านเพลา 2 ก้านขนานกันแล้วนำไปหักขั้วฝักข้าวโพด โดยถ่ายบันทึกภาพในขณะหักขั้วฝักข้าวโพดไว้ จากนั้นนำภาพการหักมาซ้อนกันเพื่อกำหนดตำแหน่งลิงค์ AB ที่ตำแหน่งต่างๆ ในขณะหักขั้ว สามตำแหน่ง (ในที่นี้จะต้องทราบตำแหน่งลิงค์ AB 3 ตำแหน่ง จึงจะสามารถหาระยะอื่นๆของลิงค์ได้)

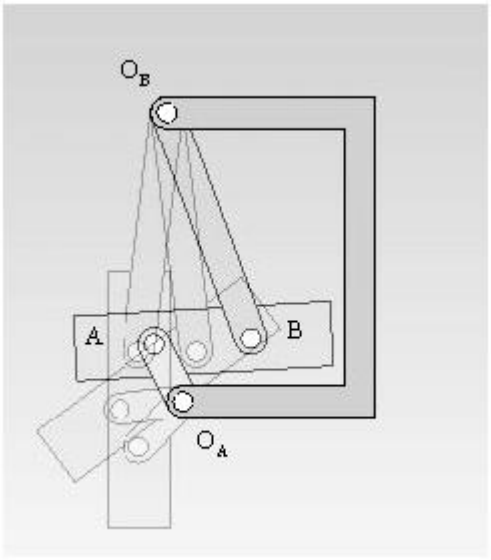
เมื่อกำหนดการเคลื่อนที่ 3 ตำแหน่ง เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ไปยังตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 26 ในการหาความยาวที่เป็นสัดส่วนกันของ input link และ output link หรือ Follower ของ Four-bar linkage ขั้นตอนการออกแบบโดยวิธีกราฟมีหลักการดังนี้ เนื่องจากเราทราบว่า input link และ output link เคลื่อนที่ด้วยการหมุนและจุดปลายของ link จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นรอบวงของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดหมุนของ link ดังนั้น ถ้าทราบจุด 3 จุด บนเส้นรอบวงของวงกลมเราจะสามารถหาจุดศูนย์กลางของวงกลมได้ โดยลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุด A_1A_2 และเส้น A_2A_3 (A_1, A_2 และ A_3 เป็นจุดปลายของ input link และเป็นจุดที่อยู่บนวงกลมรัศมีเท่ากับความยาวของ link) เมื่อลากเส้นแบ่งครึ่งและตั้งฉากเส้น A_1A_2 และของ A_2A_3 เส้นทั้งสองดังกล่าวจะตัดกันที่จุด O_A ดังแสดงในภาพที่ 27 กลไกที่เสร็จสมบูรณ์อยู่ในภาพที่ 28 และทำในทำนองเดียวกันกับการหาตำแหน่งของจุด O_B ซึ่งจะได้ความยาวของ input link คือ O_AA_1 และความยาวของ output link คือ O_BB_1 จุดหมุนของทั้งสอง link ที่ O_A และ O_B ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 26 แสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกในการหักขั้วฝัก

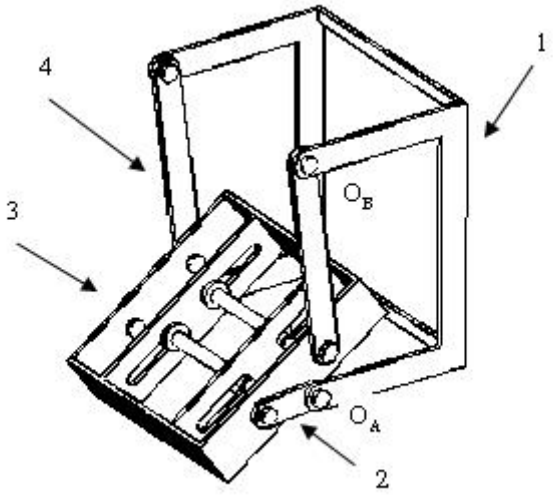


ภาพที่ 27 แสดงการออกแบบกลไกโดยวิธีกราฟ



ภาพที่ 28 แสดงกลไกที่เสร็จสมบูรณ์

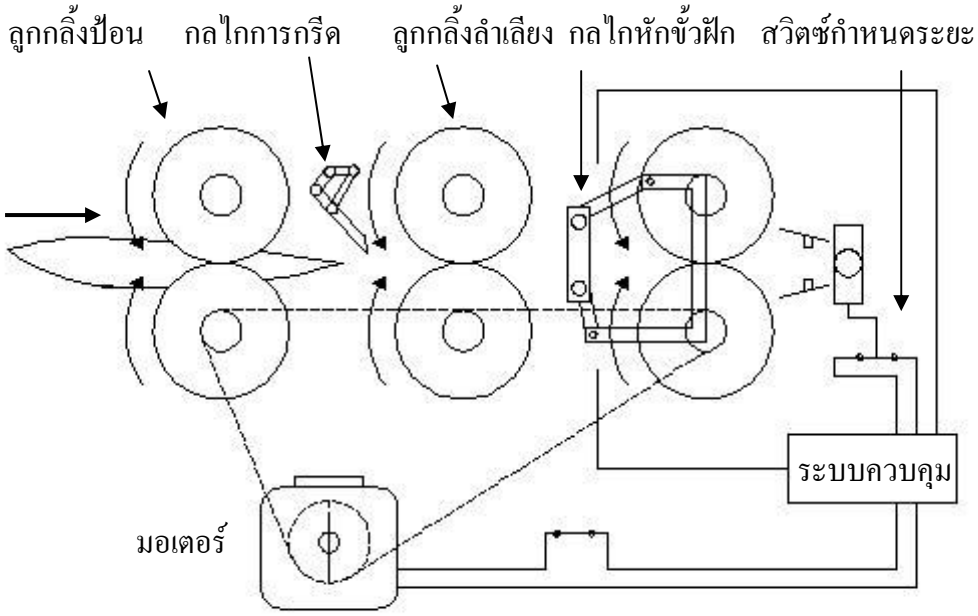
นำข้อมูลระยะต่างๆ มาออกแบบกลไกการหักฝักข้าวโพดฝักอ่อนในเบื้องต้นดังแสดงในภาพที่ 29



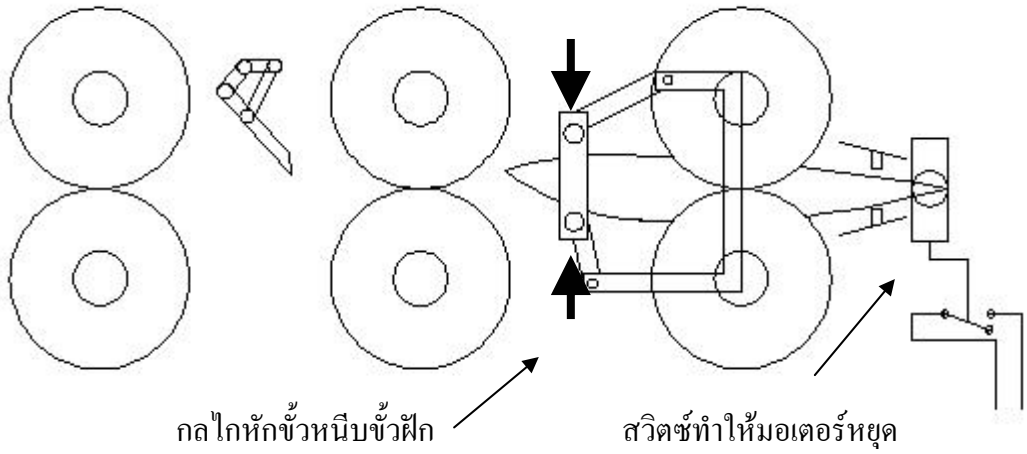
1) โครงสร้างลิงค์อยู่กับที่ 2) ลิงค์อินพุท 3) ลิงค์ coupler
และ 4) ลิงค์เอาท์พุท (follower)

ภาพที่ 29 แสดงกลไกการหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน

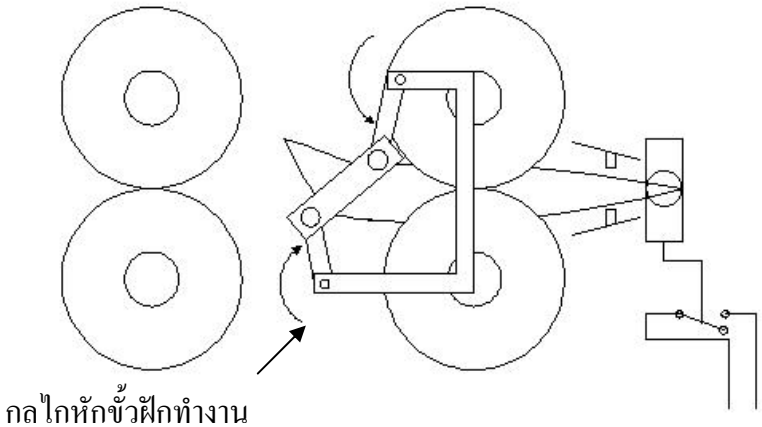
เมื่อได้กลไกหักขั้วแล้วนำมาติดตั้งกับระบบลำเลียงฝักและระบบนิวแมติกที่ควบคุมการทำงานด้วย Programmable logic controller (PLC) เพื่อให้การทำงานเป็นไปโดยอัตโนมัติ ในการทำงานให้สามารถหักขั้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้นำผลการทดลองจาก ข้อ 1 และข้อ 2.1 มาเป็นเงื่อนไข นั่นคือ จะต้องคัดความยาวฝักข้าวโพดก่อนซึ่งจะทำให้ได้ตำแหน่งขั้วของเนื้ออ่อนมีค่าแน่นอนเมื่อใช้ข้าวโพดที่มีความยาวฝักประมาณ 25.5 เซนติเมตร และใช้สมการ (1) ที่ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตลอดทั้งฝักของข้าวโพดฝักอ่อนกับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อนจะคำนวณได้ตำแหน่งขั้วฝักจากปลายฝักเท่ากับ 4.9 เซนติเมตร และจะต้องมีชุดกรีดฝักตลอดความยาวฝักและผู้ใช้งานจะต้องป้อนฝักในลักษณะหงายฝักโดยป้อนด้านที่มีไหมเข้าก่อน ดังนั้นจะได้ระบบหักขั้วที่ประกอบด้วย ลูกกลิ้งป้อนฝัก ชุดกรีดฝักลูกกลิ้งลำเลียง กลไกหักขั้ว ระบบนิวแมติกและระบบควบคุม (ภาพที่ 30 ก) การทำงานโดยสรุปของระบบหักขั้ว คือ เมื่อป้อนฝักด้านที่มีไหมเข้าสู่เครื่อง ลูกกลิ้งจะหมุนดึงฝักข้าวโพดผ่านชุดกรีด ทำให้ฝักถูกกรีดตลอดความยาวฝัก ฝักจะถูกป้อนต่อเนื่องสอดผ่านก้านเพลาคู่ของลิงค์ coupler ของกลไกหักขั้ว เมื่อปลายฝักแตะสวิทซ์ (ภาพที่ 30 ข) ที่ติดตั้งในตำแหน่งที่จะทำให้กลไกหักขั้วทำงานที่ระยะ 4.9 เซนติเมตร จากปลายฝักด้านที่ไม่มีไหม การหักขั้วฝักจะเกิดขึ้น (ภาพที่ 30 ค) โดยระบบควบคุม PLC จะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้มอเตอร์จะทำงานต่อไป ดึงฝักออกจากระบบเพื่อป้อนเข้าสู่ชุดปอกเปลือกต่อไป (ภาพที่ 30 ง) รายละเอียดการทำงานของระบบนิวแมติกแสดงในภาคผนวก ข



ก)

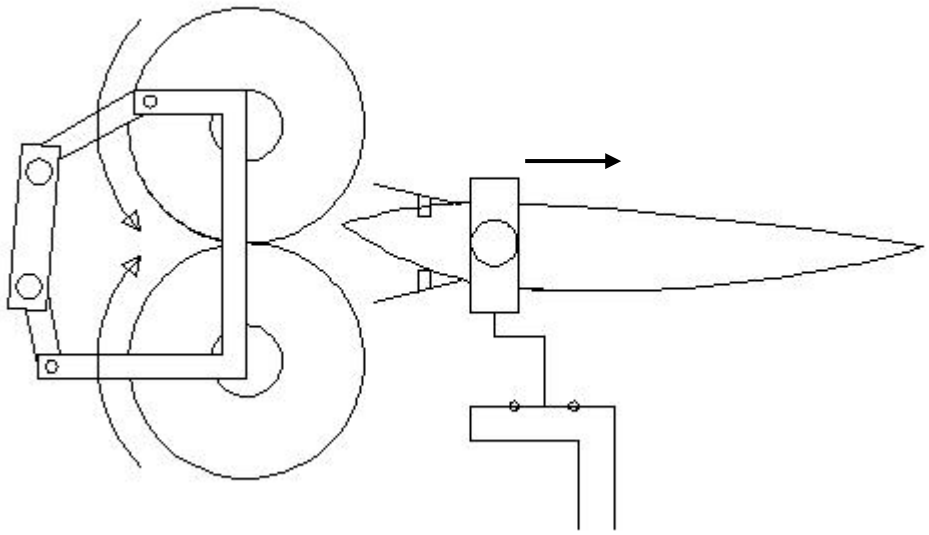


ข)



ค)

ภาพที่ 30 แสดงระบบหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน



ง)

ภาพที่ 30 (ต่อ)

2.3 การทดสอบการทำงานของกลไกหักขั้ว

ข้อมูลการทดสอบการทำงานของกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดแสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดสอบการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อนที่ความชื้นต่าง ๆ

ความชื้นขั้วฝักเฉลี่ย		จำนวนข้าวโพด (ฝัก)					
		0%	1 - 33%	34 - 66%	67 - 99%	100%	ฝักเสียหาย
		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
วันที่ 1	87.50%	6	0	7	14	68	5
วันที่ 2	84.75%	16	13	14	27	27	3
วันที่ 3	80.53%	89	6	2	2	0	1

จากผลการทดสอบ สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์จำนวนข้าวโพดที่ขั้วหักได้จากสูตร เปอร์เซ็นต์จำนวนข้าวโพดที่ขั้วหัก $= \frac{B+C+D+E}{A+B+C+D+E+F} \times 100$ โดยพบว่า ในวันที่ 1 สามารถหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนได้ 89% ที่ระดับความชื้นขั้วฝักเฉลี่ย 87.50% ในวันที่ 2 สามารถ

หักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนได้ 81% ที่ระดับความชื้นขั้วฝักเฉลี่ย 84.75% และในวันที่ 3 สามารถหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนได้ 10% ที่ระดับความชื้นขั้วฝักเฉลี่ย 80.53% โดยระดับการหักขั้วฝักและความชื้นของขั้วฝักมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ตารางผนวกที่ ง) ส่วนแรงเฉลี่ยที่ใช้ในการหักขั้วฝักในวันที่ 1, 2 และ 3 คือ 83, 36 และ 25 นิวตัน ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ ก7) แสดงว่าหากความชื้นขั้วฝักมีค่าสูง จะต้องใช้แรงในการหักมาก และหักได้ง่ายกว่าฝักข้าวโพดที่มีค่าความชื้นขั้วฝักต่ำกว่า เพราะเมื่อฝักข้าวโพดฝักอ่อนมีความชื้นน้อยจะทำให้เวลาหักด้วยกลไกหักขั้วฝักจะไม่หัก เนื่องจากก้านฝักจะอ่อนตัวและงอตามแรงของกลไก

ผลการทดสอบบ่งบอกว่าควรหักขั้วข้าวโพดในวันแรกที่เก็บซึ่งความชื้นขั้วฝักยังสูงอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกรที่จะนำข้าวโพดจากไร่มาปอกเปลือกในวันแรกทันที

การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากการทดสอบกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 240 ฝักต่อชั่วโมง ถ้าทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ทำงานปีละ 300 วัน สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงานได้ดังนี้

ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน คำนวณได้จาก ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight-Line Method โดยใช้สมการ $DP = (P – L) / n$ โดยที่ P คือ ค่าซื้อเครื่องจักร (บาท) L คือ ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท) และ n คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

ราคาของเครื่องที่ทำการประเมินไว้ (ตารางที่ 2) เท่ากับ 21,000 บาท มูลค่าซากเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 คงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง

ดังนั้นราคาซากเครื่อง = 4,800 บาท

ค่าเสื่อมราคา (DP) = $\frac{48,000 - 4,800}{10}$ = 4,320 บาทต่อปี

ค่าเสียโอกาสหรือดอกเบี้ย (Interest)

$I = \left(\frac{P+L}{2}\right) \times \left(\frac{i}{100}\right)$ โดยที่ i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (เปอร์เซ็นต์)

กำหนดให้อัตราดอกเบี้ยต่อปี เท่ากับ 7.5% (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารกสิกรไทย เมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2550)

ดังนั้นค่าเสียโอกาสต่อปี = $\left(\frac{4,8000 + 4,800}{2}\right) \times \left(\frac{7.5}{100}\right)$ = 1,980 บาทต่อปี

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed Cost) = 4,320 +1,980= 6,300 บาทต่อปี

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

ค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท ทำงาน 300 วันต่อปี ค่าบำรุงรักษาเท่ากับ 5 x 300 = 1,500 บาทต่อปี

ค่าไฟฟ้า จากการวัด จะสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 0.756 กิโลวัตต์ชั่วโมง ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท ใน 1 ปีทำงาน 300 วัน วันละ 8 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 5,443.2 บาทต่อปี

ค่าจ้างแรงงาน อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 150 บาท จำนวน 1 คน ทำงาน 300 วันต่อปี คิดเป็นค่าจ้างแรงงานเท่ากับ 150 x 300 = 45,000 บาทต่อปี

รวมต้นทุนผันแปร (Variable Cost) = 1,500 + 5,443.2 + 45,000 = 51,943.2 บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อฝัก) ของชุดกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน ทำงานใน 1 ปี เท่ากับ 2,400 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงาน 240 ฝักต่อชั่วโมง

จะได้เท่ากับ 51,943.2 / (2,400 x 240) = 0.09 บาทต่อฝัก

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

รายการ	**จำนวนเงิน**
1. ต้นกำลัง	
- มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเบรก 1 ตัว	13,000-
2. วัสดุทำเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน	
- เหล็กโครงสร้าง, ลูกกลิ้ง, เกียร์ทด, เพลา, โซ่ และเฟือง	8,500-
3. อุปกรณ์ไฟฟ้าและควบคุม	
- PLC, Inverter, sensor, รีเลย์, กระบอกนิวแมติก	21,500-
4. ค่าแรงประกอบสร้างและอื่น ๆ	5,000-
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างชุดกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน	48,000-

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ในการหาค่าความสัมพันธ์ ของระยะต่าง ๆ ที่ทำการเก็บข้อมูล พบว่า ข้าวโพดที่มีความยาวฝักทั้งเปลือกยาวมีแนวโน้มที่จะมีความยาวของก้านฝักยาว ดังนั้น จึงควรมีการคัดขนาดข้าวโพดที่มีความยาวใกล้เคียงกันเพื่อควบคุมให้มีความยาวของก้านฝักเฉลี่ยใกล้เคียงกัน เพื่อที่จะทำนายตำแหน่งของขั้วฝักในการหักขั้วได้อย่างแม่นยำ

2. ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของรูปด้านข้างกับความยาวก้านฝักของข้าวโพดฝักอ่อน ผลการวิเคราะห์จากกราฟที่ได้ ตำแหน่งของขั้วฝักที่ได้จากกราฟจะมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงไปทางก้านฝักเล็กน้อย เนื่องจากความชันของเปลือกจะเริ่มหนาขึ้นก่อนถึงบริเวณขั้วจริง

3. ในการทดสอบหักขั้วฝักจากกลไกเบื้องต้น จะหักได้ดีเมื่อนำข้าวโพดไปกรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝัก โดยหงายฝักแล้วจึงนำไปหักขั้วฝัก คิดเป็น 96% ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพการหักที่ดีควรทำการป้อนข้าวโพดที่กรีดฝักตลอดแนวความยาวของตัวฝัก โดยหงายฝักแล้วจึงนำไปเข้าสู่กลไกหักขั้วฝัก

4. ในการทำงานของกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า จะมีประสิทธิภาพในการหักที่ดีเมื่อทำการหักภายในวันแรกของการเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีความชื้นสูง ซึ่งจากการทดสอบคิดเป็น 89% ที่ระดับความชื้นขั้วฝักเฉลี่ย 87.50%

ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาวิธีการในการทำนายตำแหน่งของขั้วฝักอ่อนที่ละเอียด และแม่นยำขึ้น เพื่อให้ประสิทธิภาพในการทำงานของกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนมีมากขึ้น เนื่องจากในการทดสอบประสิทธิภาพของการหักจะขึ้นอยู่กับการทำนายตำแหน่งเป็นสำคัญ และยังช่วยลดปัญหาในเรื่องการคัดขนาดฝักข้าวโพดฝักอ่อนได้ด้วย

2. ในการทดสอบการทำงานของกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน ยังมีปัญหาในเรื่องของเวลาในการดำเนินการกรีดฝัก และหักขั้วฝัก ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน (ประมาณ 15 วินาทีต่อฝัก) ซึ่งอาจแก้ไขโดยการคิดออกแบบปรับปรุงกลไกการเคลื่อนที่ให้เร็วขึ้น

3. กลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อนมีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อมีการคัดความยาวฝักซึ่งเป็นการเพิ่มงานให้เกษตรกรดังนั้นจึงควรมีการพัฒนากลไกให้สามารถใช้งานได้กับฝักขั้วโพดทุกขนาด โดยอาจคิดระบบตรวจหาตำแหน่งขั้วฝักจากค่าความชันภายนอกของฝักข้าวโพด

4. เส้นยางที่นำมาขึงลูกกลิ้งลำเลียงมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น (ประมาณ 3 เดือน) ควรทำการศึกษาเพื่อหาวัสดุชนิดอื่นมาทดแทน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2549. **ฐานความรู้ด้านพืช.** แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/data-agri/BA_CORN/6product/pro03.html, 6 ตุลาคม 2549.

กองบรรณาธิการเฉพาะกิจฐานเกษตรกรรม. 2530. **ข้าวโพดฝักอ่อน**. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ.

ชมพูนุช ชีววิญญู และ รัฐพล พงษ์พานิช. 2542. **การศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดฝักอ่อนสำหรับการออกแบบกลไกการกรีดฝัก**. โครงงานวิศวกรรมการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประยุทธ์ สุวรรณชีวะกร และ อเนก สุขเจริญ. 2537. **รายงานโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีรวุฒิ แสนสมบัติสกุล, วุฒิกร อัจฉริยะเกียรติ และโสภณ ศรีโสภา. 2542. **เครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน 3.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ภัทร สุพพัตกุล. 2547. **การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ, เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, ชูศักดิ์ จอมพุก และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2541. **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลาวัลย์ ดีด้วยชาติ. 2531. **ข้าวโพดฝักอ่อน.** โครงการหนังสือเกษตรชุมชน.

สุรพงษ์ นิยมญาติ. 2548. **การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวโพดฝักอ่อนสำหรับกลไกการกรีดฝักโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวรรณ หอมหวล, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, โสพส จิวานุวงศ์, อเนก สุขเจริญ และ เสกสรร สีหวงษ์. 2540. **รายงานโครงการวิจัยและพัฒนาระบบปอกเปลือกและคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนแบบอัตโนมัติ.** ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2549. **ข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุภาชนะอัดลม: ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน.** แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/statistic/export/1310YC.xls, 10 เมษายน 2550.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และภัทร สุพพัตกุล. 2548. การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบลูกกลิ้ง, น. 59. *ใน* **รายงานการประชุมประจำปี สวทช. 2548.** สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

อรรถพล นุ่มหอม. 2541. **แนวทางพัฒนาระบบเก็บรักษาผลผลิตการเกษตรในท้องถิ่นก่อนการแปรรูป: ข้าวโพดฝักอ่อน**. ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมเกษตรและอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, กรุงเทพฯ.

Kunjara, B., Y. Ikeda and T. Nishizu. 1995. Development of an Automatic Baby Corn Separating System for canned Baby Corn Production, pp. 160-167. **Proceeding of the Conference on Harvest and Postharvest Technologies for Fresh Fruits and Vegetables.** Guanajuato, Mexico.

Wilson, C.E. and J.P. Sadler. 1993. **Kinematics and Dynamics of Machinery**. Harper Collins College Publishers

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลขนาดที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลขนาดที่วัดของข้าวโพดฝักอ่อน (หน่วย cm.)

No.	A	B	C
1	5.79	12.24	27.95
2	4.59	11.09	26.22
3	7.63	11.09	31.05
4	3.66	11.12	23.98
5	7.19	12.65	27.85
6	7.05	9.56	28.26
7	3.91	8.94	24.83
8	4.17	10.36	23.59
9	5.83	10.37	27.97
10	3.25	11.72	23.98
11	4.68	9.91	26.86
12	5.36	11.70	25.82
13	8.22	10.54	30.46
14	4.42	9.17	24.99
15	3.10	9.23	24.75
16	2.55	10.25	23.48
17	4.13	12.15	25.82
18	5.25	11.25	26.61
19	4.45	8.44	24.20
20	3.84	12.86	25.65
21	7.40	12.15	28.81
22	4.25	9.94	25.30
23	5.05	12.37	25.20
24	6.73	7.54	27.18
25	8.18	12.50	29.04
26	8.78	10.92	29.69
27	3.97	11.35	25.26

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	A	B	C
28	6.94	9.43	28.01
29	3.84	9.35	24.95
30	6.11	10.58	27.80
31	5.94	8.53	26.14
32	5.17	12.00	26.89
33	6.18	8.77	24.34
34	2.39	8.38	22.44
35	3.06	11.06	24.12
36	3.71	8.78	23.26
37	3.95	10.64	23.49
38	6.93	11.53	28.46
39	4.60	9.34	24.77
40	6.38	13.45	28.22
41	2.86	11.12	22.92
42	5.58	10.18	26.54
43	4.65	7.68	24.50
44	7.04	11.38	27.95
45	4.08	10.33	23.47
46	4.46	11.77	26.13
47	2.23	11.10	23.37
48	4.56	12.86	24.98
49	2.73	9.80	23.50
50	4.68	10.42	24.60
51	4.41	11.06	25.38
52	4.62	11.53	25.52
53	4.24	11.29	24.61
54	4.34	11.30	23.29

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	A	B	C
55	4.68	10.42	24.71
56	4.97	10.78	25.48
57	6.57	12.28	26.68
58	2.40	10.25	20.70
59	4.21	9.83	24.27
60	5.92	11.68	27.27
61	4.92	11.78	26.25
62	5.55	10.87	26.23
63	6.85	10.60	28.00
64	4.05	8.98	22.64
65	5.93	11.81	24.84
66	2.65	10.75	22.62
67	3.91	10.09	23.14
68	6.03	11.42	25.74
69	8.67	9.84	29.25
70	5.79	9.15	24.73
71	2.56	10.67	23.67
72	6.49	9.77	27.39
73	3.62	10.18	23.76
74	3.91	11.79	24.08
75	5.69	11.91	26.21
76	3.34	8.65	21.20
77	6.36	10.38	24.83
78	2.83	8.81	24.38
79	7.30	9.38	29.31
80	5.99	10.80	26.50
81	5.68	10.35	25.84

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	A	B	C
82	2.67	11.42	22.10
83	4.69	8.80	24.53
84	4.67	10.25	23.47
85	3.90	11.16	23.59
86	8.28	9.18	31.36
87	4.26	10.96	24.27
88	5.15	11.18	25.62
89	3.58	9.77	23.77
90	5.58	10.86	26.46
91	5.99	9.67	26.61
92	8.66	11.14	29.87
93	1.94	7.91	20.07
94	4.86	8.69	23.05
95	3.65	10.33	23.55
96	5.99	10.28	27.11
97	4.40	10.88	25.52
98	3.69	9.65	22.25
99	3.70	11.18	25.00
100	3.47	9.90	23.92

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าความชันที่หนึ่งโดยใช้การข้ามหนึ่งจุด (First derivative)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
1	0.0558	0.1120	0.0669	0.0276	0.0607	0.0283	-0.0440	-0.0438	-0.0438	-0.0280	0.0162	0.0000	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.1394	0.1560	0.1280	0.0717	0.0729	0.0560	0.0120	-0.0159	0.0160	0.0288	0.0398	0.0433	0.0280	0.0121	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0271	0.0720	0.0000	-0.0279	-0.0279	-0.0560	-0.0567	-0.0279	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0560	0.0600	0.0000	-0.0438	-0.0445	-0.0288	-0.0398	-0.0827	-0.0840	-0.0279	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	-0.0279	-0.0720	-0.0560	-0.0558	-0.0837	-0.0680	-0.0840	-0.1155	-0.1296	-0.1120	-0.0996	-0.0956	-0.0560	-0.0324	-0.0159	-0.0120	-0.0120
6	-0.0440	-0.0598	-0.0438	-0.0400	-0.0283	-0.0558	-0.0680	-0.0440	-0.0159	0.0000	-0.0120	-0.0121	-0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0280	0.0558	0.0438	0.0000	0.0000	-0.0159	-0.0440	-0.0680	-0.0996	-0.0717	-0.0280	-0.0162	0.0159	0.0160	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0280	0.0560	0.0319	0.0162	0.0000	-0.0319	-0.0438	-0.0280	-0.0160	0.0000	0.0159	0.0000	-0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.1554	0.1280	0.0160	-0.0279	0.0000	-0.0160	-0.0440	-0.0837	-0.0850	-0.0440	-0.0279	-0.0279	-0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.0717	-0.1114	-0.1310	-0.1394	-0.1680	-0.1741	-0.1833	-0.1800	-0.1280	-0.0438	0.0000	0.0280	0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.0000	0.0120	0.0000	-0.0120	-0.0159	-0.0440	-0.0688	-0.0837	-0.1000	-0.1120	-0.0996	-0.0558	-0.0280	-0.0283	-0.0279	-0.0280
12	0.0280	0.0160	0.0000	0.0000	-0.0280	-0.0283	-0.1116	-0.1280	-0.0160	0.0279	0.0438	0.0280	0.0121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0558	0.0000	-0.0120	0.0279	-0.0159	-0.0280	-0.0405	-0.0837	-0.1120	-0.1160	-0.1275	-0.0956	-0.0440	-0.0283	-0.0120	-0.0280	-0.0280
14	-0.0279	-0.0283	0.0000	-0.0433	-0.0720	-0.0560	-0.0558	-0.0438	-0.0160	-0.0121	-0.0276	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
15	-0.0120	-0.0283	-0.0159	-0.0160	-0.0160	-0.0398	-0.1116	-0.1000	-0.0850	-0.0837	-0.0560	-0.0280	0.0000	-0.0279	-0.0280	0.0000	0.0000
16	-0.1680	-0.1560	-0.1275	-0.0996	-0.1280	-0.1296	-0.0837	-0.0560	-0.0680	-0.0717	-0.0438	-0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	-0.0280	-0.0120	0.0000	0.0000	-0.0320	-0.0891	-0.1235	-0.1520	-0.1741	-0.1554	-0.1102	-0.0720	-0.0567	-0.0558	-0.0560	-0.0560	0.0000
18	-0.0283	-0.0279	-0.0560	-0.0560	-0.0558	-0.0717	-0.0720	-0.0850	-0.0837	-0.0400	-0.0280	-0.0279	-0.0120	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000
19	-0.0440	-0.0279	-0.0558	-0.0880	-0.0567	-0.0677	-0.1120	-0.1120	-0.1275	-0.1155	-0.0560	-0.0121	-0.0159	-0.0160	-0.0120	0.0000	0.0000
20	0.1833	0.1520	0.1560	0.0717	-0.0159	0.0000	0.0000	-0.0120	-0.0560	-0.0720	-0.0558	-0.0279	-0.0160	-0.0283	-0.0398	-0.0440	0.0000
21	-0.0159	-0.0438	-0.0400	-0.0283	-0.0279	-0.0280	-0.0160	0.0159	0.0000	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	-0.1713	-0.1673	-0.1800	-0.1579	-0.1434	-0.1400	-0.1240	-0.0996	-0.0717	-0.0440	-0.0162	-0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	-0.0996	-0.1120	-0.1240	-0.1554	-0.1992	-0.1560	-0.0972	-0.0717	-0.0320	-0.0120	-0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	-0.0720	-0.1275	-0.1673	-0.1120	-0.0607	-0.0279	0.0000	0.0440	0.0438	0.0398	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	-0.0079	-0.0374	-0.0891	-0.0558	-0.0120	0.0000	0.0000	-0.0279	-0.0560	-0.0567	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	-0.0121	-0.0279	-0.0720	-0.1000	-0.0837	-0.0996	-0.1400	-0.1134	-0.0717	-0.0400	-0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
27	-0.0280	-0.0280	-0.1116	-0.1235	-0.1000	-0.1296	-0.1394	-0.1120	-0.0720	-0.0598	-0.0398	-0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	-0.0120	-0.0160	-0.0160	0.0000	0.0000	-0.0120	-0.0445	-0.0717	-0.0840	-0.0720	-0.0398	-0.0279	-0.0160	-0.0121	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
29	0.0840	0.0400	0.0279	0.0000	0.0000	-0.0283	-0.0398	-0.0400	-0.0440	-0.0159	0.0000	-0.0120	-0.0121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	-0.0160	-0.0558	-0.0837	-0.0560	-0.0567	-0.0558	0.0000	0.0720	0.0438	-0.0159	0.0000	0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	0.0160	0.0560	0.0279	0.0558	0.1240	0.1134	0.0319	-0.0280	-0.0320	-0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
32	-0.2510	-0.2120	-0.2308	-0.1673	-0.1000	-0.1000	-0.0677	-0.0558	-0.0551	-0.0567	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
33	-0.0438	-0.0712	-0.1120	-0.1429	-0.0996	-0.0680	-0.0280	-0.0319	-0.0279	-0.0280	-0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
34	0.0280	0.0120	-0.0120	-0.0398	-0.0880	-0.1457	-0.1514	-0.1280	-0.0880	-0.0279	-0.0120	-0.0280	-0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.0280	0.0283	0.0279	0.0280	0.0160	0.0159	0.0000	-0.0320	-0.0567	-0.0558	-0.0440	-0.0400	-0.0120	0.0000	0.0000	0.0121	0.0000
36	0.0000	-0.0279	-0.0400	-0.0121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0120	0.0280	0.0162	0.0120	0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
37	-0.1680	-0.1554	-0.1434	-0.1400	-0.1255	-0.0837	-0.0560	-0.0280	0.0000	0.0279	0.0400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
38	-0.2680	-0.2429	-0.1394	-0.0720	-0.0405	-0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
39	0.0000	-0.0120	-0.0398	-0.0279	-0.0160	-0.0445	-0.0398	-0.0120	0.0000	0.0000	-0.0159	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40	-0.0600	-0.1417	-0.1394	-0.0720	-0.0400	-0.0279	-0.0438	-0.0280	0.0162	0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41	-0.1378	-0.1116	-0.1134	-0.1120	-0.0850	-0.0438	-0.0160	-0.0160	-0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
42	-0.0558	-0.1280	-0.1579	-0.1394	-0.1000	-0.0720	-0.0558	-0.0279	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
43	0.1116	0.1400	0.0960	0.0996	0.0876	0.0160	-0.0162	-0.0279	-0.0280	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
44	-0.0840	-0.0598	-0.0438	-0.0680	-0.0972	-0.0996	-0.0840	-0.0720	-0.0438	-0.0279	0.0000	-0.0121	-0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
45	0.0717	0.0320	0.0000	0.0279	0.0120	-0.0280	-0.0283	-0.0159	0.0160	0.0280	0.0279	0.0279	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
46	0.1400	0.1116	0.0558	0.0160	0.0162	-0.0159	-0.1360	-0.0120	0.1195	0.0279	0.0440	0.0405	0.0279	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000
47	-0.0160	0.0159	0.0159	0.0000	0.0121	0.0279	0.0440	0.0400	0.0279	0.0279	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
48	0.1000	-0.0398	-0.0717	-0.1000	-0.0445	0.0398	0.0440	0.0600	0.0717	0.0677	0.0400	0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
49	-0.1440	-0.0717	-0.0120	0.0160	0.0567	0.0558	0.0560	0.0720	0.0717	0.0279	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50	0.0560	0.0729	0.0279	-0.0720	-0.0840	-0.0120	0.0159	0.0120	0.0283	0.0279	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
51	-0.1000	-0.1496	-0.1538	-0.0440	-0.0438	-0.1134	-0.1000	-0.0837	-0.0837	-0.0720	-0.0400	-0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
52	0.0160	0.0160	0.0000	-0.0567	-0.1120	-0.0279	0.0398	0.0400	0.0440	0.0279	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
53	-0.1654	-0.1317	-0.0567	-0.0669	-0.0866	-0.0598	-0.0567	-0.0560	-0.0680	-0.0405	-0.0162	-0.0276	0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
54	-0.1160	-0.1275	-0.0121	-0.0972	-0.1116	-0.0551	-0.0280	-0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
55	-0.0560	-0.0121	0.0279	-0.0280	-0.0720	-0.0717	-0.0279	0.0000	0.0280	0.0398	0.0445	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
56	0.0283	-0.0283	-0.1496	-0.1206	-0.0729	-0.0729	-0.0438	-0.0159	0.0157	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
57	-0.0445	0.0160	-0.0551	-0.0850	-0.0680	-0.0717	-0.0876	-0.0720	-0.0560	-0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
58	-0.0405	-0.0709	-0.0840	-0.1134	-0.1833	-0.2400	-0.2120	-0.1102	-0.0558	-0.0738	-0.0440	0.0720	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
59	0.1012	0.0433	0.0000	-0.0996	-0.1275	-0.0405	-0.0400	-0.0880	-0.0598	-0.0283	0.0000	0.0157	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60	0.0720	0.0866	0.0445	0.0000	0.0118	0.0000	-0.0120	0.0118	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
61	-0.0283	-0.0956	-0.1280	-0.1160	-0.0558	-0.0677	-0.1280	-0.1280	-0.1296	-0.1417	-0.0945	-0.0438	-0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
62	0.1155	0.0729	0.0560	0.0677	0.0558	0.0157	-0.0840	-0.0729	-0.0164	-0.0720	-0.0433	-0.0121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
63	-0.0276	-0.0720	-0.0960	-0.1275	-0.1275	-0.0972	-0.0160	-0.0157	-0.0121	-0.0120	-0.0433	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
64	0.0000	-0.0159	0.0000	0.0276	0.0118	-0.0121	-0.0400	-0.0445	-0.0438	-0.0560	-0.0551	-0.0433	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
65	-0.2120	-0.0543	-0.0398	-0.0560	-0.0840	-0.1025	-0.1012	-0.0984	-0.0827	-0.0850	-0.0729	-0.0440	-0.0438	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
66	-0.0120	-0.1275	-0.1579	-0.0276	0.0276	0.0162	0.0121	0.0280	0.0438	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
67	0.0000	0.0120	0.0120	0.0000	0.0324	0.0157	-0.0315	0.0279	0.1012	0.0567	0.0280	0.0560	0.0558	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
68	0.0283	0.0677	0.0280	0.0157	0.0000	0.0000	0.0120	0.0000	-0.0120	0.0000	0.0120	0.0412	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
69	0.0905	0.0996	0.0814	0.0729	0.0000	0.0000	0.0410	-0.0162	-0.0118	0.0000	-0.0440	-0.0398	0.0000	0.0400	0.0000	0.0000	0.0000
70	0.0560	0.0458	0.0398	0.0276	0.0156	0.0000	0.0000	-0.0160	-0.0287	-0.0279	-0.0560	-0.0680	-0.0276	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
71	0.0271	0.0000	-0.0162	-0.0160	0.0160	-0.0279	-0.0984	-0.1120	-0.1134	-0.1275	-0.1148	-0.0840	-0.0551	-0.0279	0.0000	0.0000	0.0000
72	-0.0280	-0.0160	-0.0567	-0.0996	-0.1189	-0.0840	-0.0400	-0.0118	0.0116	0.0697	0.0576	0.0000	0.0155	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
73	0.0972	0.0669	0.0720	0.0558	0.0394	0.0280	-0.0283	-0.0276	0.0279	0.0876	0.0607	0.0123	0.0121	-0.1417	0.0000	0.0000	0.0000
74	-0.0984	-0.0398	-0.0287	-0.0324	-0.0280	0.0160	0.0438	0.0438	0.0400	0.0120	0.0159	0.0283	0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
75	0.0000	0.0279	0.0280	0.0120	-0.0157	-0.0398	-0.0688	-0.0445	-0.0159	0.0000	0.0160	0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
76	-0.2948	-0.2756	-0.2551	-0.1296	-0.0280	-0.0280	-0.0438	-0.0558	0.0433	0.1152	0.0850	0.0698	0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
77	-0.1120	-0.1440	-0.1952	-0.1862	-0.1000	-0.0551	-0.0159	0.0451	0.0560	0.0984	0.1174	0.1120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
78	-0.0840	-0.0688	-0.0283	-0.0162	-0.0438	-0.0840	-0.1120	-0.1554	-0.1929	-0.1520	-0.0738	-0.0717	-0.0551	-0.0157	-0.0165	0.0000	0.0000
79	0.1174	0.0945	0.0551	0.0159	-0.0280	-0.0283	-0.0162	-0.0840	-0.0945	-0.0598	-0.0607	-0.0276	0.0279	0.0445	0.0160	0.0157	0.0000
80	-0.0543	-0.0283	-0.0741	-0.1120	-0.1378	-0.1155	-0.0717	-0.0680	-0.0680	-0.0159	0.0000	-0.0118	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
81	0.0000	-0.0280	-0.0840	-0.1394	-0.1417	-0.1260	-0.0996	-0.0283	0.0000	0.0157	-0.0121	-0.0288	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
82	-0.0157	0.0157	0.0162	0.0000	0.0118	-0.0164	-0.0410	-0.0276	-0.0433	-0.0560	-0.0280	0.0000	0.0162	0.0440	0.0000	0.0000	0.0000
83	0.0120	0.0000	-0.0729	-0.0960	-0.1235	-0.1713	-0.1720	-0.1240	-0.0956	-0.0445	-0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
84	-0.0958	-0.0600	-0.0567	-0.0677	-0.0567	-0.0160	0.0121	0.0159	0.0426	0.0280	0.0283	0.0558	0.0850	0.0567	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
85	0.1394	0.0440	-0.0283	-0.0157	-0.0560	-0.1134	-0.1275	-0.1394	-0.1240	-0.1000	-0.0558	-0.0121	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
86	-0.0159	0.0159	0.0000	-0.0288	-0.0120	-0.0157	-0.0560	-0.0996	-0.1142	-0.0960	-0.0850	-0.0551	0.0000	-0.0162	-0.0120	0.0000	0.0000
87	0.0709	0.0445	0.0000	-0.0438	-0.0876	-0.0840	-0.0120	0.0162	0.0120	0.0118	0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
88	0.0840	0.0440	-0.0558	-0.1134	-0.0984	-0.0827	-0.0850	-0.0607	-0.0433	-0.0405	0.0165	0.0118	0.0279	0.0607	0.0000	0.0000	0.0000
89	-0.2146	-0.1713	-0.0551	-0.0560	-0.0567	-0.0279	-0.0160	0.0165	0.0279	0.0551	0.0709	0.0677	0.0680	0.0560	0.1012	0.0000	0.0000
90	-0.0280	-0.1401	-0.1512	-0.0708	-0.0988	-0.0837	-0.0558	-0.0560	-0.0551	-0.0279	-0.0162	-0.0160	-0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
91	-0.0558	0.0558	0.0720	0.0560	0.0558	0.0121	0.0000	0.0438	0.0000	-0.0560	-0.0440	-0.0279	-0.0121	0.0276	0.0398	0.0121	0.0000
92	-0.0591	-0.0438	-0.0120	-0.0280	-0.0433	0.0121	0.1174	0.0876	-0.0157	0.0567	0.1296	0.1220	0.1134	0.0720	0.0438	0.0279	0.0551
93	-0.0850	-0.0677	-0.1840	-0.1811	-0.1235	-0.0850	-0.0280	-0.0162	0.0120	0.0709	0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
94	-0.0445	-0.0438	0.0160	0.1160	0.1833	0.1235	0.0280	-0.0405	-0.0709	-0.0160	0.0000	0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
95	0.0160	0.0729	0.0558	0.0558	0.0445	0.0567	0.0389	0.0157	-0.0283	-0.0850	-0.0972	-0.0440	-0.0159	-0.0279	0.0000	0.0000	0.0159
96	-0.0276	-0.0394	-0.1400	-0.2271	-0.1579	-0.0118	0.1260	0.1800	0.1275	0.0324	0.0283	0.0405	0.0276	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
97	-0.0438	0.0276	-0.0551	-0.1394	-0.1260	-0.1120	-0.0850	-0.0729	-0.0445	0.0000	0.0156	0.0120	0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
98	-0.2146	-0.0960	-0.0576	-0.0445	-0.0551	-0.0567	0.0000	0.0551	0.0837	0.0837	0.0445	0.0560	0.0400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17
99	-0.0398	0.0567	-0.0720	-0.1833	-0.1296	0.0160	0.0433	0.0279	0.0279	0.0551	0.0440	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	-0.0438	-0.0162	0.0280	0.0440	0.0000	-0.0850	-0.1012	-0.0159	0.0159	0.0000	-0.0160	-0.0276	-0.0283	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าความชันที่สองโดยใช้การข้ามหนึ่งจุด (Second derivative)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
1	0.0056	-0.0422	-0.0031	0.0004	-0.0524	-0.0361	0.0001	0.0079	0.0300	0.0140	-0.0161	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	-0.0057	-0.0421	-0.0276	-0.0079	-0.0305	-0.0360	0.0020	0.0224	0.0119	0.0073	-0.0059	-0.0156	-0.0140	0.0000	0.0000
3	-0.0136	-0.0499	-0.0139	-0.0141	-0.0144	0.0141	0.0283	0.0139	0.0000	-0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	-0.0280	-0.0519	-0.0223	0.0075	0.0023	-0.0269	-0.0221	0.0274	0.0420	0.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	-0.0141	0.0081	-0.0138	-0.0061	-0.0002	-0.0238	-0.0228	0.0018	0.0150	0.0082	0.0218	0.0316	0.0200	0.0102	0.0020
6	0.0001	0.0099	0.0077	-0.0079	-0.0198	0.0059	0.0260	0.0220	0.0020	-0.0061	-0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0079	-0.0279	-0.0219	-0.0080	-0.0220	-0.0260	-0.0278	-0.0019	0.0358	0.0278	0.0220	0.0161	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0019	-0.0199	-0.0159	-0.0240	-0.0219	0.0019	0.0139	0.0140	0.0160	0.0000	-0.0161	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	-0.0697	-0.0779	-0.0080	0.0059	-0.0220	-0.0338	-0.0205	0.0198	0.0286	0.0081	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.0297	-0.0140	-0.0185	-0.0173	-0.0076	-0.0030	0.0276	0.0681	0.0640	0.0359	0.0142	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.0060	0.0000	-0.0120	-0.0080	-0.0160	-0.0264	-0.0198	-0.0156	-0.0142	0.0002	0.0281	0.0358	0.0137	0.0001	0.0002
12	-0.0140	-0.0080	-0.0140	-0.0142	-0.0418	-0.0498	0.0478	0.0779	0.0299	0.0001	-0.0158	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	-0.0339	0.0139	-0.0020	-0.0279	-0.0123	-0.0278	-0.0358	-0.0162	-0.0077	0.0102	0.0417	0.0336	0.0160	0.0002	-0.0080
14	0.0139	-0.0075	-0.0360	-0.0063	0.0081	0.0061	0.0199	0.0158	-0.0058	-0.0019	0.0138	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
15	-0.0020	0.0062	0.0000	-0.0119	-0.0478	-0.0301	0.0133	0.0082	0.0145	0.0278	0.0280	0.0001	-0.0140	0.0000	0.0000
16	0.0203	0.0282	-0.0003	-0.0150	0.0222	0.0368	0.0078	-0.0079	0.0121	0.0219	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.0140	0.0060	-0.0160	-0.0445	-0.0458	-0.0315	-0.0253	-0.0017	0.0319	0.0417	0.0268	0.0081	0.0003	-0.0001	0.0000
18	-0.0138	-0.0141	0.0001	-0.0079	-0.0081	-0.0067	-0.0058	0.0225	0.0278	0.0061	0.0080	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000
19	-0.0059	-0.0301	-0.0005	0.0101	-0.0277	-0.0221	-0.0077	-0.0018	0.0357	0.0517	0.0200	-0.0019	0.0020	0.0000	0.0000
20	-0.0136	-0.0401	-0.0860	-0.0359	0.0080	-0.0060	-0.0280	-0.0300	0.0001	0.0221	0.0199	-0.0002	-0.0119	-0.0078	0.0000
21	-0.0120	0.0077	0.0061	0.0002	0.0059	0.0220	0.0080	-0.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	-0.0043	0.0047	0.0183	0.0089	0.0097	0.0202	0.0261	0.0278	0.0278	0.0160	0.0081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	-0.0122	-0.0217	-0.0376	-0.0003	0.0510	0.0421	0.0326	0.0299	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	-0.0477	0.0077	0.0533	0.0421	0.0304	0.0359	0.0219	-0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	-0.0406	-0.0092	0.0385	0.0279	0.0060	-0.0139	-0.0280	-0.0144	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	-0.0299	-0.0361	-0.0058	0.0002	-0.0282	-0.0069	0.0341	0.0367	0.0219	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
27	-0.0418	-0.0478	0.0058	-0.0030	-0.0197	0.0088	0.0337	0.0261	0.0161	0.0239	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	-0.0020	0.0080	0.0080	-0.0060	-0.0223	-0.0299	-0.0197	-0.0001	0.0221	0.0221	0.0119	0.0079	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
29	-0.0281	-0.0200	-0.0139	-0.0142	-0.0199	-0.0058	-0.0021	0.0120	0.0220	0.0020	-0.0061	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	-0.0338	-0.0001	0.0135	0.0001	0.0283	0.0639	0.0219	-0.0440	-0.0219	0.0221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	0.0059	-0.0001	0.0481	0.0288	-0.0461	-0.0707	-0.0319	0.0060	0.0160	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
32	0.0101	0.0223	0.0654	0.0337	0.0161	0.0221	0.0063	-0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
33	-0.0341	-0.0358	0.0062	0.0374	0.0358	0.0181	0.0001	0.0019	-0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
34	-0.0200	-0.0259	-0.0380	-0.0530	-0.0317	0.0089	0.0317	0.0501	0.0380	-0.0001	-0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	-0.0001	-0.0002	-0.0059	-0.0060	-0.0080	-0.0240	-0.0283	-0.0119	0.0063	0.0079	0.0160	0.0200	0.0060	0.0061	0.0000
36	-0.0200	0.0079	0.0200	0.0061	0.0000	0.0000	0.0060	0.0140	0.0021	-0.0080	-0.0021	-0.0060	-0.0060	0.0000	0.0000
37	0.0123	0.0077	0.0090	0.0282	0.0348	0.0278	0.0280	0.0279	0.0200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
38	0.0643	0.0855	0.0495	0.0300	0.0202	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
39	-0.0199	-0.0079	0.0119	-0.0083	-0.0119	0.0163	0.0199	0.0060	-0.0080	-0.0080	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40	-0.0397	0.0349	0.0497	0.0221	-0.0019	-0.0001	0.0300	0.0220	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41	0.0122	-0.0002	0.0142	0.0341	0.0345	0.0139	0.0000	0.0080	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
42	-0.0511	-0.0057	0.0289	0.0337	0.0221	0.0221	0.0279	0.0139	0.0000	-0.0140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
43	-0.0078	-0.0202	-0.0042	-0.0418	-0.0519	-0.0219	-0.0059	0.0059	0.0140	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
44	0.0201	-0.0041	-0.0267	-0.0158	0.0066	0.0138	0.0201	0.0221	0.0219	0.0079	-0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
45	-0.0359	-0.0021	0.0060	-0.0279	-0.0201	0.0060	0.0222	0.0220	0.0059	-0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
46	-0.0421	-0.0478	-0.0198	-0.0160	-0.0761	0.0020	0.1278	0.0199	-0.0378	0.0063	-0.0081	-0.0062	0.0000	0.0000	0.0000
47	0.0160	-0.0080	-0.0019	0.0139	0.0159	0.0061	-0.0081	-0.0061	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
48	-0.0859	-0.0301	0.0136	0.0699	0.0443	0.0101	0.0139	0.0039	-0.0159	-0.0197	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
49	0.0660	0.0439	0.0343	0.0199	-0.0003	0.0081	0.0079	-0.0221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50	-0.0141	-0.0724	-0.0559	0.0300	0.0500	0.0120	0.0062	0.0079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
51	-0.0269	0.0528	0.0550	-0.0347	-0.0281	0.0148	0.0082	0.0058	0.0218	0.0300	-0.0036	-0.0010	0.0000	0.0000	0.0000
52	-0.0080	-0.0363	-0.0560	0.0144	0.0759	0.0339	0.0021	-0.0061	-0.0220	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
53	0.0543	0.0324	-0.0150	0.0036	0.0150	0.0019	-0.0057	0.0078	0.0259	0.0065	0.0162	-0.0023	0.0012	0.0000	0.0000
54	0.0519	0.0152	-0.0497	0.0210	0.0418	0.0195	0.0140	0.0081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
55	0.0419	-0.0079	-0.0499	-0.0219	0.0221	0.0359	0.0279	0.0199	0.0083	0.0040	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
56	-0.0890	-0.0461	0.0384	0.0239	0.0145	0.0285	0.0298	0.0080	-0.0079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
57	-0.0053	-0.0505	-0.0064	0.0067	-0.0098	-0.0001	0.0158	0.0300	0.0280	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
58	-0.0218	-0.0212	-0.0496	-0.0633	-0.0144	0.0649	0.0781	0.0182	0.0059	0.0729	-0.0040	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000
59	-0.0506	-0.0715	-0.0637	0.0296	0.0437	-0.0238	-0.0099	0.0298	0.0299	0.0220	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000
60	-0.0137	-0.0433	-0.0164	0.0000	-0.0119	0.0059	0.0200	-0.0059	-0.0140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
61	-0.0498	-0.0102	0.0361	0.0241	-0.0361	-0.0301	-0.0008	-0.0069	0.0175	0.0489	0.0393	-0.0037	-0.0012	0.0000	0.0000
62	-0.0298	-0.0026	-0.0001	-0.0260	-0.0699	-0.0443	0.0338	0.0004	-0.0135	0.0299	-0.0039	-0.0010	0.0000	0.0000	0.0000
63	-0.0342	-0.0277	-0.0157	0.0152	0.0557	0.0407	0.0019	0.0018	-0.0156	0.0060	-0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
64	0.0000	0.0217	0.0059	-0.0199	-0.0259	-0.0162	-0.0019	-0.0057	-0.0056	0.0063	0.0276	-0.0036	0.0000	0.0000	0.0000
65	0.0861	-0.0009	-0.0221	-0.0232	-0.0086	0.0020	0.0093	0.0067	0.0049	0.0205	0.0145	0.0220	-0.0034	0.0000	0.0000
66	-0.0729	0.0500	0.0927	0.0219	-0.0077	0.0059	0.0158	-0.0140	-0.0219	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
67	0.0060	-0.0060	0.0102	0.0079	-0.0319	0.0061	0.0664	0.0144	-0.0366	-0.0003	0.0139	0.0047	0.0043	0.0000	0.0000
68	-0.0002	-0.0260	-0.0140	-0.0079	0.0060	0.0000	-0.0120	0.0000	0.0120	0.0206	0.0011	0.0034	0.0000	0.0000	0.0000
69	-0.0046	-0.0134	-0.0407	-0.0364	0.0205	-0.0081	-0.0264	0.0081	-0.0161	-0.0199	0.0220	0.0399	0.0000	0.0029	0.0000
70	-0.0081	-0.0091	-0.0121	-0.0138	-0.0078	-0.0080	-0.0143	-0.0059	-0.0137	-0.0201	0.0142	-0.0057	-0.0021	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
71	-0.0217	-0.0080	0.0161	-0.0059	-0.0572	-0.0421	-0.0075	-0.0077	-0.0007	0.0217	0.0298	0.0281	0.0276	-0.0020	0.0000
72	-0.0143	-0.0418	-0.0311	0.0078	0.0394	0.0361	0.0258	0.0407	0.0230	-0.0348	-0.0211	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000
73	-0.0126	-0.0056	-0.0163	-0.0139	-0.0339	-0.0278	0.0281	0.0576	0.0164	-0.0377	-0.0243	-0.0770	0.0009	-0.0101	0.0000
74	0.0349	0.0037	0.0003	0.0242	0.0359	0.0139	-0.0019	-0.0159	-0.0120	0.0082	-0.0020	0.0024	0.0009	0.0000	0.0000
75	0.0140	-0.0079	-0.0219	-0.0259	-0.0265	-0.0023	0.0264	0.0223	0.0160	0.0080	-0.0080	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000
76	0.0199	0.0730	0.1135	0.0508	-0.0079	-0.0139	0.0436	0.0855	0.0209	-0.0227	-0.0283	0.0058	0.0022	0.0000	0.0000
77	-0.0416	-0.0211	0.0476	0.0656	0.0420	0.0501	0.0360	0.0267	0.0307	0.0068	0.0107	0.0093	0.0000	0.0000	0.0000
78	0.0278	0.0263	-0.0077	-0.0339	-0.0341	-0.0357	-0.0405	0.0017	0.0596	0.0401	0.0093	0.0280	0.0193	-0.0011	-0.0011
79	-0.0311	-0.0393	-0.0416	-0.0221	0.0059	-0.0278	-0.0391	0.0121	0.0169	0.0161	0.0443	0.0360	-0.0059	-0.0144	0.0011
80	-0.0099	-0.0418	-0.0319	-0.0018	0.0330	0.0238	0.0019	0.0260	0.0340	0.0021	0.0000	-0.0010	0.0000	0.0000	0.0000
81	-0.0420	-0.0557	-0.0289	0.0067	0.0210	0.0488	0.0498	0.0220	-0.0061	-0.0223	-0.0011	-0.0024	0.0000	0.0000	0.0000
82	0.0160	-0.0079	-0.0022	-0.0082	-0.0264	-0.0056	-0.0012	-0.0142	0.0077	0.0280	0.0221	0.0220	0.0012	0.0031	0.0000
83	-0.0424	-0.0480	-0.0253	-0.0377	-0.0242	0.0237	0.0382	0.0397	0.0338	0.0223	-0.0025	0.0000			0.0000
84	0.0196	-0.0039	0.0000	0.0259	0.0344	0.0160	0.0152	0.0060	-0.0071	0.0139	0.0283	0.0005	0.0065	0.0040	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
85	-0.0839	-0.0299	-0.0138	-0.0488	-0.0357	-0.0130	0.0017	0.0197	0.0341	0.0439	0.0199	0.0061	-0.0012	0.0000	0.0000
86	0.0080	-0.0224	-0.0060	0.0065	-0.0220	-0.0419	-0.0291	0.0018	0.0146	0.0204	0.0425	0.0195	-0.0060	-0.0012	-0.0008
87	-0.0354	-0.0442	-0.0438	-0.0201	0.0378	0.0501	0.0120	-0.0022	0.0021	0.0012	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
88	-0.0699	-0.0787	-0.0213	0.0153	0.0067	0.0110	0.0209	0.0101	0.0299	0.0261	0.0057	0.0245	0.0021	0.0043	0.0000
89	0.0797	0.0577	-0.0008	0.0141	0.0203	0.0222	0.0219	0.0193	0.0215	0.0063	-0.0014	-0.0059	0.0166	0.0040	0.0067
90	-0.0616	0.0346	0.0262	-0.0064	0.0215	0.0138	0.0003	0.0141	0.0195	0.0059	0.0000	-0.0013	-0.0012	0.0000	0.0000
91	0.0639	0.0001	-0.0081	-0.0219	-0.0279	0.0158	0.0000	-0.0499	-0.0220	0.0141	0.0159	0.0277	0.0260	-0.0077	-0.0199
92	0.0235	0.0079	-0.0157	0.0201	0.0804	0.0378	-0.0666	-0.0155	0.0727	0.0327	-0.0081	-0.0250	-0.0348	-0.0221	0.0056
93	-0.0495	-0.0567	0.0302	0.0480	0.0478	0.0344	0.0200	0.0435	0.0021	-0.0354	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
94	0.0303	0.0799	0.0836	0.0038	-0.0776	-0.0820	-0.0494	0.0122	0.0354	0.0161	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000
95	0.0199	-0.0085	-0.0056	0.0005	-0.0028	-0.0205	-0.0336	-0.0504	-0.0344	0.0205	0.0406	0.0081	0.0080	0.0139	0.0080
96	-0.0562	-0.0939	-0.0089	0.1076	0.1419	0.0959	0.0008	-0.0738	-0.0496	0.0040	-0.0004	0.0034	0.0021	0.0000	0.0000
97	-0.0056	-0.0835	-0.0354	0.0137	0.0205	0.0196	0.0202	0.0364	0.0300	0.0060	0.0064	0.0010	0.0022	0.0000	0.0000
98	0.0785	0.0257	0.0012	-0.0061	0.0276	0.0559	0.0418	0.0143	-0.0196	-0.0138	-0.0023	-0.0280	0.0031	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6	คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12	คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15
99	-0.0161	-0.1200	-0.0288	0.0996	0.0864	0.0059	-0.0077	0.0136	0.0081	0.0055	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	0.0359	0.0301	-0.0140	-0.0645	-0.0506	0.0345	0.0586	0.0080	-0.0160	-0.0138	-0.0062	0.0138	-0.0022	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

ฝักที่	กลุ่มที่ 1	ฝักที่	กลุ่มที่ 2	ฝักที่	กลุ่มที่ 3	ฝักที่	กลุ่มที่ 4
1	หัก	51	หัก	101	ไม่หัก	151	หัก
2	ไม่หัก	52	หัก	102	ไม่หัก	152	ไม่หัก
3	หัก	53	ไม่หัก	103	ไม่หัก	153	ไม่หัก
4	หัก	54	หัก	104	ไม่หัก	154	ไม่หัก
5	หัก	55	หัก	105	หัก	155	หัก
6	หัก	56	หัก	106	ไม่หัก	156	หัก
7	หัก	57	ไม่หัก	107	ไม่หัก	157	หัก
8	หัก	58	หัก	108	ไม่หัก	158	หัก
9	หัก	59	ไม่หัก	109	ไม่หัก	159	ไม่หัก
10	หัก	60	หัก	110	ไม่หัก	160	หัก
11	หัก	61	หัก	111	ไม่หัก	161	ไม่หัก
12	หัก	62	ไม่หัก	112	หัก	162	ไม่หัก
13	หัก	63	หัก	113	ไม่หัก	163	ไม่หัก
14	หัก	64	หัก	114	ไม่หัก	164	ไม่หัก
15	หัก	65	หัก	115	ไม่หัก	165	ไม่หัก
16	หัก	66	หัก	116	หัก	166	ไม่หัก
17	หัก	67	หัก	117	ไม่หัก	167	ไม่หัก
18	หัก	68	หัก	118	ไม่หัก	168	ไม่หัก
19	หัก	69	หัก	119	หัก	169	หัก
20	หัก	70	ไม่หัก	120	ไม่หัก	170	ไม่หัก
21	หัก	71	หัก	121	ไม่หัก	171	หัก
22	หัก	72	หัก	122	หัก	172	ไม่หัก
23	หัก	73	ไม่หัก	123	หัก	173	ไม่หัก
24	หัก	74	หัก	124	หัก	174	ไม่หัก
25	หัก	75	ไม่หัก	125	ไม่หัก	175	ไม่หัก

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ฝักที่	กลุ่มที่ 1	ฝักที่	กลุ่มที่ 2	ฝักที่	กลุ่มที่ 3	ฝักที่	กลุ่มที่ 4
26	หัก	76	หัก	126	ไม่หัก	176	ไม่หัก
27	หัก	77	หัก	127	หัก	177	ไม่หัก
28	ไม่หัก	78	หัก	128	ไม่หัก	178	ไม่หัก
29	หัก	79	หัก	129	ไม่หัก	179	หัก
30	หัก	80	หัก	130	ไม่หัก	180	ไม่หัก
31	หัก	81	ไม่หัก	131	หัก	181	ไม่หัก
32	หัก	82	หัก	132	ไม่หัก	182	ไม่หัก
33	หัก	83	หัก	133	ไม่หัก	183	ไม่หัก
34	หัก	84	ไม่หัก	134	ไม่หัก	184	ไม่หัก
35	หัก	85	ไม่หัก	135	ไม่หัก	185	ไม่หัก
36	หัก	86	หัก	136	ไม่หัก	186	หัก
37	หัก	87	หัก	137	ไม่หัก	187	ไม่หัก
38	หัก	88	หัก	138	ไม่หัก	188	ไม่หัก
39	หัก	89	ไม่หัก	139	หัก	189	ไม่หัก
40	หัก	90	หัก	140	ไม่หัก	190	หัก
41	หัก	91	หัก	141	ไม่หัก	191	ไม่หัก
42	หัก	92	หัก	142	หัก	192	ไม่หัก
43	หัก	93	หัก	143	หัก	193	ไม่หัก
44	หัก	94	ไม่หัก	144	หัก	194	หัก
45	หัก	95	หัก	145	หัก	195	ไม่หัก
46	หัก	96	หัก	146	ไม่หัก	196	ไม่หัก
47	หัก	97	หัก	147	ไม่หัก	197	ไม่หัก
48	หัก	98	หัก	148	ไม่หัก	198	ไม่หัก
49	หัก	99	หัก	149	ไม่หัก	199	ไม่หัก
50	หัก	100	หัก	150	หัก	200	ไม่หัก

ตารางผนวกที่ ก5 ค่าความชื้น (%) ของฝักข้าวโพดที่นำมาทดสอบกลไกการหักขั้วฝัก

ฝักที่	วันที่ 1		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
1	87.24	90.05	85.78
2	88.59	90.53	85.4
3	86.71	88.74	84.11
4	88.54	90.38	84.68
5	90.52	89.16	86.85
6	88.1	89.9	84.79
7	87.61	90.57	84.96
8	87.5	90.01	84.01
9	90	90.07	86.03
10	89.27	89.95	85.35
11	88.73	90.1	86.35
12	88.46	90.14	84.26
13	87.77	89.05	84.42
14	87.36	90.77	84.92
15	87.69	89.34	84.36
16	88.12	90.18	85.3
17	86.67	89.25	84.13
18	88.25	89.86	84.5
19	89.24	89.88	84.53
20	88.86	90.01	84.53
21	86.55	90.01	83.52
22	88.42	90.29	84.17
23	87.35	90.73	85.02
24	86.55	88.85	84.46

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 1		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
25	88.56	90.57	85.52
26	87.71	90.59	85.23
27	59.15	97.25	84.83
28	86.61	90.85	84.25
29	87.93	89.91	84.27
30	88.85	90.25	85.02
31	87.14	89.06	83.96
32	87.59	89.66	85.2
33	88.38	90.3	85.99
34	88.48	89.92	85.89
35	88.99	91.14	86.34
36	88.1	91.07	85.48
37	87.74	89.02	84.4
38	89.04	89.38	84.09
39	88.89	90.14	86.03
40	86.75	89.95	84.8
41	86.27	88.38	82.85
42	87.58	90.09	85.39
43	87.46	90.23	85.35
44	88.53	89.87	84.43
45	88.37	90.07	84.93
46	86.75	88.89	84.12
47	88.13	88.76	83.53
48	86.34	92.38	86.17

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 1		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
49	90.24	87.13	84.06
50	86.79	88.44	83.49
51	87.5	89.68	84.14
52	87.91	90.91	85.47
53	88.95	90.13	85.12
54	88.84	90.07	86.05
55	88.94	90.34	85.95
56	87.5	88.72	85.12
57	88.66	89.98	85.84
58	89.14	89.46	83.27
59	89.02	89.86	84.75
60	88.34	67.28	83.9
61	87.23	89.47	85.11
62	87.82	89.92	83.94
63	88.21	89.99	85.01
64	88.81	89.45	84.71
65	88.05	89.65	85.15
66	87.93	89.74	83.97
67	88.44	89.93	84.98
68	87.02	88.84	83.71
69	87.81	89.75	84.52
70	89.04	90.32	86.24
71	88.2	90.49	85.48
72	88.09	89.89	84.14

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 1		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
73	87.64	90	84.98
74	88.37	90.03	86.71
75	89.25	89.66	83.72
76	88.65	89.99	86.42
77	88.1	90.15	84.31
78	87.34	90.1	84.31
79	88.03	90.15	84.95
80	86.05	89.13	83.61
81	88.92	90.5	86.19
82	88.25	90.18	85.48
83	88.19	90.73	84.14
84	85.02	88.46	83.29
85	85.49	88.68	81.9
86	86.52	88.92	83.01
87	86.88	88.88	82.91
88	85.75	88.22	82.58
89	87.19	89.12	83.12
90	86.44	88.26	83.67
91	84.04	86.19	80.71
92	87.5	87.59	83.03
93	85.64	87.26	82.34
94	85.75	88.41	83.97
95	88.58	90.09	84.24
96	85.75	88.41	83.97

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 1		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
97	85.49	88.68	81.9
98	86.73	88.79	81.89
99	86.67	89.4	84.26
100	86.36	89.87	84.43
ค่าเฉลี่ย	87.47	89.51	84.55
ค่า SD	3.08	2.54	1.13
ค่า CV	3.52	2.84	1.34

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 2		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
101	83.17	90.23	82.9
102	81.89	89.83	81.05
103	86.14	89.87	83.13
104	86.05	90.27	84.73
105	73.93	83.07	85.21
106	84.84	90.6	84.67
107	85.25	90.42	84.46
108	83.33	89.54	82.89
109	84.75	89.72	83.99
110	83.86	89.16	83.57
111	88.4	90.22	84.08
112	85.31	89.51	84.47
113	85.67	89.41	81.88
114	86.02	89.63	83.23
115	85.45	89.8	81.71
116	83.62	89.88	80.98
117	83.39	90.07	81.26
118	83.83	89.73	82.96
119	85.85	90.21	81.95
120	87.39	90.02	82.28
121	84.29	90.09	81.68
122	85.71	90.3	81.26
123	85.44	90.08	83.69
124	86.14	89.54	82.56

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 2		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
125	85.49	90.73	82.99
126	87.25	90.48	81.14
127	84.59	90.31	83.25
128	84.98	89.75	80.99
129	83.33	90.19	82.43
130	84.69	90.21	82.53
131	85.65	89.6	83.72
132	83.48	89.98	80.85
133	84.38	89.45	83.36
134	86.07	89.7	82.01
135	85.48	90.04	81.62
136	83.24	89.03	82.12
137	82.91	90.33	81.12
138	83.04	90.1	81.14
139	87.72	90.25	82.15
140	87.45	90.18	82.5
141	83.21	90.28	82.18
142	86.55	90	82.41
143	82.82	89.49	83.23
144	86.59	89.95	80.82
145	84.81	89.65	84.51
146	83.73	90.03	81.77
147	86.18	90.35	82.52
148	85.39	89.96	83.89

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 2		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
149	84.31	89.12	81.55
150	82.63	89.78	80.72
151	86.69	90.51	82.69
152	85.05	88.98	81.25
153	83.13	90.27	81.67
154	85.78	90.26	81.84
155	85.66	90.38	82.77
156	84.38	90.64	83.9
157	81.41	88.67	80.95
158	85.16	89.98	82.66
159	83.98	89.96	83.85
160	84.16	90.58	82.46
161	84.39	89.74	83.67
162	83.81	90.48	82.69
163	83.88	89.28	82.82
164	82.13	89.87	81.7
165	83.82	90.02	83.51
166	83.33	89.66	82.76
167	83.96	89.65	83.46
168	83.19	90.52	82.93
169	85.21	89.59	83.67
170	84.28	90.46	82.31
171	84.59	90.37	83.44
172	83.93	89.88	83.38

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 2		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
173	83.55	89.38	83.05
174	85.24	89.74	83.99
175	85.45	90.22	81.35
176	81.34	90.32	81.23
177	85.25	90.69	83.06
178	85.89	90.47	82.5
179	86.32	90.1	85.07
180	84.19	90.04	82.34
181	85.1	89.92	83.11
182	83.73	89.11	83.8
183	85.1	89.52	82.83
184	86.18	90.53	82.84
185	85.77	90.41	82.25
186	92.68	94.37	81.77
187	83.25	90.66	81.44
188	86.47	90.39	82.23
189	85.04	90.41	81.92
190	85.6	90.05	83.56
191	85.49	90.68	83.06
192	84.16	90.4	81.83
193	86.73	90.14	82.89
194	86.1	90.13	81.97
195	84.03	90.79	83.41
196	85.84	90.08	83.14

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 2		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
197	85.29	90.73	84.27
198	82.8	90.65	81.44
199	84.18	90.19	84.01
200	87.27	90.3	83.48
ค่าเฉลี่ย	84.76	90.00	82.66
ค่า SD	1.94	0.93	1.07
ค่า CV	2.29	1.04	1.30

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 3		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
201	77.02	90.71	75.77
202	83.21	89.9	77.59
203	80	90.86	77.34
204	81.01	90.53	77.37
205	77.22	90.25	75.06
206	75.82	90.15	71.75
207	83.46	90.6	77.11
208	76.5	90.52	73.81
209	79.53	89.09	77.88
210	76.67	90.44	75.36
211	83.42	90.02	79.8
212	82.01	90.49	81.1
213	80.7	90.71	74.11
214	81.42	90.48	77.74
215	83.21	89.93	78.33
216	82.68	90.26	79.54
217	82.02	91.67	78.58
218	78.49	90.37	76.51
219	79.09	89.66	78.37
220	81.87	90.55	75.53
221	79.19	90.15	75.76
222	79.12	89.84	77.95
223	85.97	91.43	82.95
224	80.72	90.63	77.23

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 3		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
225	83.15	90.03	74.32
226	79.63	90.95	74.66
227	82.18	90.05	76.27
228	76.19	89.7	75.68
229	81.28	90.1	77.81
230	81.48	90.12	78.01
231	78.92	90.53	72.45
232	81.28	89.93	79.86
233	80	90.28	76.11
234	83.17	90.72	76.53
235	82.98	91.01	78.65
236	85.43	90.25	82.21
237	84.09	90.88	80.93
238	80.56	89.68	79.48
239	79.48	90.04	78.36
240	77.36	90.81	76.92
241	78.7	90.03	74.51
242	80.1	90.28	75.57
243	83.33	90.06	78.39
244	82.99	90.41	78.34
245	83.63	90.13	77.07
246	75.74	89.81	75.8
247	79.72	90.28	76.15
248	83.05	91.18	79.71

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 3		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
249	77.95	90	75.78
250	70.37	90.16	71.07
251	76.44	90.18	75.28
252	81.6	90.05	76.13
253	77.03	90.46	75.66
254	80.72	90.37	76.25
255	81.94	90.71	78.98
256	82.32	90.61	77.99
257	82.1	90.76	78.1
258	83.73	90.3	81.33
259	84.18	90.12	81.4
260	83.13	90.66	77.36
261	81.67	89.8	75.51
262	83.75	90.37	78.09
263	76	90.41	68.56
264	79.81	90.25	77.36
265	79.63	90.63	76.63
266	78.44	90.49	75.71
267	80.95	90.92	77.78
268	80.07	90.24	76.95
269	82.95	90.53	79.43
270	83.44	90.62	80.99
271	84.21	90.76	78.89
272	82.26	90.08	80.85

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 3		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
273	77.88	91.18	75.77
274	82.57	90.26	79.72
275	83.87	90.37	80.86
276	81.4	88.77	79.24
277	82.68	89.66	79.92
278	81.87	90.24	80.08
279	80.72	90.52	77.11
280	80.21	90.56	75.38
281	78.57	90.8	75.05
282	80.44	90.47	78.65
283	83.63	90.65	80.93
284	78.73	90.09	77.61
285	81.66	90.99	78.22
286	81.56	90.72	78.59
287	83.01	90.48	79.13
288	81.48	89.39	79.86
289	80.19	90.15	77.44
290	80.93	89.88	75.05
291	82.86	90.44	78.62
292	74.1	91.22	69.59
293	80.48	89.27	79.59
294	80.68	89.47	77.44
295	79.46	90.95	76.8
296	75.93	90.13	74.31

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 3		
	ขั้ว (a)	ฝัก (b)	เปลือก (c)
297	81.71	90.28	76.56
298	64.79	93.1	73.74
299	87.89	88.98	78.85
300	77.56	84.8	76.16
ค่าเฉลี่ย	80.56	90.30	77.29
ค่า SD	3.17	0.79	2.52
ค่า CV	3.94	0.87	3.26

ตารางผนวกที่ ก6 ระดับการหักของขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

ฝักที่	วันที่ 1	ฝักที่	วันที่ 2	ฝักที่	วันที่ 3
1	C	101	D	201	A
2	D	102	B	202	A
3	E	103	C	203	A
4	D	104	B	204	A
5	C	105	A	205	A
6	E	106	A	206	A
7	D	107	E	207	A
8	E	108	C	208	A
9	E	109	E	209	A
10	E	110	D	210	B
11	E	111	F	211	A
12	E	112	E	212	B
13	D	113	E	213	A
14	D	114	E	214	A
15	E	115	D	215	C
16	C	116	F	216	A
17	E	117	E	217	A
18	E	118	D	218	A
19	E	119	E	219	A
20	D	120	D	220	A
21	E	121	D	221	A
22	E	122	E	222	B
23	D	123	E	223	A
24	E	124	D	224	A
25	E	125	E	225	A

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 1	ฝักที่	วันที่ 2	ฝักที่	วันที่ 3
26	A	126	E	226	A
27	E	127	E	227	A
28	C	128	D	228	A
29	E	129	A	229	A
30	D	130	E	230	A
31	E	131	E	231	A
32	E	132	C	232	A
33	C	133	C	233	A
34	E	134	D	234	A
35	A	135	B	235	B
36	E	136	A	236	A
37	E	137	C	237	A
38	D	138	E	238	A
39	D	139	D	239	A
40	C	140	E	240	A
41	A	141	B	241	A
42	E	142	B	242	A
43	E	143	E	243	A
44	E	144	D	244	A
45	E	145	A	245	A
46	F	146	C	246	A
47	E	147	A	247	A
48	D	148	C	248	A
49	A	149	D	249	A
50	C	150	E	250	A

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 1	ฝักที่	วันที่ 2	ฝักที่	วันที่ 3
51	E	151	B	251	A
52	E	152	E	252	A
53	F	153	B	253	A
54	E	154	A	254	A
55	E	155	D	255	A
56	A	156	D	256	A
57	E	157	A	257	A
58	E	158	E	258	F
59	E	159	E	259	A
60	E	160	A	260	B
61	E	161	C	261	A
62	E	162	D	262	A
63	E	163	C	263	A
64	E	164	D	264	A
65	E	165	D	265	A
66	E	166	D	266	A
67	E	167	A	267	A
68	E	168	B	268	A
69	E	169	C	269	C
70	E	170	E	270	A
71	E	171	E	271	A
72	E	172	B	272	D
73	E	173	E	273	A
74	E	174	A	274	A
75	E	175	A	275	D

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ฝักที่	วันที่ 1	ฝักที่	วันที่ 2	ฝักที่	วันที่ 3
76	E	176	A	276	A
77	E	177	D	277	A
78	E	178	D	278	A
79	E	179	B	279	A
80	F	180	D	280	A
81	E	181	E	281	A
82	D	182	D	282	A
83	A	183	D	283	A
84	F	184	C	284	A
85	E	185	E	285	A
86	D	186	A	286	A
87	E	187	C	287	A
88	D	188	B	288	A
89	E	189	D	289	A
90	E	190	E	290	A
91	E	191	E	291	A
92	E	192	B	292	A
93	E	193	D	293	A
94	E	194	D	294	A
95	F	195	B	295	A
96	E	196	C	296	A
97	E	197	D	297	B
98	E	198	F	298	A
99	E	199	A	299	A
100	E	200	A	300	A

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

<u>หมายเหตุ</u>

A หมายถึง ไม่สามารถหักขั้วฝักได้ (0%)

B หมายถึง สามารถหักขั้วฝักได้ 1 ใน 4 ของขั้วฝัก (1 - 33%)

C หมายถึง สามารถหักขั้วฝักได้ครึ่งของขั้วฝัก (34 - 66%)

D หมายถึง สามารถหักขั้วฝักได้ 3 ใน 4 ของขั้วฝัก (67 - 99%)

E หมายถึง สามารถหักขั้วฝักได้สมบูรณ์ (100%)

F หมายถึง การหักขั้วฝักทำให้ฝักเสียหาย

ตารางผนวกที่ ก7 แรงที่ใช้ในการหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

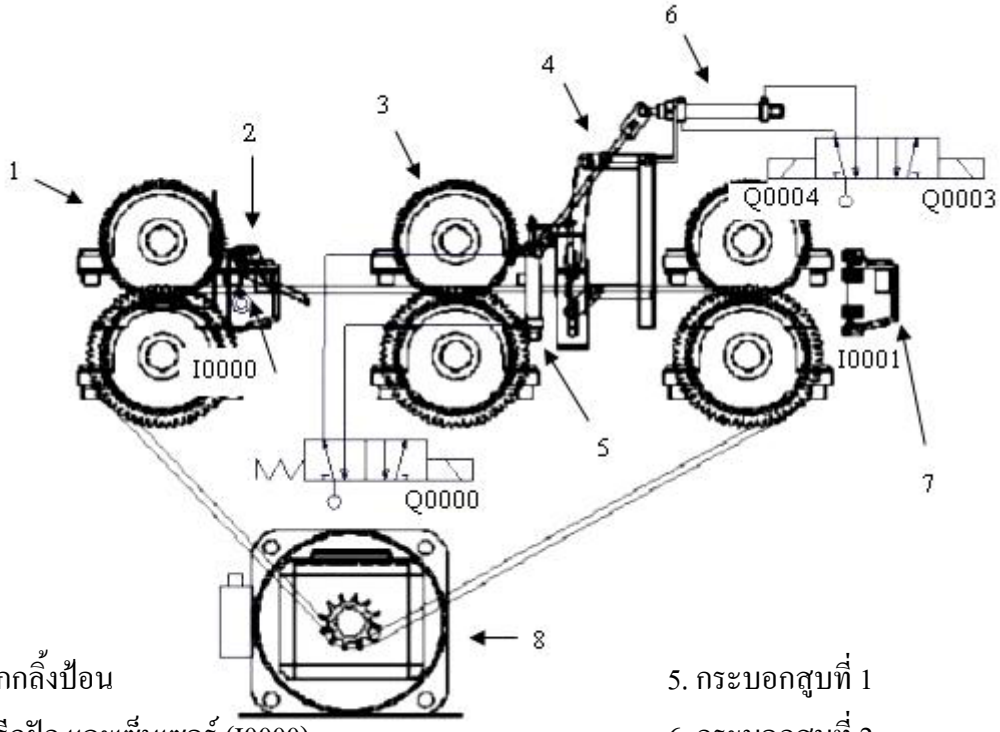
Maximum Load (N)					
ฝักที่	วันที่ 1	ฝักที่	วันที่ 2	ฝักที่	วันที่ 3
1	95.62	11	29.33	21	33.26
2	81.62	12	31.22	22	23.38
3	64.75	13	46.48	23	21.91
4	74.12	14	30.40	24	32.82
5	125.68	15	48.45	25	21.37
6	84.86	16	37.87	26	27.78
7	72.92	17	50.03	27	15.60
8	79.67	18	32.24	28	26.81
9	75.67	19	24.98	29	25.90
10	76.90	20	30.34	30	22.87
ค่าเฉลี่ย	83.18	ค่าเฉลี่ย	36.13	ค่าเฉลี่ย	25.17
ค่า SD	17.00	ค่า SD	9.01	ค่า SD	5.37
ค่า CV	20.44	ค่า CV	24.95	ค่า CV	21.32

ภาคผนวก ข

การทำงานของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน

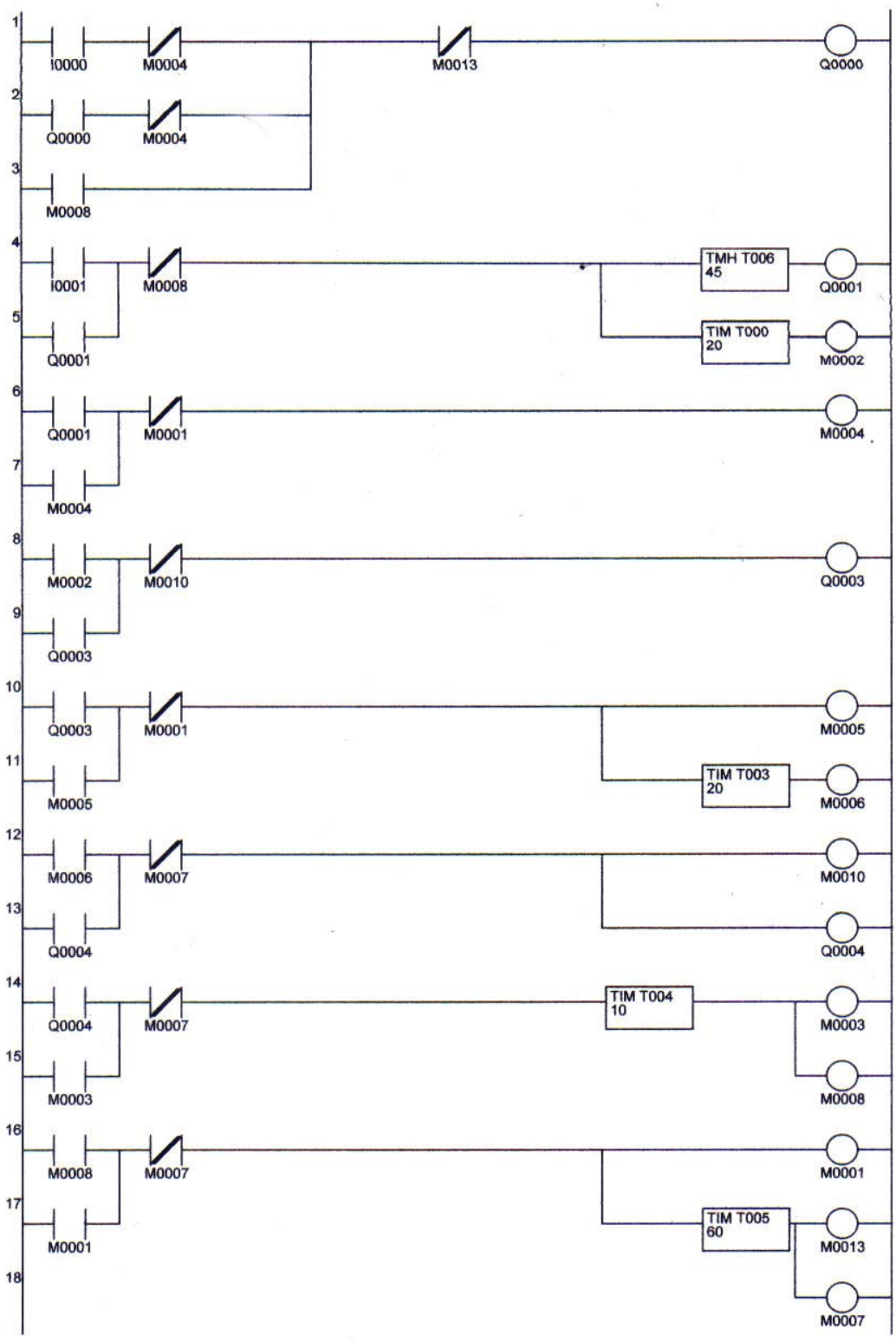
การทำงานของกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การทำงานของกลไกหัวขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่ได้ติดตั้งกับเครื่องปอกเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนแบบใช้ลูกกลิ้งโดยทำการควบคุมระบบการทำงานด้วย PLC มีดังนี้ เมื่อป้อนข้าวโพดฝักอ่อนโดยนำด้านที่มีไหมเข้าเครื่อง ชุดลูกกลิ้งป้อนจะดึงฝักเข้าสู่ชุดกรีดซึ่งจะมีเซ็นเซอร์ (I0000) จะสั่งงานกระบอกสูบที่ 1 (Q0000)โดยจะอ้ากลไกเพื่อรอรับฝักข้าวโพดฝักอ่อน ฝักข้าวโพดฝักอ่อนจะถูกดึงผ่านชุดกลไกกรีดผักโดยชุดลูกกลิ้งลำเลียงเข้าสู่กลไกหักขั้วและจะถูกดึงต่อไปด้วยชุดลูกกลิ้งดึงออก ส่วนปลายฝักข้าวโพดฝักอ่อนด้านไหมก็จะไปสัมผัสเซ็นเซอร์ (I0001) ซึ่งสั่งงานสวิทซ์ (Q0001) ให้มอเตอร์หยุดทำงานและกระบอกสูบที่ 1 หุบ ทำให้ฝักข้าวโพดไม่เคลื่อนที่และกลไกการหักขั้วจะหนีบที่ขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน จากนั้นกระบอกสูบที่ 2 ทำงาน (Q0003)โดยยืดตัวออกเพื่อทำการหักฝักข้าวโพดฝักอ่อนและดึงตัวกลับเข้าที่ (Q0004) และจะสั่งให้กระบอกสูบที่ 1 (Q0000) อ้ากลไกเพื่อปล่อยตัวฝักข้าวโพดฝักอ่อน ต่อมาจะสั่งงานสวิทซ์ (Q0001) ให้มอเตอร์ทำงาน ข้าวโพดฝักอ่อนที่หักขั้วแล้วก็จะถูกดึงด้วยชุดลูกกลิ้งดึง ดังแสดงในภาพผนวกที่ 1



1. ชุดลูกกลิ้งป้อน
2. ชุดกรีดฝัก และเซ็นเซอร์ (I0000)
3. ชุดลูกกลิ้งลำเลียง
4. ชุดกลไกหักขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อน
5. กระบอกสูบที่ 1
6. กระบอกสูบที่ 2
7. เซ็นเซอร์สวิทซ์ (I0001)
8. มอเตอร์

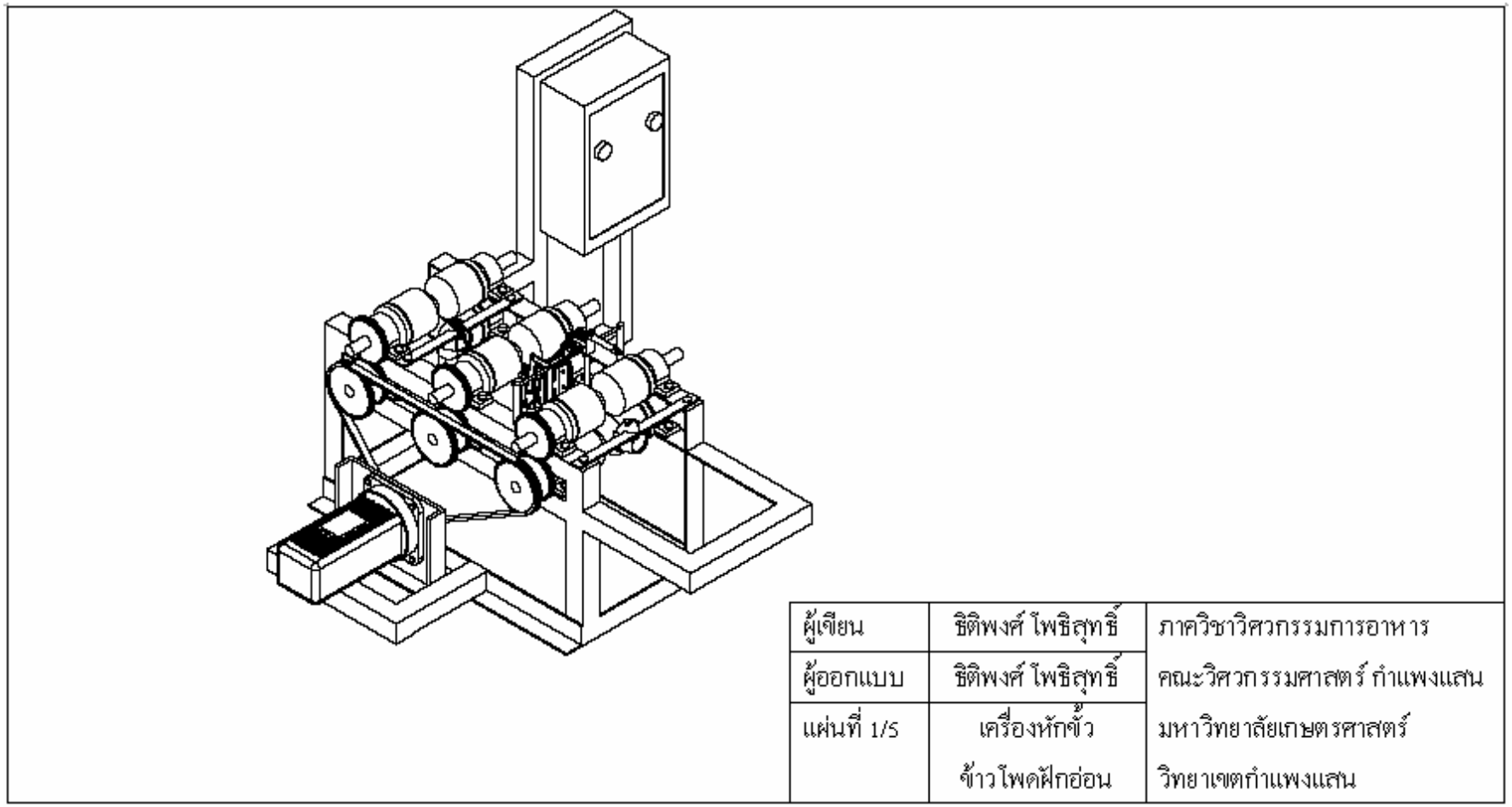
ภาพผนวกที่ 1 การทำงานของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน



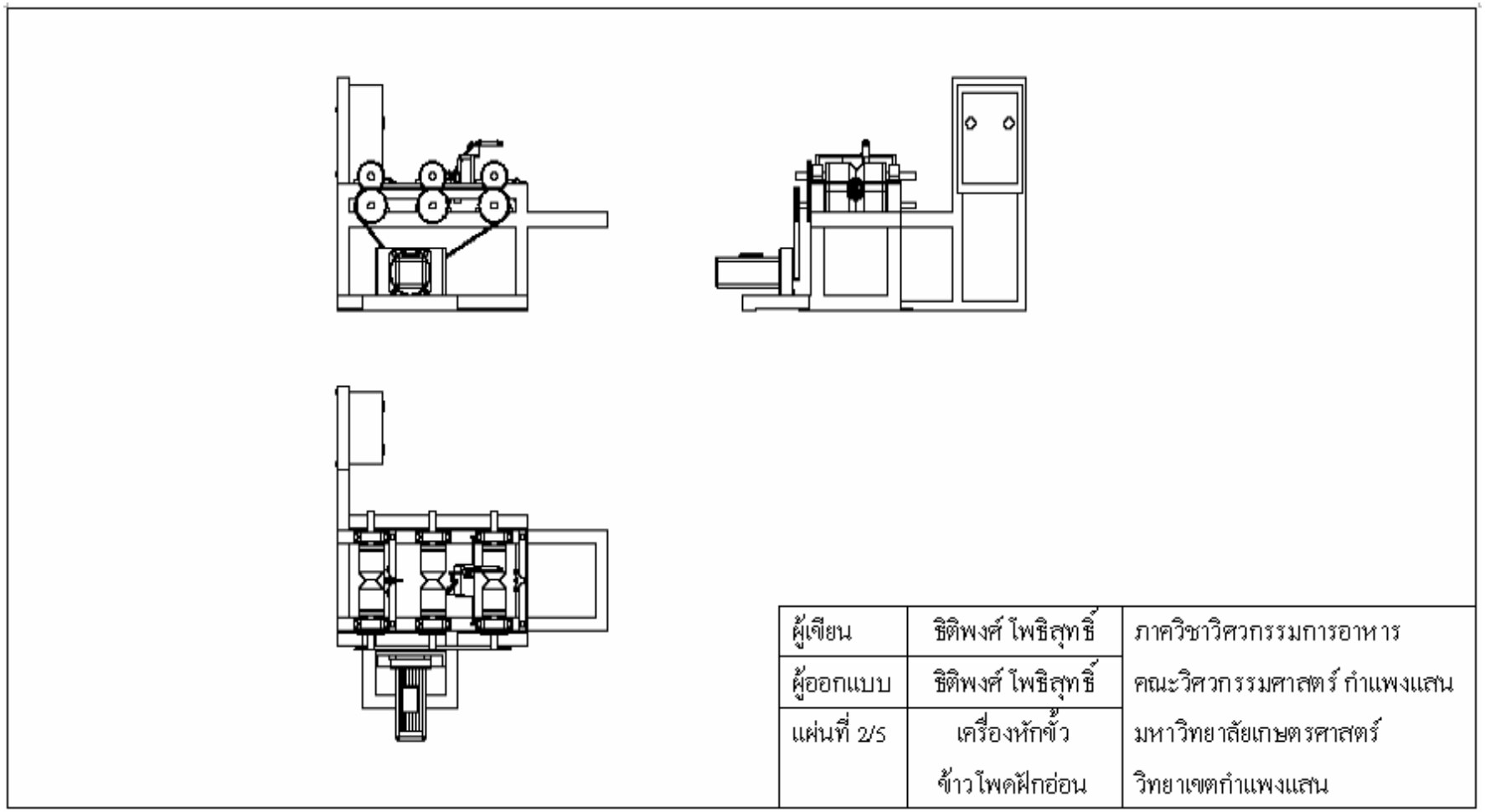
ภาพผนวกที่ 2 โปรแกรมการทำงานของ PLC (Ladder diagram)

ภาคผนวก ค

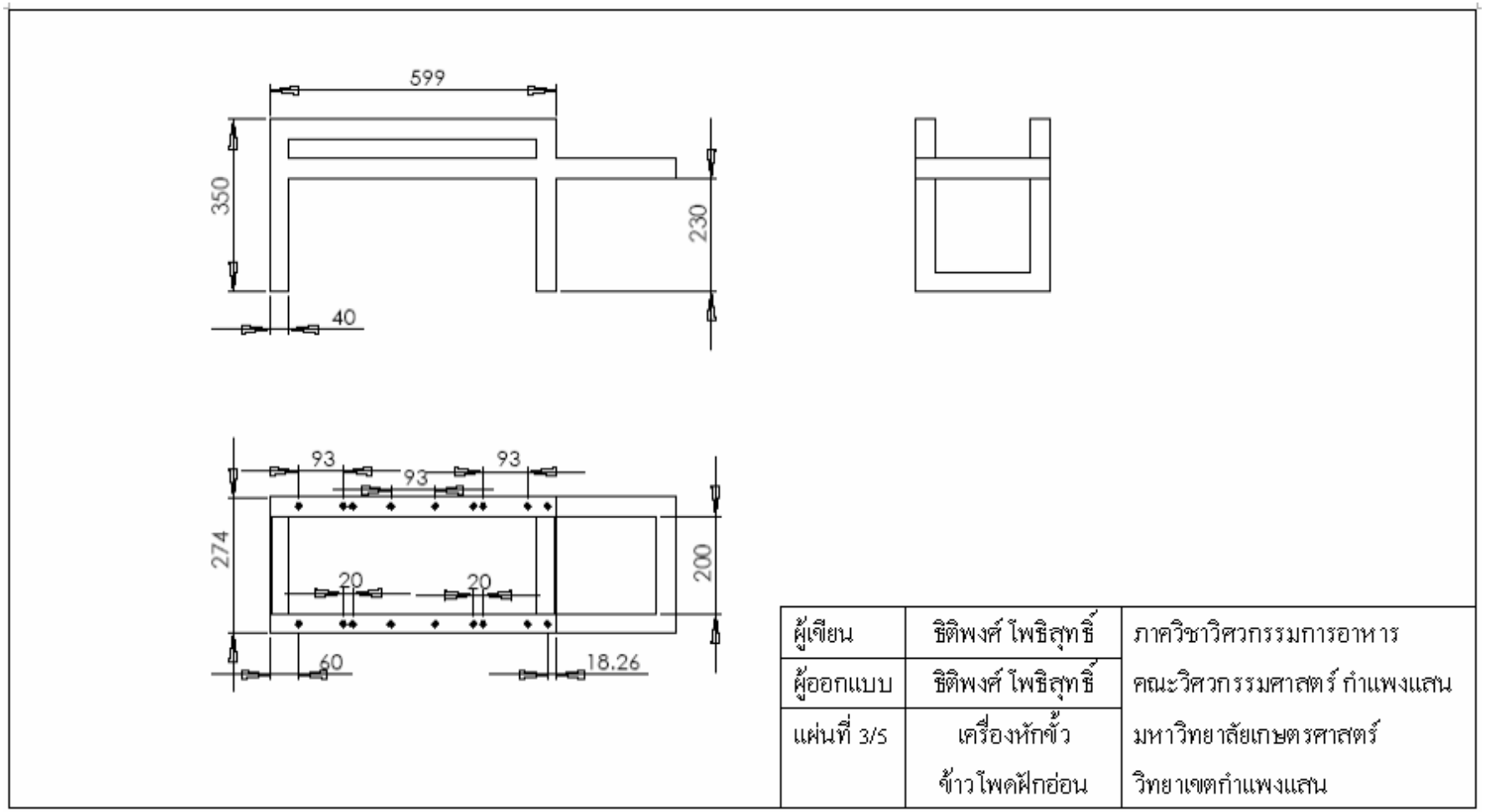
แบบของกลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน



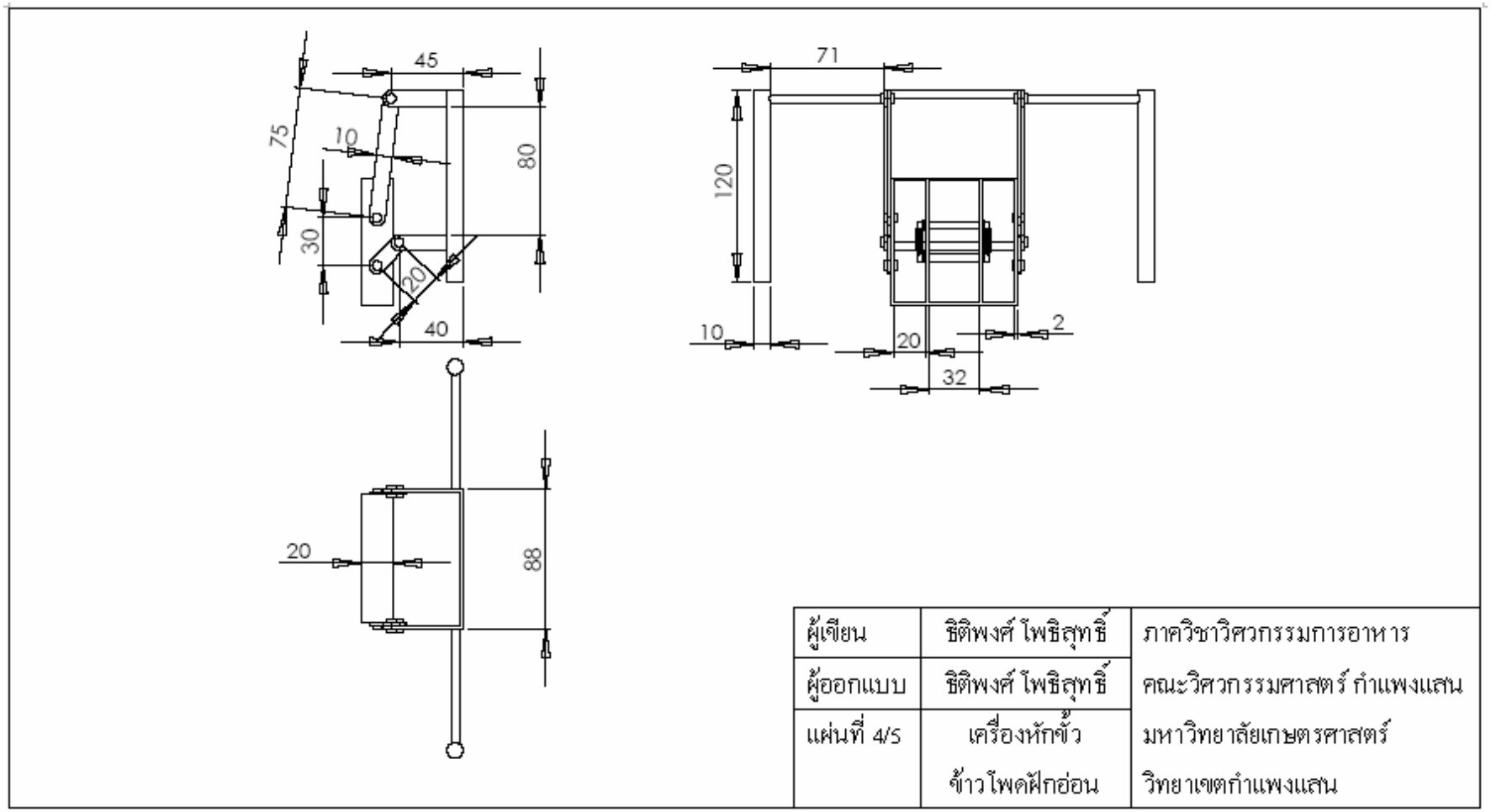
ภาพผนวกที่ 3 แบบ Isometric Assembly เครื่องหักข้าวโพดฝักอ่อน



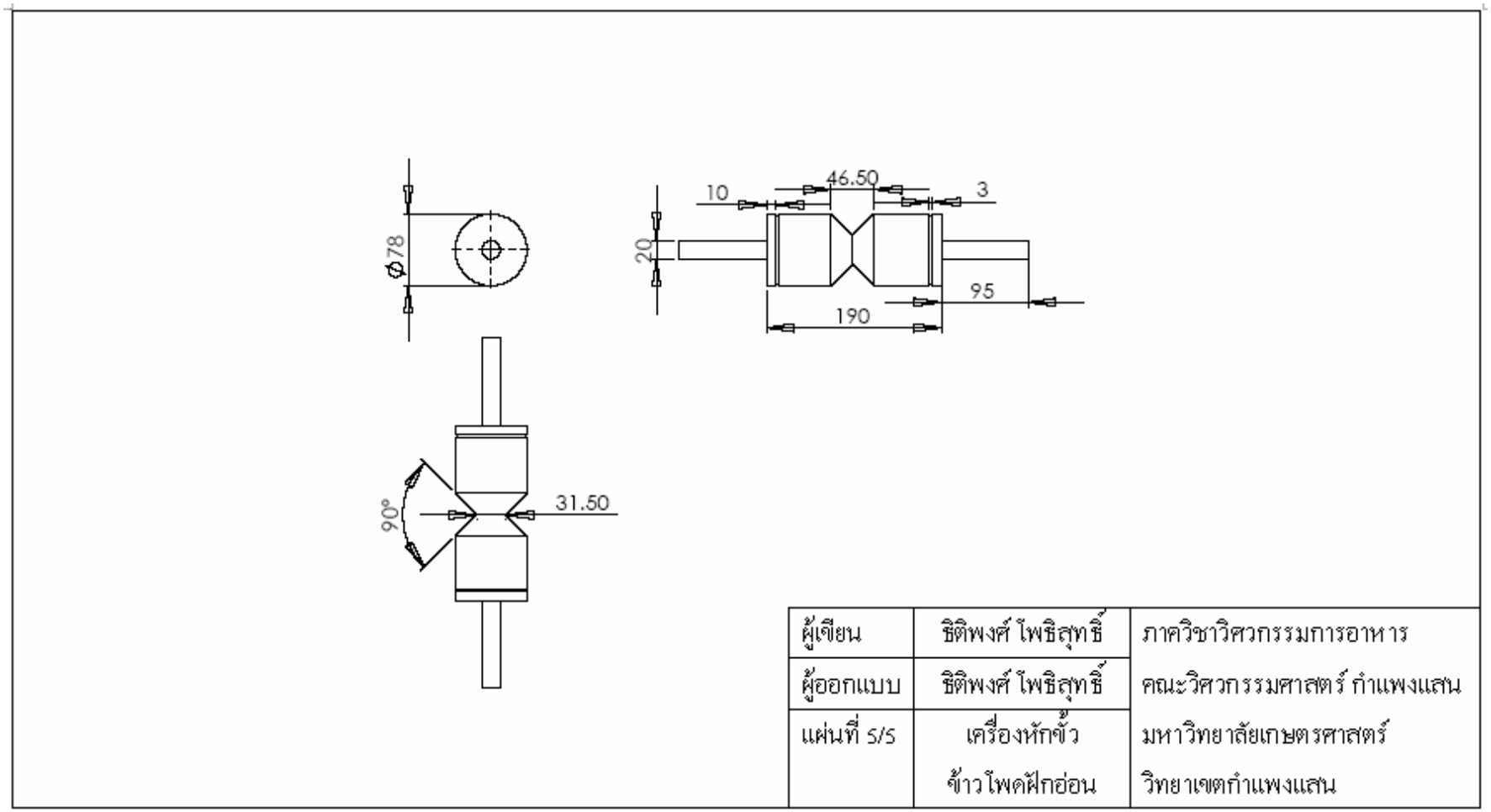
ภาพผนวกที่ 4 แบบ 3 Views standard แสดงเครื่องหักข้ัวข้าวโพดฝักอ่อน



ภาพผนวกที่ 5 แบบโครงสร้างเครื่องหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน



ภาพที่ 6 แบบ 3 Views standard กลไกหักขั้วข้าวโพดฝักอ่อน



ภาพที่ 7 แบบลูกกลิ้งลำเลียงของเครื่องหักข้ัวข้าวโพดฝักอ่อน

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์ ไค- สแควร์

ตารางผนวกที่ ง1 วิธีการวิเคราะห์ ไค- สแควร์

ความชื้นที่ขั้ว	ระดับการหักของขั้วข้าวโพดฝักอ่อน %						รวม
(%)	0	1 - 33	34 - 66	67 - 99	100	เสียหาย	
87.5	6	0	7	14	68	5	100
84.75	16	13	14	27	27	3	100
80.53	89	6	2	2	0	1	100
รวม	111	19	23	43	95	9	300

ขั้นที่ 1 ตั้ง H_0 และ H_1

H_0 : ระดับการหักของขั้วข้าวโพดฝักอ่อนกับความชื้นที่ขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : ระดับการหักของขั้วข้าวโพดฝักอ่อนกับความชื้นที่ขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนมีความสัมพันธ์กัน

ขั้นที่ 2 ตั้ง $\alpha = 0.01$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า χ^2 ได้ $\chi^2 = 232.261$

ขั้นที่ 4 หา χ^2 จากตาราง ที่ df = (3 - 1)(6 – 1) = 10

ได้ $\chi^2 = 23.209$

ขั้นที่ 5 เปรียบเทียบ χ^2 คำนวณกับ χ^2 ตาราง

χ^2 คำนวณ > χ^2 ตาราง

ขั้นที่ 6 สรุปผล

χ^2 คำนวณ > χ^2 ตาราง แสดงว่า ระดับการหักของขั้วข้าวโพดฝักอ่อนและความชื้นที่ขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 นั่นคือ ระดับการหักของขั้วข้าวโพดฝักอ่อนและความชื้นที่ขั้วฝักข้าวโพดฝักอ่อนมีความสัมพันธ์กันจริง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 มีนาคม 2524
สถานที่เกิด	สุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมการอาหาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน พ.ศ. 2546
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-