

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246767

การพัฒนาเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติแบบโรตารี่หลายหัวคั้น

ศิริวัฒน์ วงษาเทียม

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการแปรรูปผลผลิตเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2554

600251709

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



246767

การพัฒนาเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติแบบโรตารีหลายหัวคั้น

ธีรวัฒน์ วงษาเทียม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลผลิตเกษตร

ชื่อเรื่อง

การพัฒนาเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมิติแบบโรตารีหลายหัวคั้น

โดย

ฉิรวัดน์ วงษาเทียม

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สิบคำ)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์บัณฑิต หิริณุตติชัยพร)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิตกันวีจิตร)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพงษ์ วาฤทธิ์)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร ยศราช)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ 27 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

ชื่อเรื่อง การพัฒนาเครื่องคั้นน้ำส้มอัด โนมัติแบบโรตารีหลายหัวคั้น
 ชื่อผู้เขียน นายถิรวัฒน์ วงษาเทียม
 ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูป
 ผลผลิตเกษตร
 ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบคำ

บทคัดย่อ

246767

เครื่องคั้นน้ำส้มอัด โนมัติแบบโรตารีหลายหัวคั้น ออกแบบเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม และให้สามารถคั้นผลส้มได้หลายขนาด วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ เพื่อออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัด โนมัติที่พัฒนาจากเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารีและแบบจานหมุน ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและสุขอนามัย โดยชุดคั้นประกอบด้วยหลุมคั้นที่ทำจากสแตนเลสและหัวคั้นที่ทำจากซูปเปอร์รีนจำนวน 24 ชุด ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการป้อน ผ่าผลส้ม และบีบคั้น การทดสอบทำโดยการแปรค่าความเร็วรอบของชุดคั้น 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั้น 3 ระดับ คือ 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร และขนาดผลส้มสายน้ำผึ้ง 3 ขนาด คือ 45-50, 50-55 และ 55-60 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า สภาวะการทำงานที่ทำให้ความสามารถในการคั้นผลส้มสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 241.67-1090.74 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คือ ความเร็วรอบของชุดคั้น 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั้น 3 มิลลิเมตร และขนาดผลส้ม 55-60 มิลลิเมตร ความสามารถในการคั้นน้ำส้มสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 108.49-488.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คือ ความเร็วรอบของชุดคั้น 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั้น 2 มิลลิเมตร และขนาดผลส้ม 55-60 มิลลิเมตร และประสิทธิภาพการคั้นสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 91.18-97.60 คือ ความเร็วรอบของชุดคั้น 5 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั้น 2 มิลลิเมตรและขนาดผลส้ม 50-55 มิลลิเมตร

Title	Development of an Automatic Multi-Rotary Orange Juice Squeezer Machine
Author	Mr. Tirawat Wongsatiam
Degree of	Master of Engineering in Agro-Process Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Sunate Surbkar, Ph.D.

ABSTRACT

246767

In this study, an automatic multi-rotary orange juice squeezing machine was designed for use in small to medium enterprises and with various sizes of orange fruit. The objectives of this study were to design and develop an automatic orange juice squeezer from a rotary and rotating plate orange juice squeezer following appropriate engineering and hygienic design. The squeezing machine consisted of 24 pieces of superine spherical heads and stainless steel squeezing holder and powered by a 1 hp electrical motor. The squeezing performance test was done on 3 rotational speed levels: 5, 10 and 15 rpm; 3 clearances: 2, 2.5 and 3 mm; and 3 grade sizes of the King Mandarin orange: 45-50, 50-55 and 55-60 mm. Results showed that highest squeezing capacity for orange fruits in the range of 241.67-1090.74 kg/hr, was shown at 15 rpm rotational speed of the squeezing set, with 3 mm squeezing clearance and 55-60 mm diameter of orange size. The highest squeezing capacity in the range of 108.49-488.33 kg of orange juice/hr was at 15 rpm rotational speed of the squeezing set with 2 mm squeezing clearance and 55-60 mm diameter of orange size while highest squeezing efficiency in the range of 91.18%-97.60% was at 5 rpm rotational speed of the squeezing set with 2 mm squeezing clearance and 50-55 mm diameter of orange size.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบคำ และรองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการให้คำปรึกษาในการวางแผนการทดลอง ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขจนกระทั่งได้วิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์บัณฑิต หิรัญสถิตพร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิตส์นวิจิตร กรรมการที่ปรึกษา ที่คอยให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นต่าง ๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ อีกทั้งกรุณาตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสมบูรณ์ครบถ้วน เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระ ฟ้าเพ็ญวิทยากุล ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคอยให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นต่าง ๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ อีกทั้งกรุณาตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสมบูรณ์ครบถ้วน เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ทุกท่าน ตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือให้การศึกษาลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประหัดและคุณแม่ณิชาภัทร วงษาเทียม รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคนที่อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางในการดำเนินชีวิต ตลอดจนให้การสนับสนุนอุปการะเลี้ยงดูข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ถิรวัฒน์ วงษาเทียม

กันยายน 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(11)
สารบัญตารางผนวก	(13)
สารบัญภาพผนวก	(15)
คำอธิบายอักษรย่อและสัญลักษณ์	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ส้ม	3
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับส้ม	3
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	3
การจำแนกพันธุ์ส้ม	5
พื้นที่ปลูกและปริมาณการผลิต	5
การสกัดน้ำผลไม้	6
การสกัดน้ำผลไม้แบบคั้นสด	6
การสกัดน้ำผลไม้แบบต้มแล้วบีบคั้น	7
การคั้นน้ำส้ม	7
การคั้นน้ำส้มโดยใช้แรงงานคน	7
การคั้นน้ำส้มโดยการใช้เครื่องจักรกล	8
สแตนเลส	11

	หน้า
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสแตนเลส	11
การนำสแตนเลสไปใช้งาน	12
การแบ่งเกรดสแตนเลส	12
การเลือกใช้นาตามอเตอร์	14
การออกแบบล้อสายพาน	15
การออกแบบเพลลา	15
การเลือกใช้เบร้งลูกกึ่งกลม	16
การออกแบบโซ่ขับเคลื่อน	19
การวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตด้วย โปรแกรม COSMOSWorks™	19
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ โปรแกรม COSMOSWorks™	19
การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์	21
การสร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์	22
การคำนวณผล	23
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์	23
ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ	25
ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการคำนวณของ โปรแกรม COSMOSWorks™	25
การตกกระทบด้วยหลักการเพนดูลัม	30
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
สรุปกรอบแนวความคิดในการทำงานวิจัย	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	35
วัสดุอุปกรณ์	35
วัสดุดิบ	35
เครื่องมือ	35
อุปกรณ์	35
สารเคมี	36
วิธีดำเนินการวิจัย	36
การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลส้ม	36
การออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบ	38
การทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติ	40

	หน้า
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	41
การหาปริมาณสารนารินจินในน้ำส้ม	41
การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์	42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	44
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของส้ม	44
ผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับการบีบคั้นผลส้ม	44
ผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับการผ่าผลส้ม	47
ผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดคั้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	49
ผลการวิเคราะห์ก้านหัวคั้น	50
ผลการวิเคราะห์หัวคั้น	53
ผลการวิเคราะห์ชุดคั้นส่วนบน	56
ผลการออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบ	59
ผลการออกแบบโครงสร้างเครื่อง	59
ผลการออกแบบระบบส่งกำลัง	60
ผลการออกแบบระบบการลำเลียง	61
ผลการออกแบบระบบการคั้น	61
ผลการออกแบบระบบผ่าผลส้ม	63
ผลการออกแบบถาดรองรับน้ำส้มและการคัดแยกเปลือกส้ม	63
ผลการทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ	64
การหาปริมาณสารนารินจินจากน้ำส้มที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ	70
ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	71
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผลส้ม	81
ภาคผนวก ข การคำนวณเพื่อการออกแบบ	93
ภาคผนวก ค ภาพถ่ายและภาพเขียนแบบเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ	102
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ	107
ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัย	122

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ปัจจัยการรับแรงในทิศทางตามแนวรัศมีเทียบเท่า	17
2	ขนาดและความสามารถในการรับแรงพื้นฐานของเบร้งลูกกลิ้ง	18
3	ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของส้ม	40
4	ผลการเปรียบเทียบขนาดผลส้มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัด	44
5	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดกดอัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัด	46
6	ระยะห่างชุดกดอัดที่มีผลผลการเปรียบเทียบต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัด	46
7	ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัด	47
8	ผลการเปรียบเทียบความเร็วโบริดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม	48
9	ผลการเปรียบเทียบขนาดผลส้มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม	48
10	ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม	49
11	รายละเอียดการวิเคราะห์ก้านหัวคั้น	50
12	รายละเอียดการวิเคราะห์หัวคั้น	53
13	รายละเอียดการวิเคราะห์ชุดคั้นส่วนบน	56
14	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 2	64
15	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 3	65
16	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 4	65
17	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 2	66
18	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 3	66

ตาราง		หน้า
19	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 4	67
20	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้น (เปอร์เซ็นต์) ของผลส้มเบอร์ 2	68
21	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้น (เปอร์เซ็นต์) ของผลส้มเบอร์ 3	68
22	ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้น (เปอร์เซ็นต์) ของผลส้มเบอร์ 4	69
23	ค่าความสามารถในการคั้นผลส้ม ความสามารถในการคั้นน้ำส้มและประสิทธิภาพการคั้นที่ระยะห่างชุดคั่น 2 มิลลิเมตรและความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที	69

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ภาพตัดขวางของผลส้ม	4
2 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบลูกสูบ	7
3 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบคั้น โยก	8
4 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบหมุนคว้าน	8
5 หลักการทำงานของ Cake press extractor และ Continuous roller press extractor	9
6 หลักการทำงานของ Rotary juice press ในการสกัดน้ำผลไม้ตระกูลส้ม	9
7 ชุดย่อยเนื้อผลไม้แบบตีปั่นด้วยใบพัดตีหมุน	10
8 เครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบเกลียวอัด	10
9 การเกิดฟิล์มปกป้อง	11
10 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเบร็งลูกกลิ้ง	16
11 ขั้นตอนการคำนวณ	20
12 โมเดลเอลิเมนต์	22
13 ชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์	22
14 การแสดงผลลัพธ์ค่าความเค้น (stresses) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	24
15 การแสดงผลลัพธ์ระยะการเคลื่อนตัว (displacement) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	24
16 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ	25
17 วงกลมโมห์วิเคราะห์ความเค้น 3 มิติ	26
18 ระนาบ Octahedral	26
19 ส่วนประกอบความเค้นในแต่ละระนาบ	29
20 การตกกระทบด้วยหลักการเพนคูล์ม	30
21 แผนผังการดำเนินงาน	37
22 ตำแหน่งทดสอบหาแรงเฉือน	38
23 เครื่องคั้นน้ำส้มคั้นแบบ	38
24 ชุดคั้น	38
25 ระบบส่งกำลัง	39
26 ระบบลำเลียงผลส้ม	39
27 การทดสอบหาค่าแรงกดอัด	45

ภาพ	หน้า	
28	ชุดหัวค้อนและหลุมค้อนที่ใช้ทดสอบ	45
29	การทดสอบหาค่าแรงที่ใช้ผ่าผลส้มด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก	47
30	ชิ้นส่วนของชุดค้อนน้ำส้ม	48
31	แผนภาพสี่ค่า von mises stress ก้านหัวค้อน	51
32	แผนภาพสี่ค่า factor of safety distribution ก้านหัวค้อน	51
33	แผนภาพสี่ค่า Resultant displacement ก้านหัวค้อน	52
34	แผนภาพสี่ค่า Equivalent strain ก้านหัวค้อน	52
35	แผนภาพสี่ค่า von mises stress หัวค้อน	54
36	แผนภาพสี่ค่า factor of safety distribution หัวค้อน	54
37	แผนภาพสี่ค่า resultant displacement หัวค้อน	55
38	แผนภาพสี่ค่า equivalent strain หัวค้อน	55
39	แผนภาพสี่ค่า von mises stress ชุดค้อนส่วนบน	57
40	แผนภาพสี่ค่า factor of safety distribution ชุดค้อนส่วนบน	57
41	แผนภาพสี่ค่า resultant displacement ชุดค้อนส่วนบน	58
42	แผนภาพสี่ค่า equivalent strain ชุดค้อนส่วนบน	58
43	โครงสร้างของเครื่องค้อนน้ำส้ม	60
44	ชุดระบบส่งกำลัง	60
45	อุปกรณ์ลำเลียงผลส้ม	61
46	ชุดค้อนน้ำส้มส่วนบน	62
47	ชุดค้อนน้ำส้ม	62
48	ใบมีดและแผ่นประคองและจุดติดตั้งใบมีด (ขวา)	63
49	ถาดรองรับน้ำส้มและตะแกรงคัดแยกเปลือกส้ม (ขวา)	63
50	การเปรียบเทียบปริมาณสารนารินจินจากการค้อนน้ำส้มด้วยเครื่องค้อนน้ำส้มต้นแบบ เครื่องค้อนน้ำส้มแบบ โรตารี เครื่องค้อนน้ำส้มแบบจานหมุน และการค้อนน้ำส้มด้วยมือ	70
51	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายและปริมาณการใช้งาน	72
52	ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบแทนปริมาณการใช้งานและระยะเวลาคืนทุน	73
53	จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องค้อนน้ำส้มต้นแบบมาทำการค้อนน้ำส้มจำหน่าย	74

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของสั้มเบอร์ 2	82
2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของสั้มเบอร์ 3	84
3	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของสั้มเบอร์ 4	86
4	ผลการทดสอบหาค่าแรงกดอัด	88
5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดผลสั้มที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคั้่น และแรงกดอัด	89
6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนระยะห่างของชุดกดอัดมีผลต่อประสิทธิภาพ การคั้่นและแรงกดอัด	90
7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนตำแหน่งการวัดมีผลต่อประสิทธิภาพการคั้่น และแรงกดอัด	90
8	ผลการทดสอบหาค่าแรงที่ใช้ผ่าผลสั้ม	91
9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเร็วใบมีดที่มีผลต่อแรงที่ใช้ผ่าผลสั้ม	92
10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดผลสั้มที่มีผลต่อแรงที่ใช้ผ่าผลสั้ม	92
11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อแรงที่ใช้ผ่าผลสั้ม	92
12	คุณสมบัติของสแตนเลสเกรด 304 (AISI 304)	101
13	คุณสมบัติของ PE High Density	101
14	ผลการทดสอบน้ำหนักผลสั้ม	108
15	ผลการทดสอบน้ำหนักน้ำสั้ม	109
16	ผลการทดสอบน้ำหนักน้ำสั้มที่ค้างอยู่ในเปลือก	110
17	ผลการทดสอบน้ำหนักเปลือกและเมล็ด	111
18	ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการคั้่น	112
19	ผลการทดสอบความสามารถในการคั้่นผลสั้ม	113
20	ผลการทดสอบความสามารถในการคั้่นน้ำสั้ม	114
21	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการคั้่น	115
22	ผลการทดสอบเครื่องคั้่นน้ำสั้มต้นแบบ	116
23	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้่นผลสั้มเบอร์ 2	117
24	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้่นผลสั้มเบอร์ 3	117

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นผลส้มเบอร์ 4	118
26	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นน้ำส้มผลส้มเบอร์ 2	118
27	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นน้ำส้มผลส้มเบอร์ 3	118
28	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นน้ำส้มผลส้มเบอร์ 4	119
29	การวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการคั้นผลส้มเบอร์ 2	119
30	การวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการคั้นผลส้มเบอร์ 3	119
31	การวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการคั้นผลส้มเบอร์ 4	120
32	การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารนารินจินจากเครื่องคั้นน้ำส้ม แบบต่าง ๆ	120
33	ผลการทดสอบการหาปริมาณสารนารินจินจากเครื่องคั้นน้ำส้มแบบต่าง ๆ	120

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก		หน้า
1	แรงที่กระทำบนเพลลาขับเคลื่อนส่วนล่าง	96
2	ลักษณะของแรงที่กระทำกับเพลลาขับเคลื่อนในระนาบ x-y, SFD และ BMD	97
3	แรงที่กระทำบนเพลลาขับเคลื่อนส่วนบน	99
4	ลักษณะของแรงที่กระทำกับเพลลาขับเคลื่อนในระนาบ x-y, SFD และ BMD	100
5	เครื่องคั่นน้ำส้มต้นแบบ	103
6	การลำเลียงผลส้มเข้าสู่ชุดคั่นน้ำส้ม	103
7	การคัดแยกเปลือกออกจากน้ำส้ม	104
8	ลักษณะเปลือกส้มหลังจากคั่นเอาน้ำส้มออก	104

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ลาติน

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี	วัน
c	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟือง	มิลลิเมตร
Cap	ความสามารถในการทำงาน	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
CR	ค่าจ้างในการคั้นน้ำส้มต่อกิโลกรัม	บาท
d	เส้นผ่านศูนย์กลางสายพานตัวเล็ก	มิลลิเมตร
d_s	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา	มิลลิเมตร
D	ค่าเสื่อมราคา	บาทต่อปี
D	เส้นผ่านศูนย์กลางสายพานตัวใหญ่	มิลลิเมตร
e	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า	บาทต่อหน่วย
E	ค่าพลังงานไฟฟ้า	บาทต่อวัน
E_c	พลังงานศักย์สะสมที่ใช้ในการตัด	จูลย์
E_f	พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและ ความต้านทานของอากาศ	จูลย์
E_0	พลังงานตกกระดอน	จูลย์
E_s	พลังงานศักย์สะสมของเพนดูลัม	จูลย์
F	แรงที่กระทำต่อวัสดุ	นิวตัน
F_a	แรงที่กระทำกับเฟืองในแนวราบ	นิวตัน
F_r	แรงที่กระทำกับเฟืองในแนวรัศมี	นิวตัน
F_1	แรงดึงในสายพานแรงดึง	นิวตัน
F_2	แรงดึงในสายพานหย่อน	นิวตัน
FC	ค่าใช้จ่ายคงที่	บาทต่อปี
h	ชั่วโมงการทำงาน	ชั่วโมงต่อวัน
I	ค่าดอกเบี้ย	เปอร์เซ็นต์ต่อปี
I	โมเมนต์เฉื่อยของมวลรอบจุดหมุน	กิโลกรัม-เมตร ²

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
K_c	ค่าคงที่ความหนาแน่นของความเค้น	ไร้หน่วย
L	ค่าแรงงาน	บาทต่อคนต่อวัน
L	ความยาวสายพาน	มิลลิเมตร
L_D	อายุการใช้งานของแบร์ริง	ชั่วโมง
L_p	ความยาวพิทช์ของสายพาน	มิลลิเมตร
L_R	อายุการใช้งานอ้างอิงจากเค็ตตาลีออค	ชั่วโมง
m	มวลของแขนเพนคูล์ม	กิโลกรัม
M	โมเมนต์ดัด	นิวตัน-เมตร
n	ความเร็วรอบของล้อสายพานตัวเล็ก	รอบต่อนาที
n_D	ความเร็วรอบในการออกแบบ	รอบต่อนาที
n_R	ความเร็วรอบอ้างอิงจากเค็ตตาลีออค	รอบต่อนาที
n_s	ค่าความปลอดภัย	ไร้หน่วย
N	แรงกด	นิวตัน
N	ความเร็วรอบของล้อสายพานตัวใหญ่	รอบต่อนาที
P	ราคาคืนทุนของเครื่อง	บาท
P	กำลัง	วัตต์
PBP	ระยะเวลาคืนทุน	ปี
R	ระยะจากจุดหมุนของแขนเพนคูล์มถึงจุดศูนย์ถ่วงมวล	เมตร
$R\&M$	ค่าซ่อมบำรุง	บาทต่อวัน
S	มูลค่าซาก	บาท
S_{all}	ความเค้นของแต่ละวัสดุ	เมกะปาสกาล
S_c	ความเค้นอัด	เมกะปาสกาล
S_c	ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ได้รับแรงซ้ำ ๆ กัน	เมกะปาสกาล
S_u	ความเค้นประลัย	เมกะปาสกาล
S_y	ความต้านทานแรงดึงคราก	เมกะปาสกาล
T	แรงบิด	นิวตัน-เมตร
TC	ค่าใช้จ่ายรวม	บาทต่อปี
V	ความเร็วเชิงเส้นของแขนเพนคูล์ม ณ จุดศูนย์ถ่วง	เมตรต่อวินาที

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
V_c	ความเร็วของใบมีดตัด	เมตรต่อวินาที
VC	ค่าใช้จ่ายแปรผัน	บาทต่อปี
Y	อายุการใช้งานของเครื่อง	ปี

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์กรีก โรมัน

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
σ	ความเค้น	นิวตันต่อตารางเมตร
σ_{act}	ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง	นิวตันต่อตารางเมตร
σ_{ave}	ความเค้นเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง	นิวตันต่อตารางเมตร
$\sigma_{vonmises}$	ความเค้นพอนมิสเชส	นิวตันต่อตารางเมตร
ω	ความเร็วเชิงมุมของแขนเพนคูลัม ณ จุดศูนย์กลาง	เรเดียนต่อวินาที
τ	ความเค้นเฉือน	นิวตันต่อตารางเมตร
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด	นิวตันต่อตารางเมตร