

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระดับการประเมินคุณภาพ

☐ ดีเยี่ยม

☒ ดีมาก

☐ ดี

☐ ปานกลาง





การพัฒนาเครื่องคั่นน้ำส้มอัตโนมัติแบบโรตารีหลายหัวคั่น

ฉัตรวัฒน์ วงษาเทียม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลผลิตเกษตร

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร

ชื่อเรื่อง

การพัฒนาเครื่องคั้นน้ำส้มฉัตโนมิติแบบโรตารีหอยหัวคัน

โดย

ฉิรวัฒน์ วงษาเทียม

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบคำ)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์บัณฑิต หิรัญตฤณ)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์สมอขวัญ คันทิกุล)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิกิตน์วิจิตร)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพงศ์ วาฤทธิ)

วันที่ 26 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร ยศราช)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ 27 เดือน กันยายน พ.ศ. 2554

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาเครื่องคั่นน้ำส้มอัด โนมัตแบบโรตารีหลายหัวคั่น
ชื่อผู้เขียน	นายถิรวัฒน์ วงษาเทียม
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูป ผลผลิตเกษตร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบคำ

บทคัดย่อ

เครื่องคั่นน้ำส้มอัด โนมัตแบบโรตารีหลายหัวคั่น ออกแบบเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม และให้สามารถคั่นผลส้มได้หลายขนาด วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ เพื่อกออกแบบเครื่องคั่นน้ำส้มอัด โนมัตที่พัฒนาจากเครื่องคั่นน้ำส้มแบบโรตารีและแบบจานหมุน ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและสุขอนามัย โดยชุดคั่นประกอบด้วยหลุมคั่นที่ทำจากสแตนเลสและหัวคั่นที่ทำจากซูเปอร์รีนจำนวน 24 ชุด ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการป้อน ผ่านผลส้ม และบีบคั้น การทดสอบทำโดยการแปรค่าความเร็วรอบของชุดคั่น 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั่น 3 ระดับ คือ 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร และขนาดผลส้มสายน้ำผึ้ง 3 ขนาด คือ 45-50, 50-55 และ 55-60 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า สภาพการทำงานที่ทำให้ความสามารถในการคั่นผลส้มสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 241.67-1090.74 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คือ ความเร็วรอบของชุดคั่น 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั่น 3 มิลลิเมตร และขนาดผลส้ม 55-60 มิลลิเมตร ความสามารถในการคั่นน้ำส้มสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 108.49-488.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คือ ความเร็วรอบของชุดคั่น 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั่น 2 มิลลิเมตร และขนาดผลส้ม 55-60 มิลลิเมตร และประสิทธิภาพการคั่นสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 91.18-97.60 คือ ความเร็วรอบของชุดคั่น 5 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั่น 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

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 คันทิภูท ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการศึกษาดังแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการให้คำปรึกษาในการวางแผนการทดลอง ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขจนกระทั่งได้วิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์เล่มนี้

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

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ ฟ้าเพื่องวิทยากุล ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคอยให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นต่าง ๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ อีกทั้งกรุณาตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสมบูรณ์ครบถ้วน เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ทุกท่าน ตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือให้การศึกษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประยัดและคุณแม่ณิชาภัทร วงษาเทียม รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคนที่อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางในการดำเนินชีวิต ตลอดจนให้การสนับสนุนอุปการะเลี้ยงดูข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ธีรวัฒน์ 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
การคั้นน้ำส้มโดยใช้เครื่องจักรกล	8
สแตนเลส	11

	หน้า
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสแตนเลส	11
การนำสแตนเลสไปใช้งาน	12
การแบ่งเกรดสแตนเลส	12
การเลือกใช้นาคอมอเตอร์	14
การออกแบบล้อสายพาน	15
การออกแบบเพลลา	15
การเลือกใช้เบร้งลูกกลิ้งกลม	16
การออกแบบโซ่ขับเคลื่อน	19
การวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตด้วยโปรแกรม COSMOSWorks™	19
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโปรแกรม COSMOSWorks™	19
การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์	21
การสร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์	22
การคำนวณผล	23
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์	23
ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ	25
ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการคำนวณของโปรแกรม COSMOSWorks™	25
การตกกระทบด้วยหลักการเพนดูลัม	30
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
สรุปกรอบแนวความคิดในการทำงานวิจัย	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	35
วัสดุอุปกรณ์	35
วัตถุดิบ	35
เครื่องมือ	35
อุปกรณ์	35
สารเคมี	36
วิธีดำเนินการวิจัย	36
การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลส้ม	36
การออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัด โนมัตตันแบบ	38
การทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัด โนมัต	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 ขนาดและความสามารถในการรับแรงพื้นฐานของเบริงลูกกลิ้ง	18
3 ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของสั้ม	40
4 ผลการเปรียบเทียบขนาดผลสั้มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั่นและแรงกดอัด	44
5 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดกดอัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั่นและแรงกดอัด	46
6 ระยะห่างชุดกดอัดที่มีผลผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั่นและแรงกดอัด	46
7 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั่นและแรงกดอัด	47
8 ผลการเปรียบเทียบความเร็วใบมีดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลสั้ม	48
9 ผลการเปรียบเทียบขนาดผลสั้มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลสั้ม	48
10 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลสั้ม	49
11 รายละเอียดการวิเคราะห์ก้านหัวคั่น	50
12 รายละเอียดการวิเคราะห์หัวคั่น	53
13 รายละเอียดการวิเคราะห์ชุดคั่นส่วนบน	56
14 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั่นผลสั้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลสั้มเบอร์ 2	64
15 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั่นผลสั้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลสั้มเบอร์ 3	65
16 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั่นผลสั้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลสั้มเบอร์ 4	65
17 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั่นน้ำสั้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลสั้มเบอร์ 2	66
18 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั่นน้ำสั้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลสั้มเบอร์ 3	66

ตาราง	หน้า
19 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ความสามารถในการคั่นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 4	67
20 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพการคั่น (เปอร์เซ็นต์) ของผลส้มเบอร์ 2	68
21 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพการคั่น (เปอร์เซ็นต์) ของผลส้มเบอร์ 3	68
22 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพการคั่น (เปอร์เซ็นต์) ของผลส้มเบอร์ 4	69
23 ค่าความสามารถในการคั่นผลส้ม ความสามารถในการคั่นน้ำส้มและ ประสิทธิภาพการคั่นที่ระยะห่างชุดคั่น 2 มิลลิเมตรและความเร็วรอบ 10 รอบต่อ นาที	69

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ภาพตัดขวางของผลส้ม	4
2 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบลูกสูบ	7
3 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบคันโยก	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 ของเบร้งลูกกลิ้ง	16
11 ขั้นตอนการคำนวณ	20
12 โมเดลเอลิเมนต์	22
13 ชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์	22
14 การแสดงผลพัธค่าความเค้น (stresses) ที่เกิดขึ้นกับ โครงสร้าง	24
15 การแสดงผลพัธระยะการเคลื่อนตัว (displacement) ที่เกิดขึ้นกับ โครงสร้าง	24
16 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ	25
17 วงกลมโมห์วิเคราะห์ความเค้น 3 มิติ	26
18 ระบาย Octahedral	26
19 ส่วนประกอบความเค้นในแต่ละระบาย	29
20 การตกกระทบด้วยหลักการเพนดูลัม	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 ชุดหัวคั่นและหมุดคั่นที่ใช้ทดสอบ	45
29 การทดสอบหาค่าแรงที่ใช้ผ่าผลส้มด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก	47
30 ชิ้นส่วนของชุดคั่นน้ำส้ม	48
31 แผนภาพสีค่า von mises stress ก้านหัวคั่น	51
32 แผนภาพสีค่า factor of safety distribution ก้านหัวคั่น	51
33 แผนภาพสีค่า Resultant displacement ก้านหัวคั่น	52
34 แผนภาพสีค่า Equivalent strain ก้านหัวคั่น	52
35 แผนภาพสีค่า von mises stress หัวคั่น	54
36 แผนภาพสีค่า factor of safety distribution หัวคั่น	54
37 แผนภาพสีค่า resultant displacement หัวคั่น	55
38 แผนภาพสีค่า equivalent strain หัวคั่น	55
39 แผนภาพสีค่า von mises stress ชุดคั่นส่วนบน	57
40 แผนภาพสีค่า factor of safety distribution ชุดคั่นส่วนบน	57
41 แผนภาพสีค่า resultant displacement ชุดคั่นส่วนบน	58
42 แผนภาพสีค่า equivalent strain ชุดคั่นส่วนบน	58
43 โครงสร้างของเครื่องคั่นน้ำส้ม	60
44 ชุดระบบส่งกำลัง	60
45 อุปกรณ์ลำเลียงผลส้ม	61
46 ชุดคั่นน้ำส้มส่วนบน	62
47 ชุดคั่นน้ำส้ม	62
48 ใบมีดและแผ่นประคองและจุดติดตั้งใบมีด (ขวา)	63
49 ถาดรองรับน้ำส้มและตะแกรงคัดแยกเปลือกส้ม (ขวา)	63
50 การเปรียบเทียบปริมาณสารนารินจินจากการคั่นน้ำส้มด้วยเครื่องคั่นน้ำส้มต้นแบบ เครื่องคั่นน้ำส้มแบบโรตารี เครื่องคั่นน้ำส้มแบบจานหมุน และการคั่นน้ำส้มด้วยมือ	70
51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายและปริมาณการใช้งาน	72
52 ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบแทนปริมาณการใช้งานและระยะเวลาคืนทุน	73
53 จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องคั่นน้ำส้มต้นแบบมาทำการคั่นน้ำส้มจำหน่าย	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	การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดผลสั้มที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคั้น และแรงกดอัด	89
6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนระยะห่างของชุดกดอัดมีผลต่อประสิทธิภาพ การคั้นและแรงกดอัด	90
7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนตำแหน่งการวัดมีผลต่อประสิทธิภาพการคั้น 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	ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการคั้น	112
19	ผลการทดสอบความสามารถในการคั้นผลสั้ม	113
20	ผลการทดสอบความสามารถในการคั้นน้ำสั้ม	114
21	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการคั้น	115
22	ผลการทดสอบเครื่องคั้นน้ำสั้มต้นแบบ	116
23	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นผลสั้มเบอร์ 2	117
24	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นผลสั้มเบอร์ 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	แรงที่กระทำบนเพลาชับชุดคั่นส่วนล่าง	96
2	ลักษณะของแรงที่กระทำกับเพลาชับชุดคั่นในระนาบ x-y, SFD และ BMD	97
3	แรงที่กระทำบนเพลาชับชุดคั่นส่วนบน	99
4	ลักษณะของแรงที่กระทำกับเพลาชับชุดคั่นในระนาบ x-y, SFD และ BMD	100
5	เครื่องคั่นน้ำสั้มนั่นแบบ	103
6	การลำเลียงผลสั้มเข้าชุดคั่นน้ำสั้ม	103
7	การคัดแยกเปลือกออกจากน้ำสั้ม	104
8	ลักษณะเปลือกสั้มหลังจากคั่นเอาน้ำสั้มออก	104

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ลาติน

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี	วัน
c	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟือง	มิลลิเมตร
Cap	ความสามารถในการทำงาน	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
CR	ค่าจ้างในการคั่นน้ำส้มต่อกิโลกรัม	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_r	พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและ ความต้านทานของอากาศ	จูลย์
E_o	พลังงานตกกระดอน	จูลย์
E_s	พลังงานศักย์สะสมของเพนคูล์ม	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	อายุการใช้งานของแปรง	ชั่วโมง
L_p	ความยาวพิทช์ของสายพาน	มิลลิเมตร
L_R	อายุการใช้งานอ้างอิงจากเกิดต้อลอก	ชั่วโมง
m	มวลของแขนเพนดูลัม	กิโลกรัม
M	โมเมนต์คัต	นิวตัน-เมตร
n	ความเร็วรอบของล้อสายพานตัวเล็ก	รอบต่อนาที
n_D	ความเร็วรอบในการออกแบบ	รอบต่อนาที
n_R	ความเร็วรอบอ้างอิงจากเกิดต้อลอก	รอบต่อนาที
n_s	ค่าความปลอดภัย	ไร้หน่วย
N	แรงกด	นิวตัน
N	ความเร็วรอบของล้อสายพานตัวใหญ่	รอบต่อนาที
P	ราคาค่าต้นทุนของเครื่อง	บาท
P	กำลัง	วัตต์
PBP	ระยะเวลาคืนทุน	ปี
R	ระยะจากจุดหมุนของแขนเพนดูลัมถึงจุดศูนย์ถ่วงมวล	เมตร
$R\&M$	ค่าซ่อมบำรุง	บาทต่อวัน
S	มูลค่าซาก	บาท
S_{all}	ความเค้นของแต่ละวัสดุ	เมกะปาสกาล
S_c	ความเค้นอัด	เมกะปาสกาล
S_e	ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ได้รับแรงซ้ำ ๆ กัน	เมกะปาสกาล
S_u	ความเค้นประลัย	เมกะปาสกาล
S_y	ความต้านทานแรงดึงคราก	เมกะปาสกาล
T	แรงบิด	นิวตัน-เมตร
TC	ค่าใช้จ่ายรวม	บาทต่อปี
V	ความเร็วเชิงเส้นของแขนเพนดูลัม 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
$\sigma_{vonmises}$	ความเค้นฟอนมิสเซส	นิวตันต่อตารางเมตร
ω	ความเร็วเชิงมุมของแขนเพนดูลัม ณ จุดศูนย์กลาง	เรเดียนต่อวินาที
τ	ความเค้นเฉือน	นิวตันต่อตารางเมตร
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด	นิวตันต่อตารางเมตร

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ส้มเป็นพืชเขตร้อน และเป็นผลไม้ที่มีตลอดฤดูกาล โดยชนิดที่นิยมปลูกกันอย่างกว้างขวางในประเทศไทยได้แก่ ส้มเขียวหวาน ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มเซ้ง ส้มครุ เป็นต้น สัมนอกจากจะมีรสชาติที่อร่อยน่ารับประทานแล้ว ยังมีคุณค่าทางโภชนาการ มีสรรพคุณทางยา ช่วยรักษาโรคเส้นเลือดในหัวใจตีบ โรคหลอดเลือดสมองแบบเฉียบพลันหรือเรื้อรัง อาหารไม่ย่อย โรคกระเพาะเรื้อรัง รสชาติของส้มมีรสเปรี้ยว หวาน หอม อยู่ร่วมกัน จึงมีการใช้น้ำส้มผสมกับอาหารอื่นๆ เพื่อเพิ่มรสชาติและให้มีสีที่ดึงดูดผู้บริโภค นอกจากนี้ส่วนอื่น ๆ ของส้มยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น เปลือกส้ม นำไปแช่น้ำที่ใช้ล้างหน้าหรืออาบน้ำ ช่วยบรรเทาผิวแห้งหยาบกร้าน เปลือกส้มแห้ง แห้งคองในเหล้าขาว คั้นยาคองเหล้าจำนวนพอเหมาะช่วยบำรุงปอดและละลายเสมหะ และไม่นานมานี้ยังค้นพบสารไลมอนอยด์ ในพืชตระกูลส้มที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง (จุฑามาส, 2547)

จากคุณประโยชน์นานาประการของส้ม ประกอบกับราคาที่ต่ำไม่สูงมากนักทำให้ประชาชนนิยมบริโภคส้ม จนมีการขยายเพิ่มขึ้นทั้งในด้านการเพาะปลูกส้ม และด้านอุตสาหกรรมเกี่ยวกับส้ม จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร (2549) ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกส้มทั้งหมด 464,401 ไร่ ให้ผลผลิต 585,167 ตันต่อปี จากกำลังผลิตที่สูงทำให้ส้มเป็นสินค้าส่งออก ที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ นำรายได้เข้าประเทศปีละหลายล้านบาท อย่างไรก็ตามการผลิตส้มในปัจจุบันประสบปัญหาส้มล้นตลาดในบางช่วงเวลา ทำให้ราคาของส้มลดต่ำลง ส้มเกิดการเสียหายจากการเน่าเสียในระหว่างรอตลาด อีกทั้งผลส้มที่มีขนาดเล็กจะขายไม่ได้ราคา จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงเริ่มมีการแปรรูปเป็นน้ำส้มบรรจุขวด เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต ปัจจุบันการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมการทำน้ำส้มจึงมีการขยายตัวมากขึ้น ทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดกลาง จนถึงขนาดใหญ่

ปัญหาที่เกิดจากการคั้นน้ำส้มมี 2 ประเภทคือ การคั้นด้วยแรงงานคน ซึ่งได้อัตราการผลิตต่ำ เนื่องจากการคั้นที่ไม่ต่อเนื่อง และมีข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงาน นอกจากนี้ยังมีต้นทุนในการคั้นสูง ถ้าหากต้องการปริมาณผลผลิตสูงจำเป็นต้องจ้างแรงงานมากขึ้น และการคั้นด้วยเครื่องคั้นแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีต้นทุนค่าเครื่องจักรสูง เพราะเครื่องคั้นน้ำส้มส่วนใหญ่จะนำเข้ามาจากต่างประเทศ จึงได้มีความพยายามในการพัฒนาเครื่องคั้นน้ำส้มที่ผลิตภายในประเทศ แต่เครื่องคั้นน้ำส้มส่วนใหญ่ที่พัฒนาขึ้น น้ำส้มที่คั้นได้จะมีความขม

ค่อนข้างมาก เนื่องจากในการค้นแบบบีบอัดจะมีน้ำมันที่เปลือกสั้หลุดปนออกมาด้วย เสมอขวัญ และคณะ (2549) จึงได้พัฒนาเครื่องคั่นน้ำสั้อัด โนมัตติเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาด กลาง แต่ก็ยังประสบปัญหา ในด้านการออกแบบซึ่งมีความซับซ้อนมากเกินไป ทำให้ต้นทุนราคา ของเครื่องค่อนข้างสูง ยากต่อการซ่อมบำรุงรักษาในระดับผู้ใช้งานหรือผู้ประกอบการ และยังคง สร้างโอกาสในการปนเปื้อนขณะคั่นน้ำสั้ เนื่องจากการส่งกำลังด้วยโซ่และมีการทำงานแบบกลไก จำเป็นต้องทำการหล่อลื่นด้วยสารหล่อลื่น

ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องคั่นน้ำสั้อัด โนมัตติ ที่มีความสามารถและ ประสิทธิภาพในการคั่นสูง บำรุงรักษาง่าย มีต้นทุนในการผลิตต่ำ และได้น้ำสั้ที่มีคุณภาพ เพื่อ รองรับการขายตัวของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ของน้ำสั้ซึ่งกำลังขยายตัวเพิ่มขึ้นได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาในครั้งนี้คือ เพื่อออกแบบเครื่องคั่นน้ำสั้ อัด โนมัตติที่พัฒนาจากเครื่องคั่นน้ำสั้แบบโรตารีและแบบจานหมุน ให้มีหลักการทำงานที่ เหมาะสมถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและสุขอนามัยโดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลสั้
2. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดคั่นน้ำสั้ด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์
3. เพื่อทดสอบสมรรถนะในการทำงานของเครื่องคั่นน้ำสั้ที่พัฒนาขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผลวิจัยตามวัตถุประสงค์ในข้อ 1 ถึงข้อ 3 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการ คั่นน้ำสั้ด้วยเครื่องคั่นน้ำสั้อัด โนมัตติและอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำสั้ของประเทศไทย

ขอบเขตของงานวิจัย

เครื่องคั่นน้ำสั้ที่ออกแบบมี ระบบการทำงานจะเป็นไปแบบอัด โนมัตติ ตั้งแต่การ ลำเลียงผลสั้ การจับผลสั้ การผ่าผลสั้ และการบีบคั่นน้ำสั้ภายในเครื่องเดียว มีความสามารถ ในการคั่นน้ำสั้ 500-1,000 กิโลกรัม (ผลสด) ต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นระดับการผลิตในอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำสั้ขนาดเล็กและขนาดกลาง (SMEs) สั้ที่ใช้ทดสอบเป็นพันธุ์สายน้ำผึ้ง 3 ขนาดคือ เบอร์ 2 (45-50 มิลลิเมตร) เบอร์ 3 (50-55 มิลลิเมตร) และ เบอร์ 4 (55-60 มิลลิเมตร)

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ส้ม

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับส้ม

คำว่า “ส้ม” หรือ “พืชตระกูลส้ม” หมายถึงพืชที่อยู่ในสกุลซิตรัส (*Citrus* genus) ทั้งหมดเช่น มะนาว มะกรูด ส้มจี๊ด ส้มเขียวหวาน ส้มเกลี้ยง ส้มจุก ส้มโอ เป็นต้น รวมทั้งพืชสกุลใกล้เคียง (*Citrus* relatives) อีกหลายชนิด จึงนับได้ว่าเป็นพืชกลุ่มใหญ่มากกลุ่มหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อาจเป็นแถบตอนใต้ของประเทศจีนหรือหมู่เกาะมาลายู เชื่อกันว่าไทยอาจเป็นแหล่งกำเนิดของส้มแห่งหนึ่งได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามไม่มีใครสามารถยืนยันได้ว่าแหล่งกำเนิดที่แท้จริงอยู่ที่ใด สำหรับประวัติการนำส้มโดยเฉพาะส้มเขียวหวานเข้ามาปลูกในประเทศไทยนั้น ไม่มีหลักฐานปรากฏชัดเจน แต่เชื่อว่าชาวจีนเป็นผู้นำเข้ามาเมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2400-2410 การปลูกส้มเขียวหวานเป็นอาชีพทำกันมาประมาณ 80 ปีที่ผ่านมาแล้ว โดยปลูกกันมากในเขตตำบลบางมด ซึ่งอยู่ในเขตราชบุรีและเขตบางขุนเทียน ส้มเขียวหวานที่ปลูกในแถบนี้จะเรียกว่า “ส้มบางมด” ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งผลิตส้มที่มีชื่อเสียงในด้านคุณภาพตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ระยะเวลาบางมดเปลี่ยนไป รวมทั้งปัญหาน้ำเค็ม น้ำเสีย ทำให้พื้นที่สวนส้มเขียวหวานลดลงเกือบหมด แต่ยังมีผู้ที่ใจรักในด้านการปลูกส้มเขียวหวานได้ไปหาแหล่งปลูกที่อื่น ๆ ทำให้พื้นที่ปลูกกระจายออกไปทั่วประเทศโดยเฉพาะในเขตภาคกลาง แถบปทุมธานี นครนายก สระบุรี และภาคเหนือ แถบจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แพร่ น่าน เป็นต้น (จุฑามาส, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ส้มมีชื่อสามัญว่า Mandarin หรือ Tangerine ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* ข้อมูลจำเพาะทางด้านพืชสวนของส้มที่น่าสนใจ หรือลักษณะบ่งชี้ มีดังนี้ (จุฑามาส, 2547)

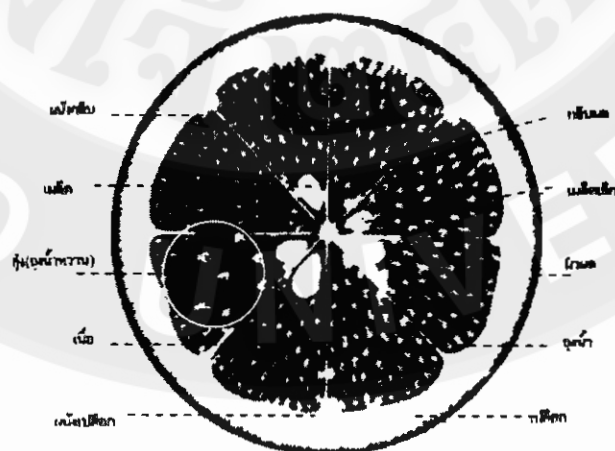
ใบ มีลักษณะรูปไข่ ค่อนข้างยาว รูปโล่ หรือรูปหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวท้องใบ มีสีเขียวอมเหลือง ผิวหลังใบเป็นมันเขียวเข้ม ใบมีปีกแคบ หรือไม่มีปีก มีสีเขียวอมเหลือง ใบมีขนาดเล็ก ความกว้าง 1.5-4 เซนติเมตร และยาว 3.5-8 เซนติเมตร

ดอก มีขนาดเล็ก ดอกตูมมีความยาว 0.5-0.7 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร ส่วนกลีบดอกสีขาว และมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ แต่ละดอกมีเกสรตัวผู้อยู่ในลักษณะแยกกัน 18-23 อัน ออกดอกในตำแหน่งซอกใบ เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ

ผล ลักษณะโดยทั่วไปของผลส้มคือ มีรูปร่างผลเป็นทรงกลม เป็นเล็กน้อย ผิวเปลือกสีเขียว สีเขียวอมเหลืองหรือส้มอมเหลือง จนถึงแดงอมส้ม ลักษณะผิวเปลือกจะเรียบมีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนเปลือกบาง มีความหนาประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมแรง เปลือกด้านในมีสีเหลืองอ่อน ภายในผล (ภาพ 1) ประกอบด้วยกลีบผลจำนวน 10-15 กลีบ แต่ละกลีบจะมีผนังบาง เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ก้านผลมีขนาดสั้น ขนาดผลแตกต่างกันไป ตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-8 เซนติเมตร ยาว 4-7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะห้อยหัวลง

เมล็ด รูปร่างรูปไข่กลับหัว เนื้อเยื่อส่วนสะสมอาหารมีสีเขียวอ่อน หรือเขียวอมเหลือง จำนวนเมล็ดมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละกลีบ จากหนึ่งเมล็ดสามารถเพาะต้นกล้าได้เป็นจำนวนมาก

ผลผลิต จัดเป็นไม้ผลขึ้นต้นชนิดหนึ่งในไม้ผลไม้ที่ชนิดที่สามารถให้ผลผลิตตลอดปีโดยใช้หลักวิชาการด้านไม้ผลวิทยา บังคับให้ออกดอกผลเป็นรุ่นตามต้องการ และสามารถบังคับการออกผลได้ประมาณ 2-4 รุ่นในรอบปี หรือหากต้องการผลผลิตเพียงรุ่นเดียวก็สามารถเลือกปฏิบัติได้ ผลส้มสามารถที่จะรอการเก็บเกี่ยวได้ กล่าวคือ สามารถเริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เมื่อผลอายุประมาณ 8-9 เดือน หรือปล่อยให้สุกกับต้นเพื่อรอราคาที่สูงขึ้นจนอายุประมาณ 11-12 เดือนหลังดอกบาน



ภาพ 1 ภาพตัดขวางของผลส้ม

ที่มา: จุฑามาส (2547)

การจำแนกพันธุ์ส้ม

1. ส้มแหลมทอง หรือแสงทอง เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกกันอยู่เดิมในเขตจังหวัดราชบุรี ลักษณะลำต้นขนาดใหญ่ ทรงพุ่มใหญ่ ผลติดค่อนข้างยาก ไม่ดก ผลขนาดปานกลางแต่มีรสหวานจัด ถึงแม้ผลยังไม่ถึงอายุการเก็บเกี่ยวก็ไม่เปรี้ยว ปัจจุบันปลูกกันน้อยเพราะผลคกสู้ส้มธรรมดาไม่ได้

2. ส้มบางมด เป็นพันธุ์ส้มเขียวหวานที่เคยปลูกกันในเขตบางมด บางขุนเทียน ชนิดพันธุ์ผิวเรียบเปลือกบางเรียกว่าส้มบางล่าง แหล่งปลูกเดิมคือ บางมด ชนิดที่เปลือกค่อนข้างหนาผลใหญ่ มีลูกนูนเล็กน้อยเรียกว่า ส้มบางบน รสไม่หวานมาก เดิมปลูกกันมากบริเวณบางขุนนนท์ บางกรวย บางกอกน้อย ปัจจุบันปลูกกันมากแถวรังสิต นครปฐม และดำเนินสะดวก มีผู้นำไปปลูกในเขตอื่นแล้วเรียกชื่อต่างกัน ไป เช่น ส้มผิวทอง ส้มสีทอง

3. ส้มฟริมองด์ เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ลิโมนไทน์และพันธุ์ฟองแกน เกิดในรัฐฟลอริดา แต่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ในรัฐแคลิฟอร์เนีย มีการนำส้มพันธุ์นี้มาปลูกในภาคเหนือของไทยเมื่อ 20 ปีที่ผ่านมา และสามารถปรับตัวได้ดีและแพร่หลายไปยังแหล่งอื่น ๆ

4. ส้มโชกุน เป็นพันธุ์ที่ปลูกจากเมล็ดทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งได้นำพันธุ์มาจากประเทศจีน อาจรู้จักกันในนามของส้มสายน้ำผึ้ง หรือส้มเพชรชะลา เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน ส้มพันธุ์นี้มีลักษณะทรงต้นและขนาดต้นใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่ทรงพุ่มค่อนข้างแน่นกว่า กิ่งและใบจะตั้งขึ้นมากกว่าแกน ลักษณะผลใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่มีรสชาติเป็นเอกลักษณ์พิเศษ เนื้อมีลักษณะแน่น ชานิมและให้น้ำส้มปริมาณมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ผลอาจเกิดการแตกง่ายกว่าส้มเขียวหวาน เหมาะที่จะปลูกทางใต้ แต่ถ้าจะปลูกในภาคอื่น ควรมีการจัดการน้ำที่ดีเพื่อลดการแตกของผล

พื้นที่ปลูกและปริมาณการผลิต

ส้มเป็นไม้ผลที่คนไทยนิยมบริโภคกันทั่วไป ส่วนใหญ่จะผลิตขึ้นเพื่อบริโภคกันภายในประเทศแต่ก็สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้หลายสิบด้านบาทเช่นกัน ตลาดส่วนใหญ่อยู่ในเอเชีย อย่างไรก็ตามส้มเขียวหวานมีโรคสำคัญอยู่คือ โรคกรีนนิง และทริสเตซ่า ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตลดลงและต้นส้มตาย เป็นปัญหาสำคัญอยู่ในปัจจุบัน ขณะนี้ได้มีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือ การใช้พันธุ์ส้มเขียวหวานปลอดโรค ซึ่งถ้าหากสามารถแก้ไขได้ก็จะทำให้การผลิตส้มเขียวหวานสามารถผลิตได้มากขึ้น และสามารถส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้มากยิ่งขึ้น (กรมส่งเสริมทางการเกษตร, 2549) สำหรับแหล่งปลูกที่สำคัญในภาคเหนืออยู่ที่จังหวัด เชียงใหม่ น่าน แพร่ สุโขทัย พะเยา เชียงราย กำแพงเพชร ภาคกลางอยู่ที่จังหวัด ชัยนาท สิงห์บุรี สระบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี ภาคตะวันออกอยู่ที่จังหวัด นครนายก จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี

ชลบุรี ระยอง ภาคตะวันตกอยู่ที่จังหวัด นครปฐม สมุทรสาคร สุพรรณบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี ภาคใต้อยู่ที่จังหวัด ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ระนอง ปัตตานี ยะลา โดยทั้งประเทศมีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 464,401 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว 336,981 ไร่ และพื้นที่ยังไม่ให้ผลผลิต 127,420 ไร่ (จุฑามาส, 2547)

การสกัดน้ำผลไม้

การสกัดน้ำผลไม้เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของการแปรรูปน้ำผลไม้ เพื่อแยกเอาน้ำออกจากส่วนเนื้อของผลไม้ กรรมวิธีในการสกัดน้ำผลไม้แต่ละชนิดจะมีขั้นตอนรายละเอียดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้แต่ละชนิด และลักษณะความชุ่มชื้นของน้ำผลไม้ที่ต้องการ ดังนี้

การสกัดน้ำผลไม้แบบคั้นสด

การสกัดน้ำแบบคั้นสดใช้กับผลไม้ส่วนใหญ่ทั่วไป ซึ่งเป็นประเภทที่มีทั้งน้ำและเนื้อมาก เติรมเฉพาะเนื้อส่วนที่บริโภคได้ เช่น ปอกเปลือกออก เอาเมล็ดขนาดใหญ่ออก หั่นเป็นชิ้น มักจะมีขั้นตอนการสกัด 2 ขั้นตอน คือ การตีย่อยขนาด และการบีบคั้นน้ำ (ยกเว้นผลไม้ประเภทที่มีน้ำมากแต่เนื้อน้อย เช่น ส้ม องุ่น แดงโม ฯลฯ สามารถบีบคั้นน้ำได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการตีย่อยขนาด) เมื่อกรองน้ำแยกกากออก จะได้น้ำผลไม้แท้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรรมวิธีในการสกัดน้ำผลไม้แบบที่เกษตรกรปฏิบัติมีดังนี้ (สินธนา, 2542)

1. ผลไม้ประเภทที่มีน้ำและเนื้อมาก ได้แก่ สับปะรด แดงโม แบ่งรูปแบบการสกัดออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

- การตีป็นด้วยถ้วยปั่นแล้วคั้นน้ำด้วยมือ
- การตีป็นด้วยเครื่องแล้วคั้นน้ำด้วยเครื่อง
- การตีป็นและคั้นน้ำในเครื่องเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

2. ผลไม้ประเภทที่มีน้ำมากแต่เนื้อน้อย ได้แก่ ส้ม แบ่งรูปแบบการสกัดออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ

- การคั้นน้ำด้วยมือ
- การคั้นน้ำด้วยเครื่อง
- การคั้นน้ำด้วยเครื่องเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

การสกัดน้ำผลไม้แบบคั้นแล้วบีบคั้น

การสกัดน้ำแบบคั้นแล้วบีบคั้น คือ การนำเอาผลไม้ที่ต้องการคั้นมาผ่านกระบวนการคั้นก่อนแล้วจึงนำไปคั้น และกรองแยกกากออก ก็จะได้น้ำผลไม้ การคั้นแล้วคั้นมักนิยมใช้กับผลไม้ประเภทที่มีน้ำน้อยและเนื้อน้อยได้แก่ มะขาม พุทรา ฯลฯ แบ่งรูปแบบออกได้เป็น 3 แบบ คือ

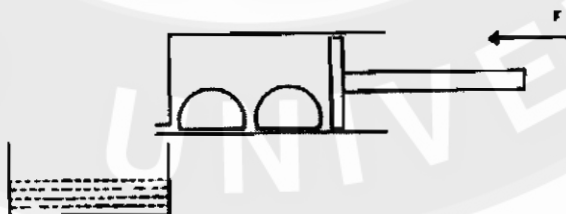
- การคั้นแล้วคั้นน้ำด้วยมือ
- การคั้นแล้วคั้นน้ำด้วยเครื่อง
- การคั้นแล้วคั้นน้ำด้วยเครื่องอย่างต่อเนื่อง

การคั้นน้ำส้ม

การคั้นน้ำส้มโดยใช้แรงงานคน

1. การคั้นน้ำส้มด้วยมือ คือ การคั้นน้ำผลไม้ที่ใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการใช้เครื่องมืออย่างอื่นช่วย
2. การใช้อุปกรณ์ช่วยในการคั้นน้ำส้มโดยใช้แรงงานคน คือ การคั้นน้ำส้มที่มีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์บางอย่างเข้ามาช่วย เพื่อให้การคั้นโดยใช้แรงงานคนมีประสิทธิภาพดีขึ้น เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่นำมาใช้ได้แก่การคั้นแบบใช้แรงบีบอัดหรือหนีบ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 มีหลักการคล้ายการทำงานของกระบอกสูบ โดยการนำผลส้มที่ทำารผ่าเรียบร้อยแล้วไปใส่ไว้ในตัวรองกดผลส้ม จากนั้นตัวกดผลส้มก็จะกดผลส้มโดยการ โยกคันโยก ส่งผลให้ผลส้มถูกบีบอัดและน้ำส้มจะไหลผ่านตัวกรองลงมา ดังภาพ 2



ภาพ 2 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบลูกสูบ

ที่มา: สนิธนา (2542)

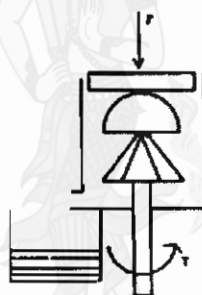
แบบที่ 2 โดยการนำผลส้มที่ทำารผ่าเรียบร้อยแล้ว นำไปใส่ในถ้วย จากนั้นก็โยกคันโยกเพื่อให้ตัวกดบีบอัดผลส้มให้น้ำไหลออกมา ดังภาพ 3



ภาพ 3 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบคันโยก

ที่มา: สินธนา (2542)

แบบที่ 3 การคั้นแบบหมุนคว้ง โดยการคว้งในลักษณะนี้จะสามารถคั้นส้มได้เพียงครั้งละครึ่งลูกเท่านั้น มีหลักการทำงาน โดยการหมุนคว้งเนื้อในของผลส้ม ดังภาพ 4

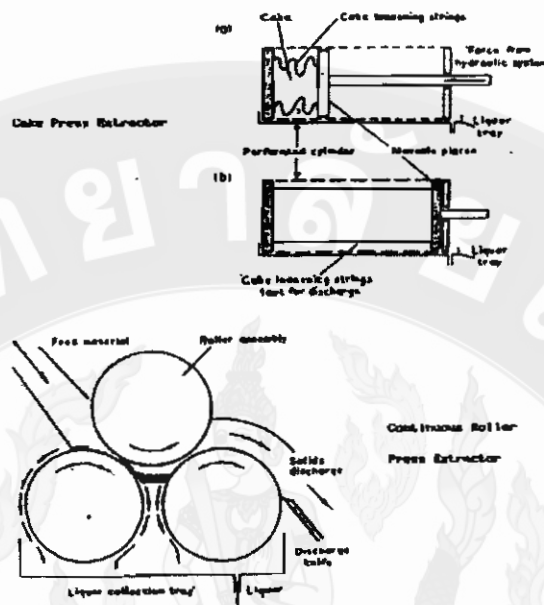


ภาพ 4 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบหมุนคว้ง

ที่มา: สินธนา (2542)

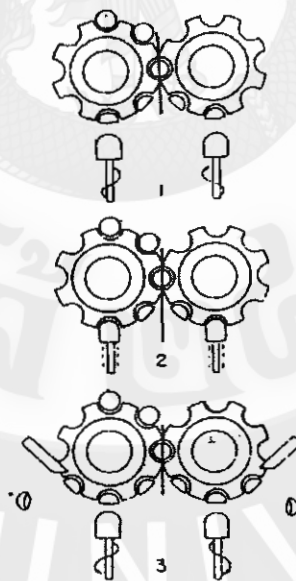
การคั้นน้ำส้มโดยการใช้เครื่องจักรกล

1. ระบบบีบอัด (pressing) เป็นวิธีการสกัดน้ำส้ม โดยใช้แรงอัดเพื่อบีบส่วนที่เป็นของเหลวออกจากผลส้ม ส่วนมากจะใช้ในกรณีที่ต้องการผลิตน้ำผลไม้ชนิดใส วิธีการสกัดแบบนี้จะมีผลดีคือ จะมีอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำส้มที่สกัดได้ต่ำกว่าน้ำส้มที่ได้จากการตีปั่น (สินธนา, 2542) อุปกรณ์ที่ใช้ในการบีบอัดน้ำผลไม้มีหลายชนิด เช่น Cake press extractor, Rotary juice press extractor, Continuous roller press เป็นต้น ดังภาพ 5 และ ภาพ 6



ภาพ 5 หลักการทำงานของ Cake press extractor และ Continuous roller press extractor

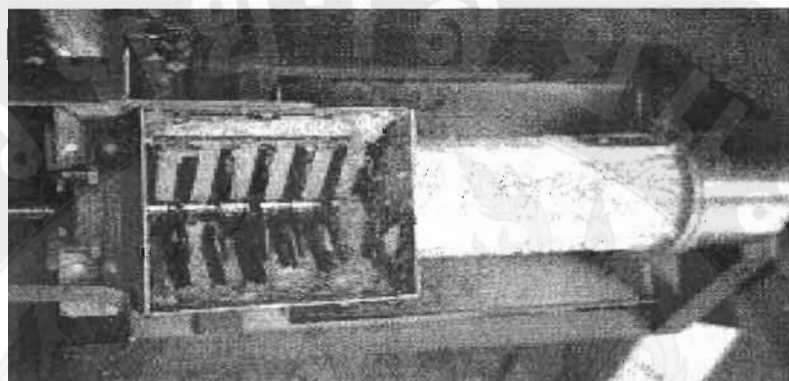
ที่มา: Brennan *et.al* (1976)



ภาพ 6 หลักการทำงานของ Rotary juice press ในการสกัดน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

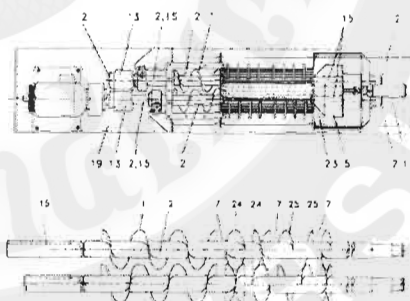
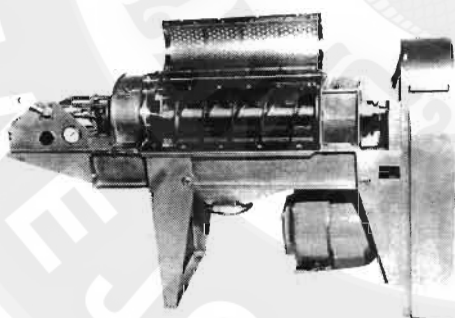
ที่มา: Nagy and Shaw (1980)

2. ระบบตีป่น (pulping) เป็นวิธีการสกัดน้ำส้ม โดยการตีป่นให้เนื้อของผลไม้มีขนาดเล็กลงมีสภาพเป็นของเหลวกึ่งของแข็ง เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดน้ำโดยวิธีนี้เรียกรวมว่า Pulper (ภาพ 7) แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้กับมะเขือเทศ เสาวรส มะละกอ ฝรั่ง เป็นต้น (สินธนา, 2542)



ภาพ 7 ชุดย่อยเนื้อผลไม้แบบตีป่นด้วยใบพัดตีหมุน
ที่มา: ชัยวัฒน์ (2543)

3. ระบบเกลียวอัด (screw press) เป็นวิธีการสกัดน้ำส้ม โดยการอัดด้วยเกลียวซึ่งมีทั้งแบบใช้เกลียวชุดเดียวและ 2 ชุด (ภาพ 8) ซึ่งสามารถทำให้แยกน้ำออกจากเนื้อส้มได้อย่างรวดเร็ว และให้ลักษณะเนื้อส้มผลที่ดี สามารถนำไปใช้กับการคั้นน้ำผลไม้ชนิดอื่นได้ (สินธนา, 2542)



ภาพ 8 เครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบเกลียวอัด
ที่มา: ชัยวัฒน์ (2543)

สแตนเลส

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสแตนเลส

สแตนเลส เป็นศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กกล้าไร้สนิมหรือเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อย 10.5 เปอร์เซ็นต์ โลหะประเภทนี้ถูกค้นพบเมื่อปี พ.ศ. 2446 โดยนักโลหะวิทยาพบว่า การผสมปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นจะทำให้เหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) มีคุณสมบัติต่อต้านการเกิดสนิมได้ดียิ่งขึ้น โลหะทุกชนิดโดยทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ หรือที่เรียกว่า “ออกซิเดชัน” (oxidation) เกิดเป็นฟิล์มออกไซด์เคลือบบนผิวโลหะ ส่งผลให้สภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อนหรือที่เรียกกันว่าเป็นสนิม แต่การที่สแตนเลสมีโครเมียมเป็นส่วนประกอบสูงกว่า 10.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซด์เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ แผ่นฟิล์มออกไซด์ที่มีปริมาณโครเมียมสูง ซึ่งมีลักษณะบางและมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น จะทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันการกัดกร่อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นฟิล์มจะสร้างตัวขึ้นใหม่เองทันทีที่พื้นผิวถูกขีดข่วนทำลาย



ภาพ 9 การเกิดฟิล์มปกป้อง

ที่มา: จักรพงษ์ (2544)

จากภาพ 9 สามารถอธิบายขั้นตอนการเกิดฟิล์มปกป้องได้ดังนี้

1. เมื่อผิวโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แผ่นฟิล์มโครเมียมออกไซด์ หรือฟิล์มปกป้อง (passive film) จะถูกสร้างขึ้นเคลือบพื้นผิวของสแตนเลสโดยอัตโนมัติ
2. เมื่อผิวโลหะเกิดการขีดข่วน กะเทาะ หรือถูกนำไปผ่านกระบวนการที่ใช้เครื่องจักร แผ่นฟิล์มปกป้องจะเผยเนื้อเหล็กให้สัมผัสกับอากาศ
3. ฟิล์มปกป้องจะสร้างตัวขึ้นมาใหม่เองอย่างรวดเร็ว เมื่อเนื้อเหล็กสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

การนำสแตนเลสไปใช้งาน

สแตนเลสนอกจากจะมีประโยชน์ใช้สอยที่หลากหลายไว้ขีดจำกัดแล้ว ยังมีคุณสมบัติพิเศษที่โดดเด่นเหนือกว่าวัสดุประเภทอื่น ๆ อาทิ ทนทานต่อการกัดกร่อน ง่ายต่อการเชื่อมหรือขึ้นรูป ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recyclability) คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้สแตนเลสกลายเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้สร้างผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดที่จำเป็นต่อชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือในโรงงานอุตสาหกรรมหรือเครื่องใช้ในครัวเรือน

เครื่องครัว สแตนเลสเกรดออสเทนนิค 304 เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นวัสดุที่สะอาด ทนทาน สวยงาม และดูแลรักษาง่าย เหมาะสำหรับการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร อาทิ ช้อนส้อมและมีด รวมไปถึงถ้วย จาน ชามต่าง ๆ

เครื่องใช้ในบ้าน ด้วยคุณสมบัติไม่เป็นสนิม ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดและเกลือ สแตนเลสประเภทออสเทนนิคจึงได้รับความนิยมนำมาผลิตเป็นเครื่องใช้ภายในบ้านหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นอ่างล้างจาน เครื่องล้างจาน เครื่องซักผ้า อุปกรณ์ประกอบอาหาร เครื่องปั่นนมปั่น เตาแก๊ส หรือแท็งก์น้ำ

อุตสาหกรรมผลิตผลทางการเกษตร ภาชนะบรรจุผลิตผลทางการเกษตรที่แข็งแรง ทนทานมักจะทำมาจากสแตนเลสประเภทออสเทนนิค เนื่องจากมีความแข็งแรงและไม่เป็นสนิม

การแบ่งเกรดสแตนเลส

สแตนเลสมีอยู่มากมายหลายชนิดรวมแล้วกว่า 60 ชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 เกรดหรือประเภทใหญ่ ๆ คือ ออสเทนนิค (austenitic) เฟอไรติก (ferritic) มาร์เทนซิติค (martensitic) และดูเพล็กซ์ (duplex) โดยแต่ละประเภทก็มีคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของโลหะผสมที่เป็นองค์ประกอบ จึงเหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมและลักษณะการใช้งานที่ต่างกันออกไป

1. ออสเทนนิค (austenitic) มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด นอกจากจะประกอบด้วยโครเมียม 18 เปอร์เซนต์ ยังมีนิกเกิลช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย สแตนเลสชนิดนี้ขึ้นรูปได้ง่ายจึงเป็นที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด

2. เฟอไรติก (ferritic) มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดติด ประกอบด้วยคาร์บอนในปริมาณต่ำและมีโครเมียมเป็นโลหะผสมหลัก โดยทั่วไปอยู่ที่ 13 เปอร์เซนต์ หรือ 17 เปอร์เซนต์

3. มาร์เทนซิติค (martensitic) มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12 เปอร์เซนต์ และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง นิยมใช้ทำเครื่องใช้บนโต๊ะ

อาหาร เครื่องมือตัด และเครื่องมือวิศวกรรมอื่น ๆ ซึ่งต้องการความแข็งแรงทนทานและคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนสูงเป็นพิเศษ

4. ดิวเพล็กซ์ (duplex) มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ (ferrite) และออสเตไนต์ (austenite) ประกอบด้วยโครเมียม 18-28 เปอร์เซนต์ และนิกเกิล 4.5-8 เปอร์เซนต์ สเตนเลสชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอไรด์สูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (pitting corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนที่เกิดจากการแตกร้าว (stress corrosion cracking resistance)

สเตนเลสที่นิยมใช้ทั่วไป คือ เกรดออสเตนิติก และเฟอร์ริติกคิดเป็นร้อยละ 95 ของสเตนเลสที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยแบ่งเป็นชนิดย่อยได้ดังนี้

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเตนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซนต์ นิกเกิล 8.5 เปอร์เซนต์ (304D) สำหรับขึ้นรูป คุณสมบัติเด่น เมื่อเทียบกับเกรดมาตรฐานอย่าง 304-S189 แล้วจะมีความสามารถในการขึ้นรูปเย็นได้ดีกว่า เนื่องจากมีส่วนผสมของนิกเกิลอย่างน้อยที่สุด 8.5 เปอร์เซนต์ จึงเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบหลุมลึก และการดึงขึ้นรูปสำหรับรูปทรงที่ซับซ้อน การใช้งานโดยทั่วไป ใช้กับภาชนะที่เป็นหลุมลึก เครื่องล้างจาน ภาชนะหุงต้ม อ่างล้างจาน

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเตนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซนต์ นิกเกิล 9 เปอร์เซนต์ (304DDQ 189) สำหรับขึ้นรูปลึก มีความสามารถในการขึ้นรูปเย็นได้ดี เมื่อแผ่นวัตถุดิบต้องเปลี่ยนรูปร่างไปมาก จึงนิยมใช้ในงานพิเศษได้แก่ การขึ้นรูปแบบหลุมลึก การขึ้นรูปที่ใช้ทั้งการดึงและการบีบตัว การปั้นอัดขึ้นรูป การใช้งานโดยทั่วไปใช้กับ หม้อหุงต้ม อ่างผสมอาหาร อ่างล้างจาน คอนเทนเนอร์ที่ได้จากการขึ้นรูปลึก

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติก โครเมียม 17 เปอร์เซนต์ (403) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับการใช้งานโดยทั่วไป มีโครเมียมผสมอยู่ 17 เปอร์เซนต์ เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิปกติ มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ในสภาวะกัดกร่อนปานกลาง สามารถขึ้นรูปเย็นได้ดี ปานกลาง มีผิวหน้าที่สวยงามหลังการประกอบขึ้นงานทำให้ลดขั้นตอนการตกแต่งผิวในขั้นตอนสุดท้าย มีความต้านทานการเกิดออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูงถึง 850°C สำหรับการใช้งานโดยทั่วไปจะนำไปใช้กับ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ซ้อนส้อม มีดและเครื่องใช้ในครัวอุปกรณ์หุงต้มอาหาร และทำเครื่องประกอบอาหาร เฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายในอาคารและตามถนนในเมือง เครื่องความร้อนในกระบวนการผลิตและอุปกรณ์เครื่องใช้ในการผลิตอาหารประเภทนม แกนและถังปั่นในเครื่องซักผ้าและเครื่องล้างจาน

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเตนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซนต์ นิกเกิล 8 เปอร์เซนต์ (304) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดี มี

ความอ่อนตัว (ดีกว่าโลหะทั่วไปและโลหะผสม) สามารถเชื่อมได้ดี (ทุกระบวนการ) สามารถทำความสะอาดได้ง่าย และช่วยรักษาสภาพของผลิตภัณฑ์ ระหว่างการขนส่งหรือที่ใช้บรรจุ สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และสามารถขัดพื้นผิวได้ง่าย ซึ่งมีการนำไปใช้งานโดยทั่วไปดังต่อไปนี้

- ในครัวเรือน อุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร อ่างล้างจาน เครื่องใช้ในบ้าน เครื่องใช้ไฟฟ้า โครงสร้างและการตกแต่งอาคาร และเฟอร์นิเจอร์ตามถนนหนทาง
- อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อาหารนม เบียร์ ไวน์ อุปกรณ์จัดเลี้ยง
- เครื่องมือในโรงพยาบาล และเวชภัณฑ์
- อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมแปรรูป แท็งก์ ท่อลำเลียง เครื่องถ่ายความร้อน ระบบบำบัดน้ำเสีย ภาชนะต่าง ๆ

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิค โครเมียม 18 เปอร์เซนต์ นิกเกิล 9 เปอร์เซนต์ ปริมาณคาร์บอนต่ำ (304L) คุณลักษณะเด่นคือ มีความต้านทานการกัดกร่อนแบบตามขอบเกรนดี เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนต่ำ สามารถเชื่อมและขึ้นรูปเย็นได้ดี มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิห้อง การใช้งานโดยทั่วไปใช้กับ อุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องผ่านการเชื่อม สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และกระบวนการผลิตต่าง ๆ

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิค โครเมียม 18 เปอร์เซนต์ นิกเกิล 11 เปอร์เซนต์ โมลิบดีนัม 2 เปอร์เซนต์ มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (316L) คุณลักษณะเด่นคือ ทนการกัดกร่อนได้ดีในกรด หรือสารผสมคลอไรด์ มีความต้านทานการกัดกร่อนตามขอบเกรนสูงแม้ผ่านการเชื่อม สามารถเชื่อมได้ดีมาก มีความยืดหยุ่นสูงและขัดเงาได้ การใช้งานสามารถใช้งานโดยทั่วไปใช้กับ อุปกรณ์การแพทย์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และกระบวนการผลิตต่าง ๆ ที่ต้องทนต่อการกัดกร่อนสูง (จักรพงษ์, 2544)

การเลือกใช้นาอมอเตอร์

การออกแบบขนาดกำลังของมอเตอร์เพื่อใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ จะใช้สมการ (วรวิทย์ และชาญ, 2548)

$$P = \frac{2\pi \times T \times N}{60} \quad (1)$$

โดย

P = กำลัง (วัตต์)

T = แรงบิด (นิวตัน-เมตร)

N = ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

การออกแบบล้อสายพาน

ในการเลือกขนาดของล้อสายพานจะหาได้จากสมการ (วรวิทย์ และชาญ, 2548)

$$\left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \quad (2)$$

โดย D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวเล็ก (มิลลิเมตร)
 D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวใหญ่ (มิลลิเมตร)
 N_1 = ความเร็วรอบของพูลเลย์ตัวเล็ก (รอบต่อนาที)
 N_2 = ความเร็วรอบของพูลเลย์ตัวใหญ่ (รอบต่อนาที)

การออกแบบเพลลา

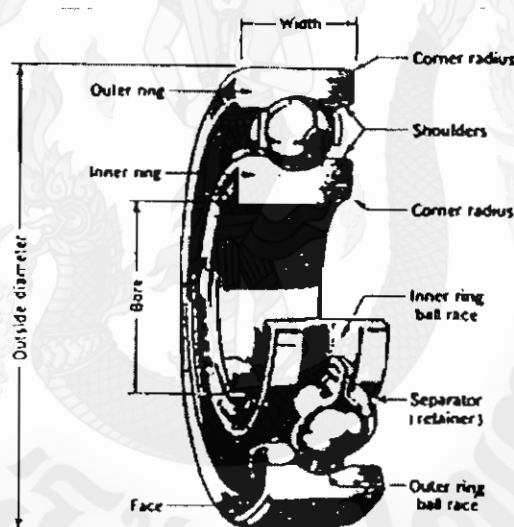
การออกแบบเพลลา ส่วนมากจะทำการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีของโซเดอร์เบิร์ก (soderberg approach) ซึ่งใช้สำหรับเพลลาที่รับแรงบิดคงที่และการคัดแบบกลับไปกลับมา หาได้จากสมการ (วรวิทย์ และชาญ, 2548)

$$d_s = \left[\frac{32n}{60} \left\{ \left(\frac{T}{S_s} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

โดย d_s = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (เมตร)
 n = ค่าความปลอดภัย (Safety factor)
 M = โมเมนต์คัตสูงสุด (นิวตัน-เมตร)
 T = แรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลลา (นิวตัน-เมตร)
 S_s = ความต้านทานแรงดึงคราก (เมกะปาสกาล)
 S_e = ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ได้รับแรงซ้ำ ๆ กัน (เมกะปาสกาล)

การใช้เลือกใช้เบร้งลูกกลิ้งกลม

เบร้งลูกกลิ้งกลม (rolling contact bearing) หรือเบร้งต่อต้านความฝืด (antifriction bearing) คือ เบร้งที่รับแรงผ่านชิ้นส่วนที่กลิ้ง แทนที่จะเป็นชิ้นส่วนที่เลื่อนผ่านกัน โดยที่ความฝืดตอนเริ่มหมุนจะมีค่าประมาณสองเท่าของความฝืดหลังจากหมุนไปแล้ว แต่ความฝืดในขณะนี้จะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเบร้งแบบ Sleeve เบร้งต่าง ๆ จะผลิตขึ้นมาเพื่อทำการรับแรงในทิศทางแนวรัศมี (radial) แรงในทิศทางแกนยาวของเพลา (thrust) หรือแรงร่วมระหว่างสองทิศทางนี้ ชื่อเรียกชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเบร้งลูกกลิ้งกลมแสดงในภาพ 10 (Shigley and Mischke, 1989)



ภาพ 10 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเบร้งลูกกลิ้ง

ที่มา: Shigley and Mischke (1989)

เบร้งลูกกลิ้งกลมขนาดมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปมักจะต้องรับแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนไปพร้อม ๆ กัน ความสามารถในการรับแรงที่ดูจากแค็ตตาล็อกมักจะบอกความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเราจึงใช้แรงกระทำเทียบเท่าแรงในแนวรัศมี (equivalent radial load, F_r) ซึ่งมีผลกับอายุการใช้งานเหมือนกับแรงกระทำจริง สมการของ Antifriction bearing manufacturers association (AFBMA) สำหรับแรงกระทำเทียบเท่าแรงในแนวรัศมี สำหรับเบร้งลูกกลิ้งกลมจะเป็นค่าสูงสุดระหว่างสองสมการดังต่อไปนี้ (Shigley and Mischke, 1989)

$$F_e = VF_r \quad (4)$$

$$F_e = XVF_r + VF_a \quad (5)$$

โดย F_e = แรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแนวรัศมี (นิวตัน)
 F_r = แรงกระทำในแนวรัศมี (นิวตัน)
 F_a = แรงกระทำในแนวแกน (นิวตัน)
 $V = 1.2$: วงแหวนในการหมุน, 1: วงแหวนในการหมุน
 X = ปัจจัยในแนวรัศมี จากตาราง 1
 Y = ปัจจัยในแนวแกน จากตาราง 1

ตาราง 1 ปัจจัยการรับแรงในทิศทางตามแนวรัศมีเทียบเท่า

Bearing type	X_1	X_2	Y_1	Y_2
Radial-contact ball bearings	1	0	0.5	1.4
Angular-contact ball bearings with shallow angle	1	0.25	0.45	1.2
Angular-contact ball bearings with steep angle	1	0.75	0.4	0.75
Double-row and duplex ball bearings (type DB or DF)	1	0.75	0.63	0.4

ที่มา: Shigley and Mischke (1989)

AFBMA ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับความสามารถรับแรงของแบริ่ง โดยไม่คำนึงถึงความเร็วซึ่งเรียกว่า ความสามารถในการรับแรงพื้นฐาน (basic load rating, C_R) เป็นความสามารถของแบริ่งที่รับแรงคงที่ในแนวรัศมีได้โดยหมุนแหวนวงในหนึ่งล้านรอบ ซึ่งอาจเรียกได้ว่า Dynamic load rating, basic load capacity หรือ Specific dynamic capacity ความสามารถในการรับแรงพื้นฐานนี้จะคำนวณได้จากสมการ (Shigley and Mischke, 1989)

$$C_R = F_e \left[\left(\frac{L_D}{L_R} \right) \cdot \left(\frac{n_D}{n_R} \right) \cdot \frac{1}{6.84} \right]^{1/a} \cdot \left[\frac{1}{(\ln(1/R))^{1/1.7a}} \right] \quad (6)$$

โดย C_R = ความสามารถในการรับแรงของแบร้ง (นิวตัน)
 $a = 3$; แบร้งลูกกลม
 $= 10/3$; แบร้งลูกตรง
 R = ค่าความไว้วางใจ
 L_D = อายุการใช้งานในการออกแบบ (ชั่วโมง)
 n_D = ความเร็วรอบในการออกแบบ (รอบต่อนาที)
 L_R = อายุการใช้งานอ้างอิงจากเค็ตตาล็อค (ชั่วโมง)
 n_R = ความเร็วรอบอ้างอิงจากเค็ตตาล็อค (รอบต่อนาที)

สำหรับการเลือกขนาดของแบร้งจะพิจารณาจากค่าของแรงกระทำเทียบกับแรงในแนวนรัศมี (F_r) และความสามารถในการรับแรง (C_R) ที่คำนวณได้ โดยเลือกเอาค่าที่มากที่สุดแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า Load rating ในตาราง 2

ตาราง 2 ขนาดและความสามารถในการรับแรงพื้นฐานของแบร้งลูกกลิ้ง

Bore (mm)	OD (mm)	Width (mm)	Fillet radius (mm)	Shoulder diameter (mm)		Load rating (kN)
				d_f	D_H	
10	30	9	0.6	12.5	27	3.58
12	32	10	0.6	14.5	28	5.21
15	35	11	0.6	17.5	31	5.57
17	40	12	0.6	19.5	34	7.34
20	47	14	1.0	25	41	9.43
25	52	15	1.0	30	47	10.8
30	62	16	1.0	35	55	14.9

ที่มา: Shigley and Mischke (1989)

การออกแบบโซ่ขับเคลื่อน

ความยาวของโซ่จะหาเป็นจำนวนพิทช์ และมักจะต้องการใช้จำนวนพิทช์เป็นคู่ เพื่อไม่ต้องใช้ตัวต่อโซ่พิเศษ ความยาวของโซ่หาได้จากสมการ (วรวิทย์ และชาญ, 2548)

$$\frac{L}{P} = \frac{2c}{P} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2(c/P)} \quad (7)$$

โดย

L = ความยาวของโซ่ (มิลลิเมตร)

P = ระยะพิทช์ของโซ่ (มิลลิเมตร)

c = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟือง (มิลลิเมตร)

N_1 = จำนวนฟันของเฟืองที่เล็กกว่า (ฟัน)

N_2 = จำนวนฟันของเฟืองที่ใหญ่กว่า (ฟัน)

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตด้วยโปรแกรม COSMOSWorks™

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโปรแกรม COSMOSWorks™

การใช้โปรแกรม COSMOSWorks™ เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรง ความแข็งแกร่งของชิ้นงาน (ระยะเคลื่อนตัวเมื่อเทียบกับขนาดแรงกระทำ) การวิเคราะห์ความถี่ การวิเคราะห์ทางความร้อน การวิเคราะห์การโก่งจากแรงกระทำในแนวแกน (buckling) และการทดสอบการปล่อยตก (drop test) เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมที่อาศัยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข เทคนิคการคำนวณนี้เรียกว่า Finite Element Analysis (FEA)

การแก้สมการจะใช้สมการเชิงอนุพันธ์ (partial differential technique) ที่เขียนจากสมการในสาขาต่าง ๆ ได้แก่ การออกแบบเครื่องจักร วิศวกรรมระบบเสียง สนามแม่เหล็กไฟฟ้า กลศาสตร์ของแข็ง กลศาสตร์ของไหล เป็นต้น วิศวกรออกแบบจะใช้ FEA ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ งานโครงสร้าง (structural) งานวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (vibration) งานวิเคราะห์ความร้อน (thermal) เป็นต้น

การวิเคราะห์เชิงตัวเลข นอกจาก FEA ยังมีวิธีการคำนวณแบบอื่น ๆ ได้แก่ Finite Difference Method, Boundary Element Method หรือ Finite Volumes Method อย่างไรก็ตาม ผู้พัฒนาโปรแกรมมีความพยายามจะพัฒนาให้การคำนวณเชิงตัวเลขมีประสิทธิภาพมากที่สุด การใช้ FEA จะช่วยให้การวิเคราะห์รูปร่างชิ้นงานตรงตามแนวความคิดในการออกแบบ และจะช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นด้วยการจำลองเหตุการณ์

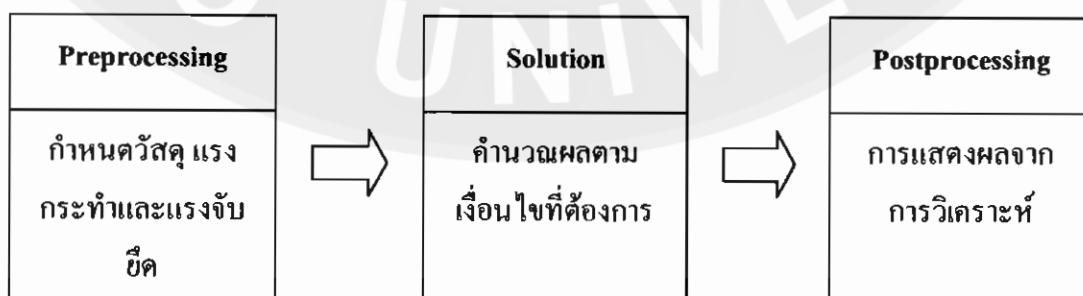
วิธีการคำนวณด้วย FEA คำนวณสมการเชิงตัวเลข และวิธีการแก้สมการ กำลังเป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแรงจูงใจให้มีการพัฒนาการใช้งานให้เป็นโปรแกรมคำนวณเชิงพาณิชย์ (commercial) เพื่อให้การใช้งานง่าย และอาศัยการสร้างเครื่องมือช่วยให้สามารถเข้าถึงรายละเอียดการกำหนดเงื่อนไขได้เร็วขึ้น ซึ่งผู้ใช้อาจจะไม่จำเป็นต้องทราบรายละเอียดการคำนวณมากนัก

จุดเด่นของวิธีการคำนวณด้วย FEA จะถูกใช้เพื่อแก้ปัญหา ตั้งแต่ปัญหาง่าย ๆ จนถึงปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก วิศวกรออกแบบจะใช้ FEA ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการวิเคราะห์เข้าไปในกระบวนการออกแบบ เพิ่มเครื่องมือช่วยในการกำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่ใช้ในการคำนวณ ส่วนการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่มีความยุ่งยากอาจจะต้องใช้การคำนวณขั้นสูง ตัวอย่างเช่น รอยแตกร้าวจากการเคลื่อนที่ของรถยนต์ งานขึ้นรูปโลหะ งานการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดที่ส่งผลต่อความแข็งแรง เป็นต้น

กระบวนการในการวิเคราะห์เริ่มจากการสร้างชิ้นงาน แล้วแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ (meshing) โดยมีรูปทรงง่าย ๆ (สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม) เราเรียกว่า “elements (เอลิเมนต์)” และชิ้นส่วนเล็ก ๆ จะต่อเชื่อมกันทั้งสิ้น

การทำงานด้วยการแบ่งเอลิเมนต์ FEA จะแก้สมการด้วยการประมาณค่าในแต่ละเอลิเมนต์ จนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน แต่ถ้าเป็นชิ้นงานประกอบ จะแยกคำนวณในแต่ละชิ้นส่วน แล้วนำมาประมวลผลรวมกัน ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามส่วนของโปรแกรม มี 3 ขั้นตอน (ภาพ 11) ดังนี้ (สุกชัยและสถาพร, 2550)

- Preprocessing ถือว่าเป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อการคำนวณ โดยข้อมูลมาตรฐานจะมีทั้งคุณสมบัติวัสดุ (material properties) แรงกระทำ (loads) และการจับยึด (restraints)
- Solution การคำนวณหาผลเฉลย (solution) หรือหาคำตอบ
- Postprocessing การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในรูปแบบชิ้นงานหรือกราฟ



ภาพ 11 ขั้นตอนการคำนวณ

ที่มา: สุกชัย และสถาพร (2550)

ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ดังนี้

- Building the Mathematical Model (สร้างรูปแบบคณิตศาสตร์)
- Building the Finite Element Model (สร้างรูปแบบชิ้นส่วนย่อย)
- Solving the Finite Element (สร้างรูปแบบการแก้ปัญหา)
- Analysis the Results (การวิเคราะห์ผลเฉลย)

การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์

ในการวิเคราะห์ด้วย COSMOSWorks™ จะสามารถเชื่อมโยงไฟล์ชิ้นส่วนจากโปรแกรม SolidWorks ทั้งชิ้นส่วน (part) และชิ้นงานประกอบ (assembly) ชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ โดยมีจำนวนหลาย ๆ เอลิเมนต์ แต่มีจำนวนจำกัดนับได้ (finite element mesh) ขนาดของเอลิเมนต์ถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ หรือผู้ออกแบบจะกำหนดเองก็ได้ ผู้ออกแบบควรมั่นใจในการสร้างรูปร่างชิ้นส่วนเพราะอาจจะมีผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ โดยจะสนใจผลลัพธ์จากการคำนวณ เช่น การหาระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงาน ความเค้น การกระจายอุณหภูมิ เป็นต้น สิ่งที่สำคัญในการแบ่งเอลิเมนต์ สามารถทำได้ด้วย CAD ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงชิ้นส่วนตามระดับความจำเป็น 3 ระดับ ได้แก่ Defeaturing, Idealization และ Clean-up ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (สุกชัยและสถาพร, 2550)

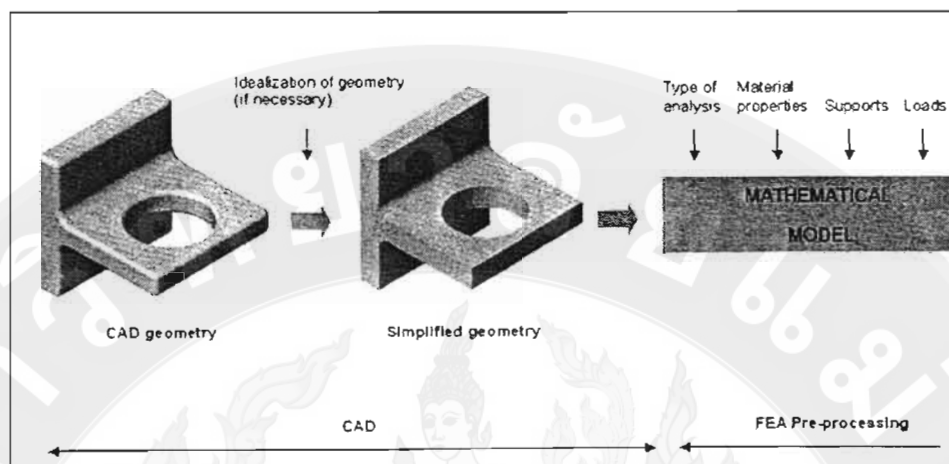
Defeaturing เป็นการพิจารณาขั้นตอนการสร้างชิ้นส่วน โดยอาจจะต้องปรับรูปทรงของชิ้นส่วน เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ เช่น การยกเลิกการลบมุมรอบชิ้นส่วน คราสัญลักษณ์บนชิ้นส่วน เป็นต้น

Idealization เป็นการพิจารณารูปร่างของชิ้นส่วน โดยลดความยุ่งยากของชิ้นงานจาก CAD โดยอาจจะลดความหนาให้มีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น การคำนวณชิ้นงานผนังหนาด้วยโหมดพื้นผิว (surface)

Clean-up เป็นการกำหนดบริเวณในการสร้างเอลิเมนต์ โดยบริเวณที่ไม่มีผลกระทบ จะสร้างเอลิเมนต์ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น

การปรับปรุงชิ้นงานให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ในเบื้องต้นอาจจะปรับด้วย CAD ให้เป็นชิ้นงานที่เรียบง่ายและปรับเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ จะช่วยลดเวลาในการคำนวณ การกำหนดสร้างเอลิเมนต์ที่สมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดรูปร่างเอลิเมนต์ และชนิดของเอลิเมนต์

การเตรียมชิ้นงาน จะเริ่มจากการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ รูปร่างชิ้นส่วน การกำหนดความหนาแน่นของเอลิเมนต์ ขนาดเอลิเมนต์ และทิศทางของแรงกระทำ ตลอดจนเงื่อนไขการจับยึด กระบวนการนี้จะสมบูรณ์ในขั้นตอนการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ซึ่งสามารถอธิบายด้วยภาพ 12

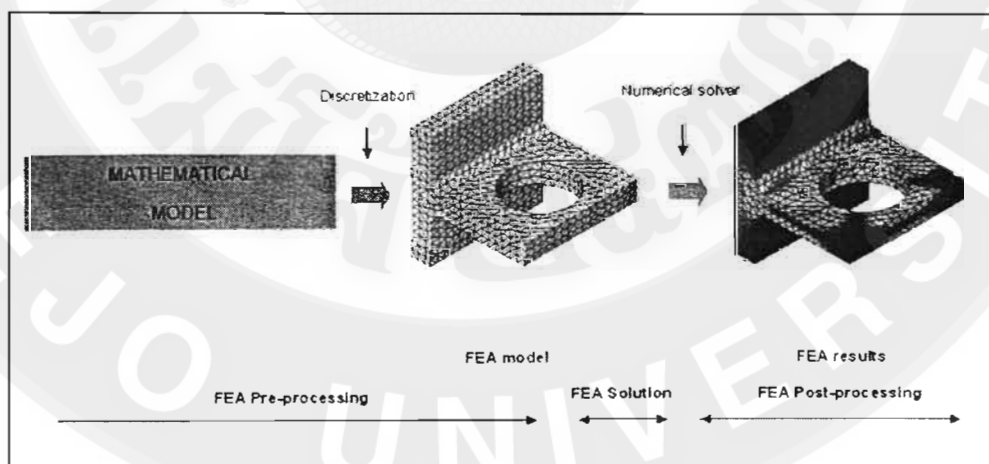


ภาพ 12 โมเดลเอลิเมนต์

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

การสร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์

การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์ (mathematical model) เป็นการเตรียมชิ้นงานเพื่อการแบ่งเอลิเมนต์ (meshing) โดยเวกเตอร์ของแรงกระทำ (load) และเงื่อนไขการจับยึด (supports) จะกระทำลงบน โหนด (nodes) ของชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ (finite element mesh) ดังภาพ 13



ภาพ 13 ชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

การเลือกชนิดของเอลิเมนต์ จะส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ และส่งผลต่อความแม่นยำในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ COSMOSWorks™ จะใช้เอลิเมนต์ ในลำดับที่หนึ่งเป็นเอลิเมนต์ทรงสี่เหลี่ยม (tetrahedral solid) สำหรับชิ้นงานทรงตัน และใช้เป็นเอลิเมนต์แบบ

พื้นผิวสามเหลี่ยม (triangular shell) สำหรับชิ้นงานผิวบาง โปรแกรมจะใช้เอลิเมนต์ทั้งสองแบบนี้ในการสร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ โดยโปรแกรมเลือกเองโดยอัตโนมัติ ส่วนเอลิเมนต์แบบอื่นในลำดับที่สอง ได้แก่เอลิเมนต์ทรงหกหน้า (hexahedral elements) ซึ่งจะไม่สามารถกำหนดสร้างแบบอัตโนมัติได้ ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดเอง

ชนิดของเอลิเมนต์ใน COSMOSWorks™ ในเบื้องต้นมีอยู่ 4 แบบ คือ สำหรับเอลิเมนต์ทรงตันลำดับที่หนึ่งจะเป็นเอลิเมนต์ทรงสี่หน้า (tetrahedral solid) และเอลิเมนต์ทรงหกหน้า (hexahedral elements) ส่วนเอลิเมนต์พื้นผิวลำดับที่หนึ่งจะเป็นเอลิเมนต์แบบพื้นผิวสามเหลี่ยม (triangular shell) และเอลิเมนต์แบบพื้นผิวลำดับที่สอง (second order triangular shell) โดย COSMOSWorks™ จะอ้างอิงการใช้เอลิเมนต์ทรงสี่เหลี่ยมและเอลิเมนต์พื้นผิวสามเหลี่ยมในลำดับที่หนึ่ง พร้อมเลือกเอลิเมนต์ให้มีความละเอียดต่ำ และจะอ้างอิงเอลิเมนต์ลำดับที่สองของเอลิเมนต์ทรงสี่หน้า และเอลิเมนต์ลำดับที่สองของพื้นผิวสามเหลี่ยมพร้อมเลือกเอลิเมนต์ให้มีความละเอียดสูง (สุกชัย และสถาพร, 2550)

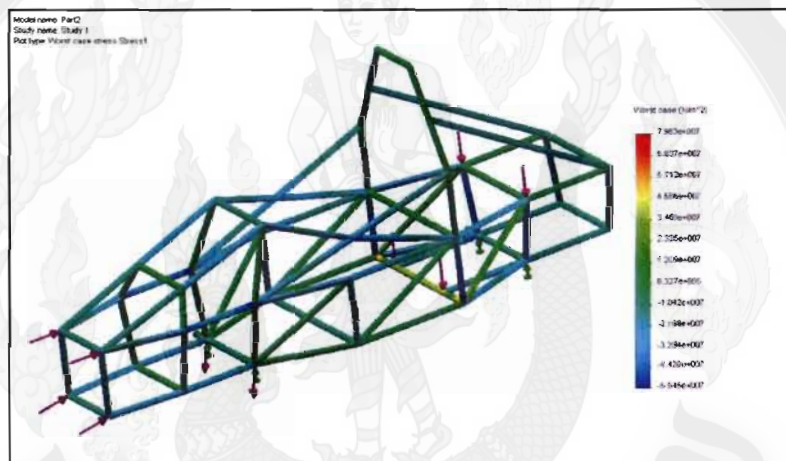
การคำนวณผล

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นในตอนแรกจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์โดยโปรแกรมจะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้น ก่อนที่จะนำมาประกอบกันเข้าเป็นระบบสมการขนาดใหญ่ แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ จากนั้นจึงแก้ระบบสมการรวมขนาดใหญ่ โดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด และขนาดของระบบสมการขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น หากสมการเชิงปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (linear partial differential equations) ระบบสมการนี้จะถูกแก้ไขเพียงครั้งเดียว ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก แต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (non linear) ระบบสมการนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำ (iteration) หลายรอบจนกว่าจะได้ค่าที่ผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้น โดยเฉพาะหากรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยเอลิเมนต์เป็นจำนวนมาก (ปราโมทย์, 2537)

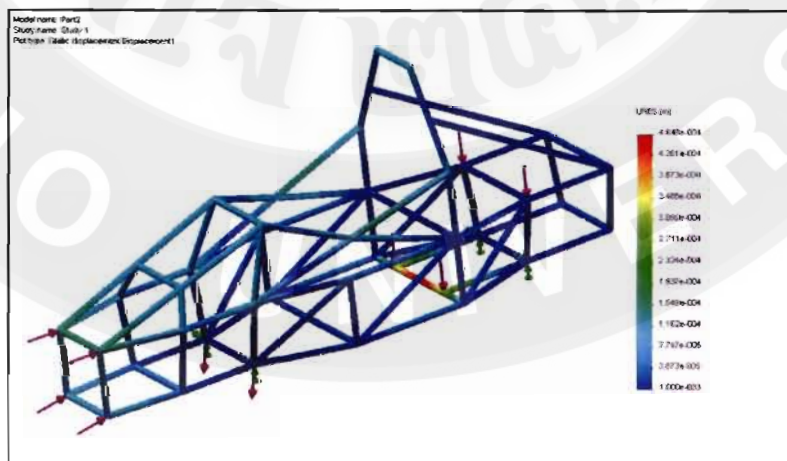
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลลัพธ์ที่แสดงชิ้นส่วนเอลิเมนต์ (FEA model) จะมีกระบวนการวิเคราะห์ที่มีขั้นตอนยุ่งยากซับซ้อน แต่คอมพิวเตอร์ปัจจุบันมีขีดความสามารถเพียงพอ จากนั้นโปรแกรมจะพิมพ์ผลและรายงานผลในรูปแบบไฟล์ที่สามารถแก้ไขได้ (interpretation) ซึ่งทำให้เราสามารถพิมพ์ข้อความ หมายเหตุ และข้อผิดพลาดเบื้องต้นได้โดยจะมีขั้นตอนในช่วงต้น 3 ช่วง คือ การสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ (finite element mesh)

และชิ้นส่วนแบบผลเฉลย (solving model) โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะแสดงได้หลายๆ อย่าง เช่น ความเค้น (stresses) ดังภาพ 14 และค่าระยะการเคลื่อนตัว (displacement) ดังภาพ 15 ซึ่งวิเคราะห์จากโครงสร้างของชิ้นงาน หรือวิเคราะห์จากอุณหภูมิ การแผ่ความร้อนและปริมาณความร้อน (heat flux) นำไปวิเคราะห์ความเค้น ความเครียดจากความร้อน ผู้ออกแบบจะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปตัดสินใจว่าผ่านหรือชิ้นงานเกิดความเสียหาย โดยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ โดยค่าความปลอดภัยจะใช้ทั้งความเค้นฟอนมิสเสส (von mises stresses) และความเค้นหลัก (principal stresses) มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นที่วัสดุจะยอมให้เกิด (สุภชัย และสถาพร, 2550)



ภาพ 14 การแสดงผลลัพธ์ค่าความเค้น (stresses) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง
ที่มา: สุภชัย และสถาพร (2550)



ภาพ 15 การแสดงผลลัพธ์ระยะการเคลื่อนตัว (displacement) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง
ที่มา: สุภชัย และสถาพร (2550)

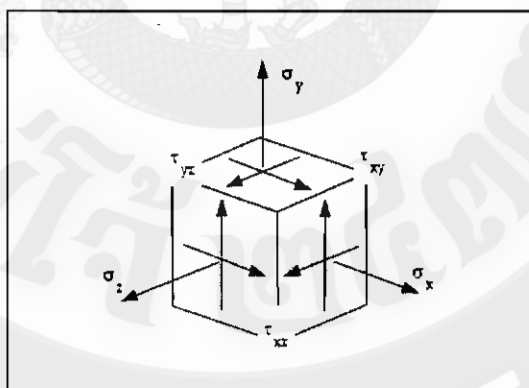
ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ

ในการสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ จะเป็นช่วงต้นของข้อผิดพลาด เรียกว่า Idealization errors ซึ่งเป็นการลดความซับซ้อนของชิ้นส่วนเพื่อให้การคำนวณใช้เวลาน้อยลง ชนิดของข้อผิดพลาดสามารถแยกย่อยได้ 3 ชนิด คือ

- ผิดพลาดจากการใช้งาน หรือเลือกวิธีการที่ผิด
- ผิดพลาดจากการป้อนค่าไม่ถูกต้องในช่วงการทำโมเดลคณิตศาสตร์
- ผิดพลาดจากช่วงการหาค่าผลเฉลย (solution errors)

ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการคำนวณของโปรแกรม COSMOSWorks™

ความเค้นหลัก ความเค้นชนิดนี้เกิดจากแรงกระทำในทิศทางมาตรฐาน 3 แนวแกน การเขียนตัวแปรแทนความเค้นในระบบ 3 มิติจะคล้ายกับระบบ 2 มิติ ในการหาความเค้นสูงสุดในแต่ละระนาบเรียกว่า ความเค้นหลัก (principle stress) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบที่มีค่าความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์สามารถเขียนแทนด้วยตัวแปร σ_1 , σ_2 และ σ_3 ชิ้นงานที่รับแรงภายนอก เมื่อวิเคราะห์แรงกระทำภายในค่อเอลิเมนต์แล้วจะมีความเค้นทั้งหมด 6 ตัวแปรที่เขียนแทนทิศทางครบทั้งหมด ดังภาพ 16 แล้วเขียนความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรดังสมการ (ศุภชัย และสถาพร, 2550)



ภาพ 16 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ

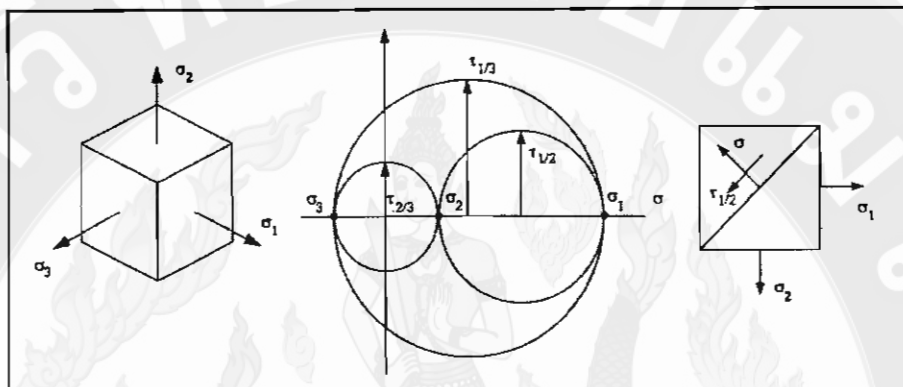
ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

$$\begin{aligned} &\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2) \\ &\sigma - (\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2) = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

เมื่อนำไปเขียนกราฟวงกลมโมห์ร์ (ภาพ 17) จะสามารถหาค่าของความเค้นหลักได้ $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ และความเค้นเฉือนสูงสุด โดยจะเกิดขึ้นตามความสัมพันธ์ของระนาบสองระนาบ ซึ่งเราสามารถหาความเค้นเฉือนสูงสุดจากความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนจากสมการ (10)

$$\tau_{1/2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \tau_{2/3} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \tau_{1/3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}; \quad (10)$$

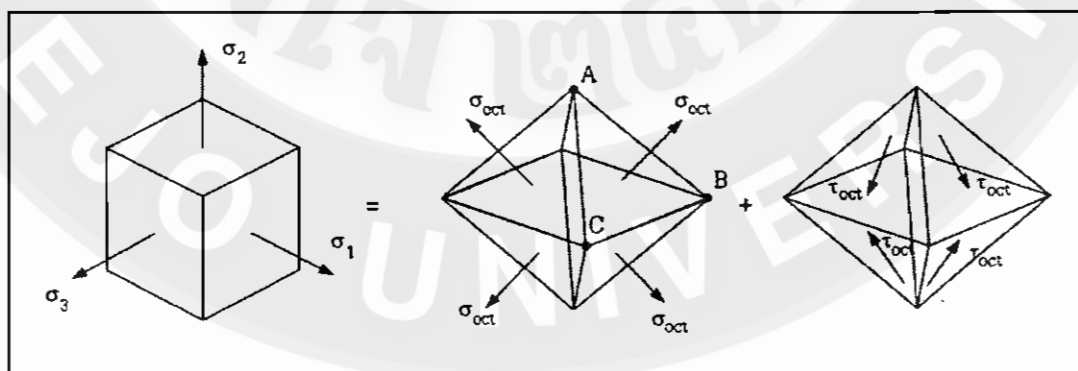
ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดสมบูรณ์ $\tau_{\max abs} = \tau_{1/3}$ เมื่อความเค้นหลักเกิดขึ้นตาม
เงื่อนไข $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$



ภาพ 17 วงกลมโมห์วิเคราะห์ความเค้น 3 มิติ

ที่มา: สุภชัย และสถาพร (2550)

ความเค้น Octahedral หลังจากการพิจารณาค่าความเค้นหลัก σ_1 , σ_2 และ σ_3 สามารถหาระนาบได้อีกระนาบหนึ่งโดยระนาบนี้จะเข้าไปตามตำแหน่ง ABC ซึ่งเรียกระนาบนี้ว่า ระนาบ Octahedral เราสามารถตัดมุมของแท่งสี่เหลี่ยมด้านออกได้แปดมุม หรือจะได้ทั้งหมด 8 ระนาบ และแต่ละระนาบจะมีขนาดของความเค้นเท่ากัน (สุภชัยและสถาพร, 2550)



ภาพ 18 ระนาบ Octahedral

ที่มา: สุภชัย และสถาพร (2550)

ในภาพ 18 จากการเขียนรูปอิสระ (free body) จะทำให้เห็นส่วนประกอบของความเค้น และเมื่อรวมแรงของแต่ละแนวแกนจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะอยู่ในสภาวะสมดุล จะทำให้สามารถหาแรงที่กระทำกับระนาบนั้นได้แล้วเรียกว่า แรง Octahedral ซึ่งเกิดขึ้นบนระนาบ ABC เมื่อนำค่าของแรงหารด้วยพื้นที่ที่จะทำให้ทราบค่าความเค้น เช่นแรงดึงฉากกับระนาบหารด้วยพื้นที่ระนาบเรียกว่า ความเค้นดึงฉาก Octahedral และเมื่อนำแรงที่ขนานกับระนาบหารด้วยพื้นที่ระนาบเรียกว่า ความเค้นเฉือน Octahedral สามารถหาขนาดของความเค้นได้จากสมการ (11)

$$\begin{aligned}\tau_{oct} &= \frac{1}{3}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2)^{1/2} \\ &= \frac{2}{3}(\tau_{1/2}^2 + \tau_{2/3}^2 + \tau_{1/3}^2)^{1/2} \\ &= \frac{1}{3}((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2))^{1/2} \\ \sigma_{oct} &= \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\end{aligned}\quad (11)$$

ความหนาแน่นของความเค้น (stress concentration) ชิ้นงานที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ เมื่อรับแรงที่มีขนาดคงที่ การกระจายของความเค้นจะมีค่าสม่ำเสมอคงที่ตลอดหน้าตัด แต่ในกรณีที่หน้าตัดมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันที เช่น ทำเป็นร่อง รูเจาะ และลบมุม การกระจายของความเค้นบนหน้าตัดตรงตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ผลของความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) ของพื้นที่หน้าตัดของแท่งวัสดุทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นซึ่งแสดงให้เห็นเป็นเส้นการไหลของความเค้น (stress trajectory) บนหน้าตัดที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้น สามารถคำนวณความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงจากความเค้นเฉลี่ย ($\sigma_{ave} = \frac{P}{A}$) ได้จากความสัมพันธ์ในสมการ (ศุภชัย และสถาพร, 2550)

$$K_t = \frac{\text{ความเค้นที่เกิดขึ้นจริง}}{\text{ความเค้นเฉลี่ย}}$$

$$\text{หรือ} \quad K_t = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{ave}} \quad (12)$$

โดย K_t = ค่าคงที่ความหนาแน่นของความเค้น
 σ_{act} = ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง
 σ_{ave} = ความเค้นเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง

ทฤษฎีความเสียหาย การออกแบบชิ้นส่วนให้สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย ผู้ออกแบบต้องแน่ใจว่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนไม่เกินค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้สร้างชิ้นส่วนนั้น ถ้าเป็นวัสดุประเภทเหนียวอ่อน จะให้ความสำคัญกับค่าความเค้นที่จุดคราก เพราะเป็นความเค้นที่ทำให้วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปร่างถาวร อันจะทำให้ชิ้นส่วนเสียหาย วัสดุที่มีคุณสมบัติเปราะหลายชนิด เช่น เหล็กหล่อ จะไม่มีความเค้นที่จุดคราก จึงต้องใช้ค่าความเค้นอัดประลัย เป็นเกณฑ์กำหนดความเสียหายในการออกแบบ ในงานออกแบบที่ใช้วัสดุเปราะจะต้องไม่ลืมว่าค่าความเค้นอัดประลัย มีค่ามากกว่าค่าความเค้นดึงประลัย ส่วนกรณีวัสดุเหนียวอ่อน ค่าความเค้นดึงประลัยกับค่าความเค้นอัดประลัยมีค่าเท่ากัน

วัสดุเหนียวอ่อนนั้นส่วนใหญ่จะรวมไปถึงโลหะและโพลิเมอร์ด้วย โดยปกติวัสดุเหนียวอ่อนจะมีความต้านทานการดึง และความต้านทานการอัดที่เหมือนกัน และมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและนิยมใช้อยู่ด้วยกัน 2 ทฤษฎี ได้แก่ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎี Distortion Energy Theory ดังในรายละเอียดต่อไปนี้

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด จากข้อสมมุติฐานว่าวัสดุเกิดความเสียหายขณะที่รับความเค้นเฉือนสูงสุด ซึ่งความเค้นเฉือนที่ทำให้เกิดความเสียหายในขณะที่ทดสอบแรงดึงจึงถือได้ว่าวัสดุเสียหายเมื่อเกิดการครากตัว ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความเค้นที่จุดคราก (สุภชัย และสถาพร, 2550)

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2(S.F.)} \quad (13)$$

โดย

$\tau_{\max}$ = ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด

S_y = ค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุ

$S.F.$ = ค่าความปลอดภัย

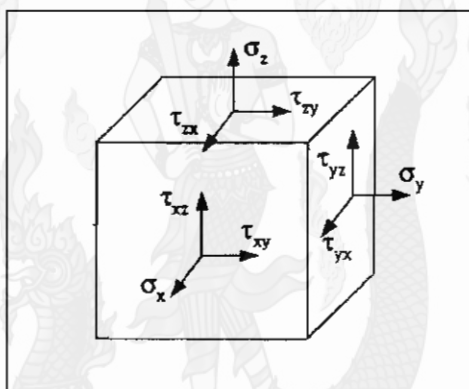
กรณีของชิ้นงานที่ใช้วัสดุเหนียวอ่อนมักจะเกิดการเสียหายจากการทดสอบแรงดึง ถ้าความแข็งแรงของวัสดุในการรับความเค้นเฉือนเท่ากับ $S_y/2$ และเพื่อเป็นการเผื่อความปลอดภัย ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ $S_y/(2S.F.)$ เราเรียกว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด แต่เมื่อนำไปใช้กับความเค้น 3 มิติ จะได้ว่า

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2(S.F.)} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (14)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{(S.F.)} \quad (15)$$

ทั้งนี้การหาค่าความเค้นหลักจะต้องพิจารณาค่าความเค้น $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ จึงเป็นการพิจารณาค่าความปลอดภัยต่อการรับแรงภายนอก

ความเค้นฟอนมิสเชส (von mises stress) ความเค้นฟอนมิสเชส เป็นที่รู้จักกันดี เพราะมักใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจากเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ จะมีส่วนประกอบความเค้น 6 ตัวแปร ได้แก่ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ ดังภาพ 19



ภาพ 19 ส่วนประกอบความเค้นในแต่ละระนาบ

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

สมการความเค้นฟอนมิสเชสสามารถเขียนในรูปตัวแปรความเค้นย่อยดังนี้

$$\sigma_{\text{vonmises}} = \sqrt{0.5[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (16)$$

ค่าความเค้นฟอนมิสเชส จะไม่คิดลบและเป็นเวกเตอร์เชิงปริมาณ ซึ่งจะต้องใช้ค่าความเค้นเพื่อเป็นตัวชี้ถึงค่าความปลอดภัยของชิ้นงาน โดยจะเทียบกับขีดความสามารถในการรับความเค้นของแต่ละวัสดุ (S_{ult}) สำหรับค่าความเค้นที่จุดคราก (S_u) หรือค่าความเค้นประลัย (S_u) จะใช้ในการคำนวณหาค่าความปลอดภัย ดังนี้

$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F.)} = \frac{S_y}{\sigma_{\text{vonmises}}} \quad (17)$$

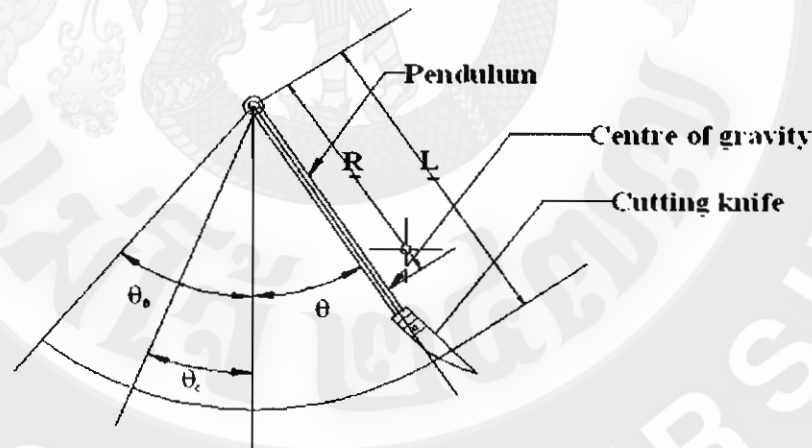
$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F.)} = \frac{S_u}{\sigma_{\text{vonmises}}} \quad (18)$$

โปรแกรม COSMOSWorks™ จะสามารถหาค่าความเค้นหลักในตัวแปร σ_1 , σ_2 , σ_3 โดยชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเปราะ สมการความปลอดภัยจะหาได้จากสมการการใช้ค่า σ_c จะดีกว่าการใช้ค่าความเค้นพอนมิสเชส โดยจะใช้ค่า σ_c พิจารณาเปรียบเทียบกับขีดความสามารถรับความเค้นดึง แล้วใช้ σ_3 พิจารณาเปรียบเทียบกับขีดความสามารถรับความเค้นอัด (S_c) โดยจะต้องพิจารณาค่าความปลอดภัยน้อยที่สุดจากคำตอบในสมการ ดังนี้ (ศุภชัย และสถาพร, 2550)

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_1} \text{ หรือ } S.F. = \frac{S_c}{\sigma_3} \quad (19)$$

การตกกระทบด้วยหลักการเพนดูลัม

พื้นฐานของการคำนวณเพนดูลัมเพื่อการตกกระทบจะใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Law of energy conservation) เพื่อจำลองหาความเร็วในการตกกระทบของตัวเพนดูลัมกับผลผลิตตัวอย่างที่ต้องการศึกษา นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการศึกษาหาพลังงานตกกระทบได้อีกด้วย



ภาพ 20 การตกกระทบด้วยหลักการเพนดูลัม

ที่มา: Visvanathan et al (1996)

ภาพ 20 แสดงการทดสอบด้วยเครื่องมือตัดด้วยหลักการเพนดูลัมซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อแขนเพนดูลัมอยู่ในสภาวะสมดุล (แนวตั้งฉาก) พลังงานศักย์สะสมมีค่าเป็นศูนย์ แต่เมื่อแขนถูกยกขึ้นสูงทำมุม θ กับจุดสมดุลหรือแนวตั้ง และตั้งระดับสมดุลผ่านจุดศูนย์ถ่วงเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล พลังงานศักย์สะสมหาได้จาก (Visvanathan et al, 1996)

$$E_s = mgh = mgR(1 - \cos\theta) \quad (20)$$

โดย E_s = พลังงานศักย์สะสมของเพนดูลัม (จูล)
 R = ระยะจากจุดหมุนของแขนเพนดูลัมถึงจุดศูนย์กลางมวล (เมตร)
 m = มวลของแขนเพนดูลัม (กิโลกรัม)

ถ้าปล่อยแขนเพนดูลัมจาก θ โดยไม่มีการตัดผ่านวัสดุ แขนเพนดูลัมจะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม θ_0 ในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานและความต้านทานของอากาศต่อเพนดูลัม คือ

$$E_f = mgR[(1 - \cos\theta) - (1 - \cos\theta_0)]$$

$$E_r = mgR(\cos\theta_0 - \cos\theta) \quad (21)$$

โดย E_r = พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและความต้านทานของอากาศ (จูล)

เมื่อติดตั้งใบมีดเข้ากับแขนเพนดูลัม แล้วปล่อยจากจุดใดจุดหนึ่งซึ่งทำมุม θ ใบมีดจะตัดผ่านผลส้มซึ่งวางอยู่ระหว่างจุดสมดุล และเคลื่อนที่ผ่านไปอีกด้านทำมุม θ_c (น้อยกว่า θ_0) ดังนั้นพลังงานตกกระดอน (E_o) จึงเท่ากับ

$$E_o = mgR(1 - \cos\theta_c) \quad (22)$$

เพราะฉะนั้นพลังงานที่ใช้ในการตัด (E_c) จึงเท่ากับผลต่างของพลังงานศักย์ (E_s) กับพลังงานตกกระดอน (E_o) และพลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทานและความต้านทานของอากาศ (E_r)

$$E_c = E_s - (E_r + E_o)$$

$$E_c = mgR[(1 - \cos\theta) - \{(\cos\theta_0 - \cos\theta) + (1 - \cos\theta_c)\}]$$

$$E_c = mgR(\cos\theta_c - \cos\theta_0) \quad (23)$$

โดย E_c = พลังงานศักย์สะสมที่ใช้ในการตัด (จูล)

โดยความเร็วของโบริดที่ติดอยู่บนแขนเพนดูลัม ณ ตำแหน่งสมดุล (ทำมุมศูนย์กับแนวตั้ง) หาได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงานนั่นคือ พลังงานศักย์เท่ากับพลังงานจลน์

$$mgh = \frac{mV^2}{2} \quad (24)$$

แต่ $V = \omega R \quad (25)$

ดังนั้น $mgh = \frac{m\omega^2 R^2}{2} \quad (26)$

ถ้ามวลของวัตถุรวมกันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของมวลจะทำให้

$$I = mR^2 \quad (27)$$

ดังนั้นสมการที่ 23 จึงกลายเป็น

$$mgh = \frac{I\omega^2}{2} = mgR(1 - \cos\theta) \quad (28)$$

$$\omega^2 = \frac{2mgR(1 - \cos\theta)}{I} \quad (29)$$

ถ้า L คือระยะระหว่างจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางของโบริดซึ่งยึดติดอยู่กับแขนเพนดูลัม ความเร็วของโบริดตัด (V_c) ที่จุดต่ำสุดหาได้จาก

$$V_c = \omega L = L \sqrt{\frac{2mgR(1 - \cos\theta)}{I}} \quad (30)$$

โดย V_c = ความเร็วของโบริดตัด (เมตร/วินาที)

ω = ความเร็วเชิงมุมของแขนเพนดูลัม ณ จุดศูนย์ถ่วง (เรเดียน/วินาที)

V = ความเร็วเชิงเส้นของแขนเพนดูลัม ณ จุดศูนย์ถ่วง (เมตร/วินาที)

I = โมเมนต์เฉื่อยของมวลรอบจุดหมุน (กิโลกรัม.เมตร²)

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรศิลป์ และวิชาญ (2537) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมัตแบบกด สามารถนำผลส้มใส่ลงในเครื่องได้โดยไม่ต้องทำการปอกเปลือก ซึ่งผลส้มที่ใส่ลงในเครื่องจะถูกผ่าออกเป็น 2 ส่วน ด้วยชุดคั้นผลส้มให้ผ่านใบมีด จากนั้นผลส้มก็จะถูกถาล์เลียงมาผ่านชุดกดผลส้มเพื่อทำการคั้นน้ำส้ม กากที่เหลือจากการคั้นจะถูกแยกออกจากกัน โดยอัดโนมัต โดยมีประสิทธิภาพในการคั้นน้ำส้มประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และสามารถคั้นได้เร็วกว่าการคั้นด้วยมือประมาณ 30 เท่า ที่ความเร็วของตัวรองรับผลส้มประมาณ 0.20 เมตรต่อวินาที

ทวิภูมิ ธนศิษฎ์ และมิลลิกา (2541) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมัตเพื่อใช้กับผลส้มที่มีขนาด 30-50 มิลลิเมตร มีระบบการทำงานที่สำคัญ 2 ระบบ คือ ระบบผ่าผลส้มและระบบคั้นน้ำส้ม โดยใช้เพลาค้นเพื่อทำการคั้นน้ำส้ม ผลการทดสอบพบว่า ระยะห่างระหว่างเพลาค้นกับถาดคั้นประมาณ 5 มิลลิเมตร ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด ในอัตราการคั้น 162-176 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าการคั้นด้วยแรงงานคนประมาณ 16-20 เท่า

ชนะทิศ และคณะ (2542) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มแบบอัดโนมัต ทำงานโดยใช้กระบอกสูบนิวเมตริกส์ควบคุมด้วยไฟฟ้า 1 กระบอกบีบผลส้มครั้งละ 2 ผล โดยมีการป้อนผลส้มสู่ชุดจานจ่าย ซึ่งชุดจานจ่ายนี้จะจ่ายผลส้มให้ชุดบีบครั้งละลูก ซึ่งหัวกดผลส้มได้ออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกรวยมุม 60 องศาใบมีดติดอยู่บนหัวกดเพื่อช่วยแหวกเปลือกส้ม และกรีดเปลือกส้ม ซึ่งเครื่องที่ทำการออกแบบนี้สามารถคั้นน้ำส้มได้ดีที่มีความดันลมป้อนเข้าสู่ระบบ 3 บาร์ เวลากดค้างของหัวกด 4 วินาที ได้อัตราการคั้นส้มประมาณ 1,093 ผลต่อชั่วโมง

ชัยวัฒน์ (2543) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำผลไม้ระดับครัวเรือน เป็นเครื่องคั้นน้ำและแยกกาก มีระบบการย่อยขนาดเนื้อผลไม้โดยใช้ลูกหนามชุด มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ชุดย่อยขนาดเนื้อผลไม้ ประกอบด้วยห้องย่อยพร้อมลูกหนามชุด และชุดคั้นน้ำแยกกาก ประกอบด้วย ห้องตะแกรงคั้นน้ำ ห้องแยกกาก และชุดใบกวาด มีความสามารถในการคั้น 200-250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

กรุง และสมภพ (2545) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี ซึ่งมีระบบการทำงานแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ระบบการถาล์เลียง ระบบการตัดขนาด ระบบการผ่า และระบบการคั้น ระบบการถาล์เลียงประกอบไปด้วยชุดโซ่ถาล์เลียงวางในแนวดิ่ง ปลายด้านบนและด้านล่างยึดติดกับเฟือง มีความยาว 304.8 เซนติเมตร ระบบการตัดขนาดประกอบไปด้วยชุดตัดขนาดจำนวน 3 ชุด ระบบการผ่าประกอบไปด้วยใบมีดสเตนเลส ติดตั้งอยู่ระหว่างชุดคั้นแบบโรตารีทั้งสองชุด และระบบการคั้นประกอบด้วยชุดคั้นแบบโรตารีจำนวนสองชุด วางขนานกันในแนวระดับสามารถคั้น

น้ำส้มได้ในอัตรา 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการคั้นเท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบของชุดคั้น 6 รอบต่อนาที

ชัยวัฒน์ และวิสันต์ (2546) ได้ออกแบบโมเดลเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบโดยไม่ต้องผ่าผลส้ม เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีที่ติดมากับเปลือกส้ม ผลการทดสอบพบว่า หัวเจาะแบบที่ 1 ขนาด 13 มิลลิเมตร ในการกดที่ความเร็ว 15 เซนติเมตรต่อนาที ให้เปอร์เซ็นต์การคั้นสูงสุด 97.81 และนำผลที่ได้ไปสร้างโมเดลชุดคั้นน้ำส้มแบบฟิงเกอร์ เพื่อลดปัญหาการปริแตกของเปลือกส้มขณะทำการคั้น จากการทดสอบได้เปอร์เซ็นต์การคั้นเฉลี่ย 86.62 จากนั้นนำโมเดลชุดคั้นน้ำส้มแบบฟิงเกอร์ไปสร้างเป็นโมเดลชุดคั้นส้มแบบคันโยก โดยใช้แรงงานคนในการคั้นและทำการทดสอบได้เปอร์เซ็นต์การคั้นเฉลี่ย 79.32 จากการนำน้ำส้มที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี และการคั้นด้วยมือ พบว่ามีสารปนเปื้อนน้อยกว่าระบบโรตารี แต่มากกว่าการคั้นด้วยมือ แต่ก้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

เสมอขวัญ และคณะ (2549) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมิตีต้นแบบที่มีหลักการทำงานแตกต่างไปจากเครื่องคั้นอัดโนมิตีแบบโรตารี แต่ยังอาศัยหลักการคั้นแบบบีบอัดคล้ายกับแบบโรตารี ชุดคั้นประกอบด้วยหัวคั้นที่ทำจากสแตนเลสถึงขึ้นรูปจำนวน 16 หัวคั้น ยึดอยู่บนแผ่นสแตนเลสจานกลมขนาด 365 มิลลิเมตร และหลุมคั้นหรือถ้วยจับผลส้มทำจากซูเปอร์รีนกลึงขึ้นรูปยึดอยู่บนก้านจำนวน 40 ถ้วย มีความสามารถในการคั้นสูงสุด 57.51 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการคั้นสูงสุด 95.77 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำส้มที่คั้นได้ และมีปริมาณน้ำส้มสูญเสีย 4.23 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำส้มที่คั้นได้ จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ต้องทำการคั้นอย่างน้อย 21,598 กิโลกรัมจึงจะคุ้มทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุน 0.31 ปี

สรุปกรอบแนวความคิดในการทำงานวิจัย

จากการสืบค้นงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการคั้นน้ำส้ม การศึกษาถึงรูปแบบการคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมิตี นั้นยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ยังเกิดปัญหาในเรื่องต้นทุนในการผลิต ความสามารถในการคั้น และสุขลักษณะทางอาหาร ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงเครื่องคั้นน้ำส้มที่สามารถคั้นน้ำส้มได้รวดเร็ว ถูกสุขลักษณะทางอาหาร และมีราคาถูก ซึ่งในการออกแบบ ต้องออกแบบให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และนำโปรแกรม COSMOSWorks™ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การออกแบบชุดคั้นน้ำส้ม จากนั้นจึงสร้างเป็นเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบและทำการทดสอบความเร็วรอบที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพและความสามารถในการคั้นน้ำส้มสูงสุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ จึงมีวิธีการศึกษาดังนี้ คือ การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลส้ม การออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมัตคั้นแบบ การทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมัต การหาปริมาณสารนารินจินจากน้ำส้มที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำส้มคั้นแบบ และการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังการดำเนินงานดังภาพ 21 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัสดุอุปกรณ์

วัตถุดิบ

ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง 500 กิโลกรัม

เครื่องมือ

1. เครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมัตคั้นแบบ
2. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ shimadzu รุ่น LC-20A
3. อุปกรณ์ทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ยี่ห้อ TA รุ่น XT-Plus
4. อุปกรณ์ทดสอบหาค่าแรงเฉือน (pendulum impact tester) ยี่ห้อ GUNT HAMBURG รุ่น WP-400
5. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง
6. คอมพิวเตอร์
7. นาฬิกาจับเวลา
8. เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่
2. ขวดปรับปริมาตร
3. ไมโครปิเปต
4. กระดาษกรอง

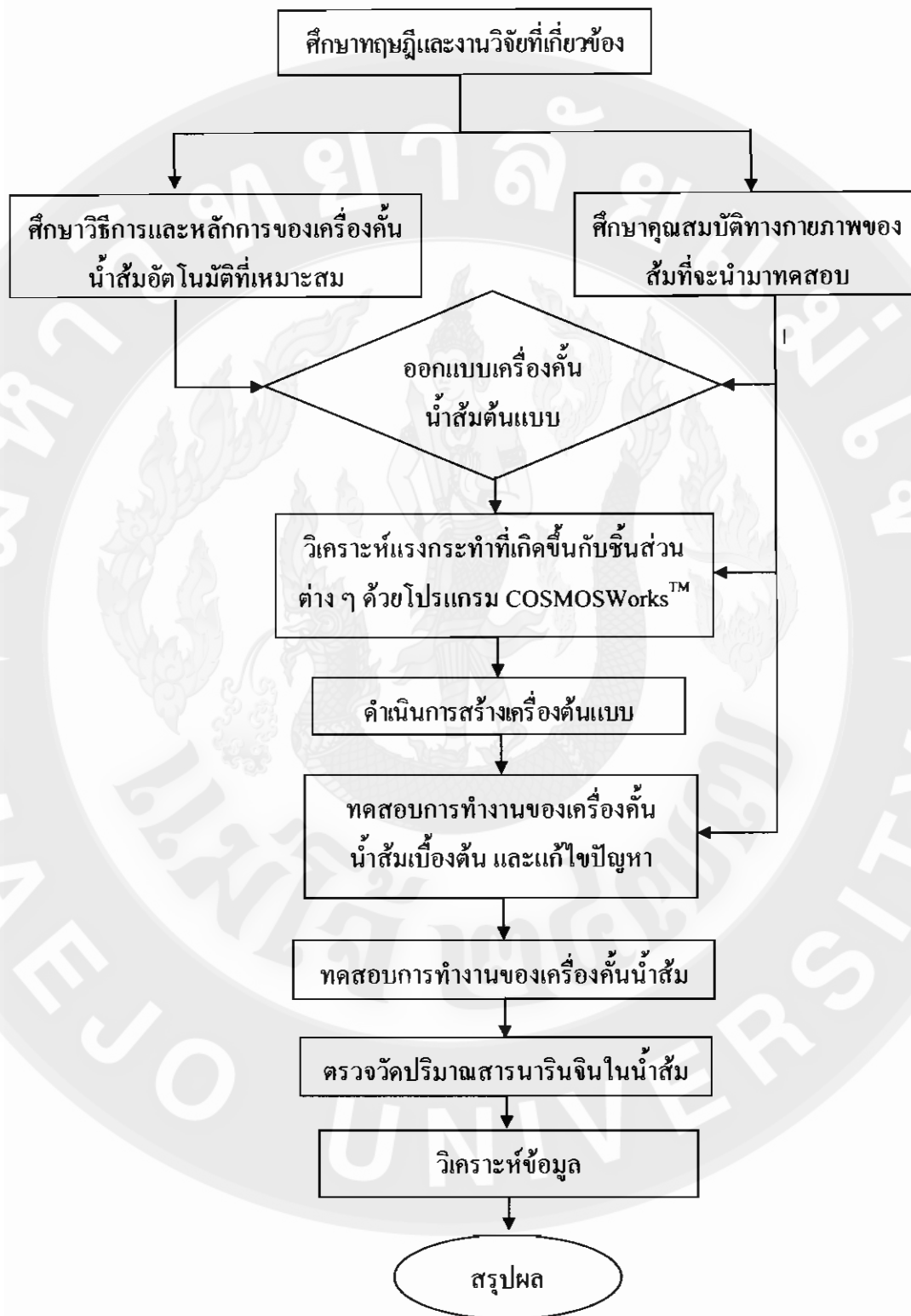
สารเคมี

1. สารมาตรฐานนารินจิน
2. เมทิลแอลกอฮอล์
3. น้ำกลั่น
4. อะซีโตไนไตรต์

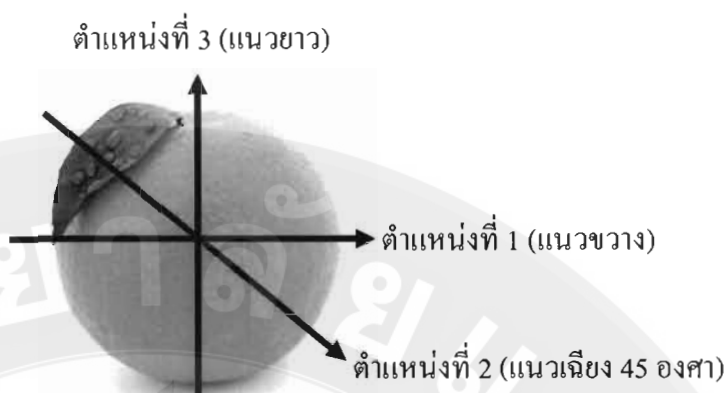
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลส้ม

สมบัติทางกายภาพทำการศึกษานับสมบัติที่มีผลต่อการคั้นน้ำส้ม ซึ่งได้แก่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลส้ม ความหนาของเปลือกส้ม มวลของผลส้ม แรงกดอัด และแรงผ่าผลส้ม โดยส้มที่ใช้ในการทดสอบเป็นส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง การวัดขนาดต่าง ๆ ของส้มใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ แบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง มวลของผลส้มใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง การทดสอบหาแรงกดอัดที่ใช้คั้นน้ำส้ม วัดโดยอุปกรณ์ทดสอบเอนกประสงค์ (universal testing machine) ที่ระยะห่างชุดหัวคั้นและหลุมคั้น 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร ทำการวัด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง) ตำแหน่งที่ 2 (แนวเฉียง 45 องศา) และตำแหน่งที่ 3 (แนวยาว) การทดสอบหาแรงฉีกวัดโดยอุปกรณ์ทดสอบหาค่าแรงฉีก (pendulum impact tester) ทำการวัด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง) ตำแหน่งที่ 2 (แนวเฉียง 45 องศา) และตำแหน่งที่ 3 (แนวยาว) ดังภาพ 22 ที่มุมปล่อย 3 ระดับ คือ 150, 120 และ 80 องศา โดยทดสอบกับผลส้ม 3 ขนาดคือ เบอร์ 2 (45-50 มิลลิเมตร) เบอร์ 3 (50-55 มิลลิเมตร) และ เบอร์ 4 (55-60 มิลลิเมตร) ขนาดละ 50 ผล



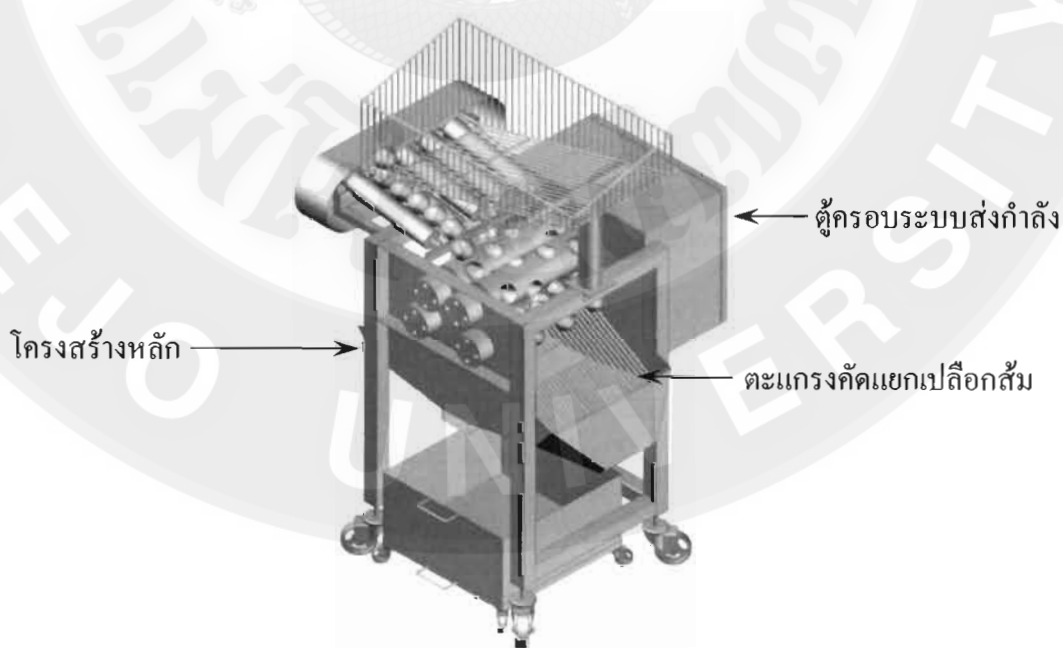
ภาพ 21 แผนผังการดำเนินงาน



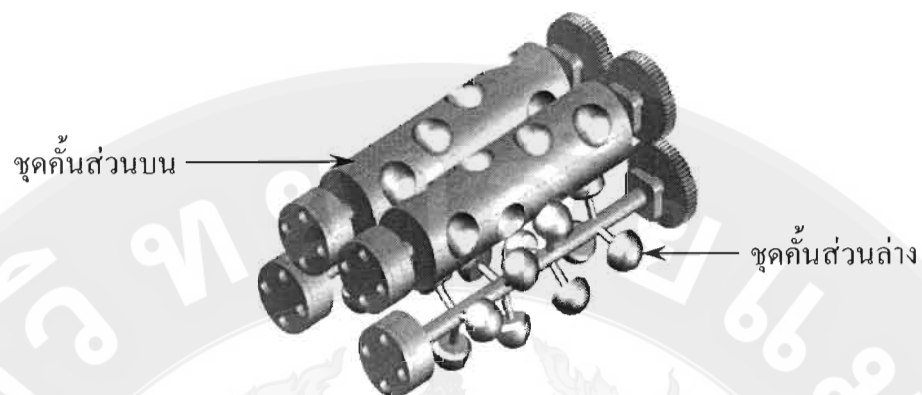
ภาพ 22 ตำแหน่งทดสอบหาแรงเฉือน

การออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบ

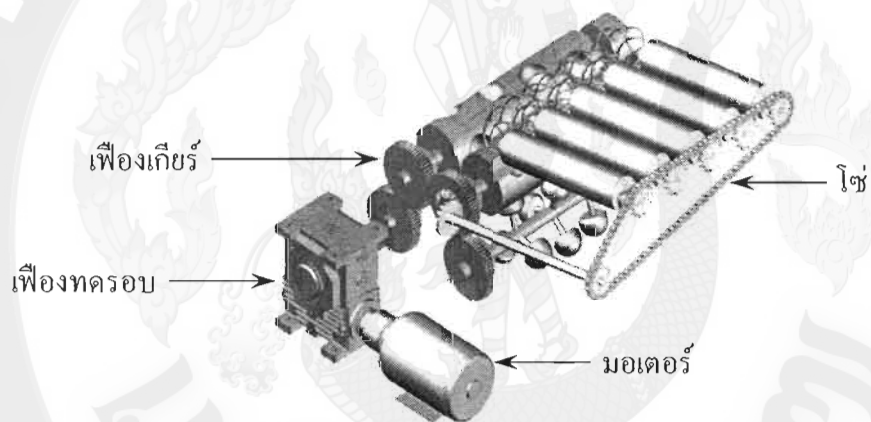
ใช้โปรแกรม SolidWorks™ ในการออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนต่างๆ อาทิ โครงสร้างหลัก ชุดคั้น ระบบส่งกำลัง ระบบลำเลียงผลส้ม ระบบคัดแยกเปลือกและน้ำส้ม เป็นต้น ดังแสดงในภาพ 23-26 โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของส้ม การทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาประกอบการออกแบบ



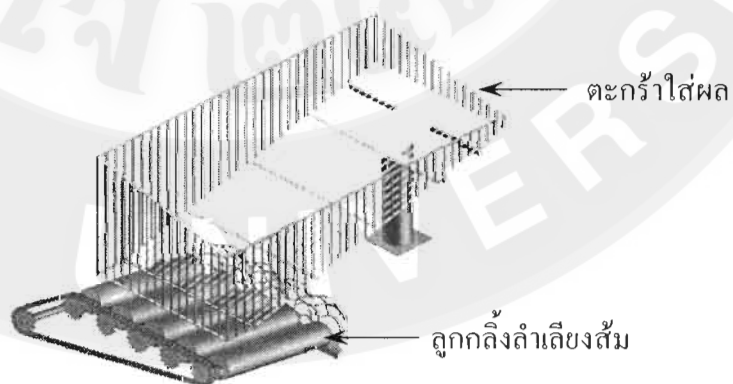
ภาพ 23 เครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ



ภาพ 24 ชุดคั่น



ภาพ 25 ระบบส่งกำลัง



ภาพ 26 ระบบลำเลียงผลส้ม

ในส่วนของคุณลักษณะเมื่อทำการออกแบบแล้วจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม COSMOSWorks™ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยกำหนดเงื่อนไขขอบและรายละเอียดการวิเคราะห์ในตาราง 3

ตาราง 3 เงื่อนไขขอบและรายละเอียดการวิเคราะห์

เงื่อนไขขอบและ รายละเอียดการวิเคราะห์	ก้านหัวคัน	หัวคัน	ชุดชิ้นส่วนบน
Analysis type	Static	Static	Static
Solver type	FFEPlus	FFEPlus	FFEPlus
Material	AISI 304	PE highdensity	AISI 304
Material Model Type	Linear Elastic	Linear Elastic	Linear Elastic
	Isotropic	Isotropic	Isotropic
Restraint type	Fixed on 1 Face	Fixed on 1 Face	Bearing Support on 2 Face
Loading type	Sequential Loading on 1 Face	Sequential Loading on 1 Face	Sequential Loading on 4 Face
Mesh Type	Solid Mesh	Solid Mesh	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh	Standard mesh	Standard mesh
Unit system	SI	SI	SI

การทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโนมัต

การทดสอบสมรรถนะในการทำงานอาศัยน้ำหนักของผลส้มและน้ำส้มเป็นเกณฑ์ ที่ความเร็วรอบของชุดคัน 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคัน 3 ระดับคือ 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร และขนาดผลส้ม 3 ขนาดคือ เบอร์ 2 (45-50 มิลลิเมตร) เบอร์ 3 (50-55 มิลลิเมตร) และเบอร์ 4 (55-60 มิลลิเมตร) โดยจัดการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล และใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 กิโลกรัม โดยมีค่าชี้ผลดังต่อไปนี้

- ความสามารถในการคั้นผลส้ม

$$\text{ความสามารถในการคั้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)} = \frac{\text{น้ำหนักส้มผลสดที่คั้นได้ (กิโลกรัม)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการคั้น (ชั่วโมง)}}$$

- ความสามารถในการคั้นน้ำส้ม

$$\text{ความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำส้มที่คั้นได้ (กิโลกรัม)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการคั้น (ชั่วโมง)}}$$

- ประสิทธิภาพการคั้น

$$\text{ประสิทธิภาพการคั้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำส้มที่คั้นได้ (กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักน้ำส้มที่มีทั้งหมด (กิโลกรัม)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิตินั้น เพื่อให้ทราบถึงการปรับตั้งเครื่องและการใช้งานให้มีความเหมาะสมมากที่สุด จึงใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธีการทดสอบแบบจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test)

การหาปริมาณสารนารินจินในน้ำส้ม

นารินจิน เป็นสารประกอบซึ่งทำให้เกิดรสขมในพืชตระกูลส้ม เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความขมที่เจือปนมาจากขั้นตอนในการคั้นน้ำส้มจากเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ จึงมีการตรวจวัดปริมาณสารนารินจินด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography หรือ HPLC เพื่อหาปริมาณสารนารินจินที่เจือปนมากับน้ำส้ม โดยใช้ตัวอย่างน้ำส้มจากการคั้น 4 วิธีคือ การคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ การคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารีทั่วไป การคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน และการคั้นน้ำส้มด้วยมือ โดยขั้นตอนในการหาปริมาณสารนารินจินจากน้ำส้ม ปฏิบัติตามวิธีการของ Ohta และ Hasegawa (1995) โดยใช้คอลัมน์ Platinum EPS C18 ตัวทำละลายที่ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่าง (Mobile phase/Solvent) เป็น Acetonitril 20 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ด้วยอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และตรวจวัดสัญญาณที่ 280 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุน ผลการตอบแทนในการทำงาน และจุดคุ้มทุน

- ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ประกอบไปด้วย ต้นทุนคงที่ (fixed cost) และต้นทุนผันแปร (variable cost) เพราะการที่จะประมาณค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จำเป็นต้องทราบว่าเมื่อปริมาณงานที่เปลี่ยนแปลงไปต้นทุนจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ถ้าหากต้นทุนรายการนั้นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณงานเปลี่ยนไป ต้นทุนนั้นคือ ต้นทุนคงที่ ส่วนถ้าต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายรายการใดมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีปริมาณงานที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ต้นทุนนั้นคือ ต้นทุนผันแปร สำหรับต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาและค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการใช้งาน ส่วนต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งแปรผันตามการใช้งานของเครื่อง (เพ็ญจันทร์, 2552) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลกำหนดให้

โดยที่	TC	= ค่าใช้จ่ายรวมจากการคั้นน้ำส้ม (บาทต่อปี)
	FC	= ต้นทุนคงที่ (บาทต่อปี)
	VC	= ต้นทุนผันแปร (บาทต่อปี)
	PBP	= ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
	P	= ราคาต้นทุนของเครื่อง (บาท)
	S	= มูลค่าซาก (บาท)
	D	= ค่าเสื่อมราคา (บาทต่อปี)
	Y	= อายุการใช้งาน (ปี)
	I	= ค่าดอกเบี้ย (บาทต่อปี)
	R&M	= ค่าซ่อมบำรุง (บาทต่อวัน)
	A	= จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี (วันต่อปี)
	h	= ชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมงต่อวัน)
	Cap	= ความสามารถในการทำงานของเครื่อง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
	CR	= ค่าจ้างในการคั้นน้ำส้มต่อกิโลกรัม (บาท)
	L	= ค่าแรงงาน (บาทต่อคนต่อวัน)
	E	= อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อวัน)
	e	= อัตราค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

ดังนั้น

$$TC = FC + VC \quad (31)$$

เมื่อ $FC = D + I \quad (32)$

และ $VC = L + E + R + M \quad (33)$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อกิโลกรัม)} = \frac{TC}{(Cap)(h)(A)} \quad (34)$$

- ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาจากการเริ่มลงทุนจนถึงที่เวลารายได้สุทธิเฉลี่ยต่อปีจากการใช้เครื่องคั้นน้ำส้มมีค่าเท่ากับต้นทุนซึ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิ}} \quad (35)$$

- ผลตอบแทนในการทำงาน ได้จากส่วนแตกต่างระหว่างรายได้จากการคั้นของเครื่องกับค่าใช้จ่ายจากการคั้นน้ำส้ม ซึ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ว่า

$$\text{ผลตอบแทนสุทธิ} = \text{รายได้จากการคั้น} - \text{ค่าใช้จ่ายรวมจากการคั้นน้ำส้ม} \quad (36)$$

$$\text{ผลตอบแทนสุทธิ(บาท/ปี)} = [(CR)(Cap)(h)(A) - TC] \quad (37)$$

- จุดคุ้มทุน หมายถึง จุดที่รายได้และรายจ่าย (ต้นทุน) เท่ากัน หรือเป็นจุดที่กำไรเท่ากับศูนย์ เพื่อให้สามารถศึกษาผลกระทบของผลกำไรหรือขาดทุนจากการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณการผลิตหรือขายและใช้ประโยชน์จากการตัดสินใจต่าง ๆ สามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาคำนวณและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุนและผลกำไร (เพ็ญจันทร์, 2552)

$$\text{จุดคุ้มทุน (กิโลกรัม)} = \frac{\text{ราคาเครื่อง}}{\text{อัตราราคาน้ำส้มต่อกิโลกรัม} - \text{ค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัม}} \quad (38)$$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของส้ม

สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษานี้ เน้นสมบัติที่มีผลต่อการคั้นน้ำส้ม ซึ่งได้แก่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลส้ม ความหนาของเปลือกส้ม มวลของผลส้ม แรงกดอัดและแรงผ่าผลส้ม โดยผลการศึกษาสมบัติเบื้องต้นแสดงในตาราง 3

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของส้ม

ขนาดผลส้ม (เบอร์)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ความหนาของ เปลือก (มิลลิเมตร)	มวล (กรัม)
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3		
2	47.35±1.37	47.47±1.29	43.74±1.55	2.40±0.09	57.95±0.88
3	52.39±1.36	52.57±1.28	49.01±1.57	2.49±0.13	81.70±1.96
4	57.49±1.37	57.84±1.28	51.41±1.58	2.86±0.17	101.66±2.33

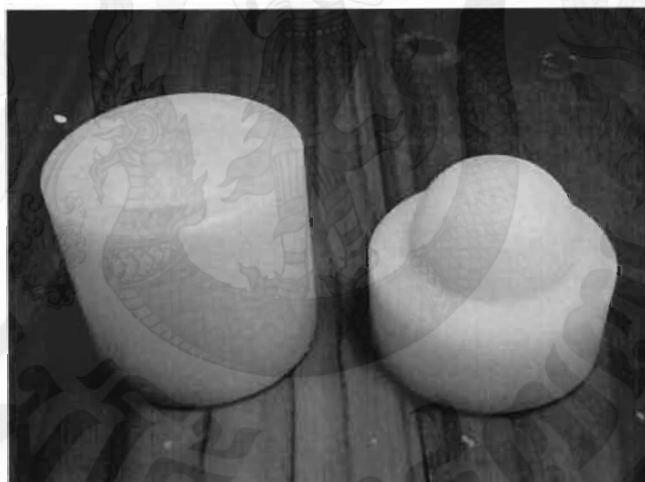
จากตารางผนวก 1-3 สามารถแสดงเป็นค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของส้ม ดังตาราง 3 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เส้นผ่านศูนย์กลางผลส้มในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งวัดตามแนวเฉียงมีขนาดใหญ่ที่สุด โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และมวล จะเพิ่มขึ้นตามขนาดผลส้ม จากข้อมูลที่ได้จึงนำมาพิจารณาในการออกแบบชุดคั้น โดยให้ขนาดความโตของลูกคั้นและหลุมคั้นให้สามารถรองรับกับขนาดของผลส้มที่ 40-60 มิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างลูกคั้นและหลุมคั้นไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร

ผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับการบีบคั้นผลส้ม

การวัดแรงกดอัดที่ใช้สำหรับบีบคั้นน้ำส้ม ทดสอบโดยอุปกรณ์ทดสอบเอนกประสงค์ ดังภาพ 27 เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและรองรับกับลักษณะการทำงานจริงของการคั้น จึงได้ออกแบบชุดหัวคั้นและหลุมคั้นสำหรับเพื่อใช้ในการทดสอบ ดังภาพ 28 โดยใช้ชุดเปอร์ลิเนกลิ้งขึ้นรูปออกแบบให้หัวคั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ถ้วยคั้นมีความโต 60 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบ



ภาพ 27 การทดสอบหาค่าแรงกดอัด



ภาพ 28 ชูคหัวคั่นและหลุมคั่นที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบหาค่าแรงที่ใช้ในการกดอัดกับผลสัมเบอร์ 2, 3 และ 4 ที่ระยะห่างชูคคั่น 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร ทำการวัด 3 ตำแหน่ง คือตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง) ตำแหน่งที่ 2 (แนวเฉียง 45 องศา) และตำแหน่งที่ 3 (แนวยาว) มีผลการทดสอบแสดงในตารางผนวก 4 พบว่า เมื่อหัวคั่นกดอัดผลสัมที่รองรับด้วยหลุมคั่นจะใช้แรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ยคือ 512.55 นิวตัน เมื่อให้ระยะห่างระหว่างหลุมคั่นกับหัวคั่นน้อยสุด คือ 2 มิลลิเมตร ใช้กับผลสัมเบอร์ 4 และกดอัดตามแนวยาว ซึ่งแรงกดอัดสูงสุดนี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบชูคคั่น (หลุมคั่นและหัวคั่น)

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีขนาดผลสัม ระยะห่างชูคกดอัดและตำแหน่งการวัดอย่างน้อย 1 ระดับที่ทำให้ประสิทธิภาพการคั่น และแรงกดอัดแตกต่างกัน (ตารางผนวก 5-7) เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องแบบจับคู่พหุคูณ (multiple

comparison test) ด้วยวิธีการของ DUNCAN พบว่าประสิทธิภาพการคั้นของผลส้มเบอร์ 3 มีค่าสูงสุด และแรงกดอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดผลส้ม (ตาราง 4) ในขณะที่ระยะห่างชุดกดอัดมีผลให้ตัวแปรทั้งสองแปรผกผัน (ตาราง 5) ส่วนตำแหน่งการวัดนั้นไม่ผลต่อแรงกดอัด แต่ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการคั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 6) โดยที่แรงกดอัดในตำแหน่งที่ 3 มีค่าสูงสุดเนื่องจากเมื่อผ่าผลส้มในแนวยาวจะทำให้กลีบส้มไม่ถูกตัดจึงทำให้ต้องใช้แรงกดอัดมากขึ้นเพื่อบีบคั้นให้น้ำส้มแยกออกมา

ตาราง 5 ผลการเปรียบเทียบขนาดผลส้มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัด

ขนาดผลส้ม (เบอร์)	ประสิทธิภาพการคั้น (ร้อยละ)	แรงกดอัด (นิวตัน)
2	94.37±0.21 ^a	447.48±1.08 ^a
3	94.81±0.20 ^b	467.80±1.27 ^b
4	92.23±0.21 ^c	483.49±1.15 ^c

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัดที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 6 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดกดอัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัด

ระยะห่างชุดกดอัด (มิลลิเมตร)	ประสิทธิภาพการคั้น (ร้อยละ)	แรงกดอัด (นิวตัน)
2	96.37±0.19 ^a	495.28±1.13 ^a
2.5	94.22±0.22 ^b	466.82±1.15 ^b
3	90.83±0.24 ^c	436.67±1.28 ^c

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัดที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 7 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคันและแรงกดอัด

ตำแหน่งการวัด	ประสิทธิภาพการคัน (ร้อยละ)	แรงกดอัด (นิวตัน)
1	93.68±0.18 ^a	461.52±1.17 ^a
2	93.85±0.20 ^a	464.37±1.23 ^b
3	93.89±0.19 ^a	472.87±1.19 ^c

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการคันและแรงกดอัดที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับการผ่าผลส้ม

การหาค่าแรงที่ใช้สำหรับการผ่าผลส้ม ได้ดัดแปลงเครื่องทดสอบแรงกระแทก (pendulum impact tester) โดยการติดตั้งใบมีดไว้ที่ปลายแขนของเครื่องมือทดสอบ ดังภาพ 29 แล้วทดสอบผ่าผลส้มเบอร์ 2, 3 และ 4 ทำการวัด 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง) ตำแหน่งที่ 2 (แนวเฉียง 45 องศา) และตำแหน่งที่ 3 (แนวยาว) ที่ความเร็วใบมีด 3.23 (มุมปล่อย 90 องศา), 3.96 (มุมปล่อย 120 องศา) และ 4.42 (มุมปล่อย 150 องศา) เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบแสดงในตารางผนวก 8 พบว่าแรงที่ใช้ผ่าผลส้มสูงสุดคือ 37.58 นิวตัน ที่ความเร็วใบมีด 4.42 เมตรต่อวินาที กับผลส้มเบอร์ 4 และผ่าที่ตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง) ซึ่งแรงที่ใช้ผ่าผลส้มสูงสุดนี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบชุดคัน (หลุมคัน) และใบมีดผ่าผลส้ม



ภาพ 29 การทดสอบหาค่าแรงที่ใช้ผ่าผลส้มด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (anova) พบว่ามีความเร็วใบมีด ขนาดผลส้ม และตำแหน่งการวัดอย่างน้อย 1 ระดับที่ทำให้แรงที่ใช้ผ่าผลส้มแตกต่างกัน (ตารางผนวก 9-11) เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยแบบจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) ด้วยวิธีการของ DUNCAN พบว่าแรงที่ใช้ผ่าผลส้มมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วใบมีด (ตาราง 7) และขนาดผลส้ม (ตาราง 8) ในขณะที่ตำแหน่งการวัดมีผลให้แรงที่ใช้ผ่าผลส้มมีค่าแปรผกผัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 9)

ตาราง 8 ผลการเปรียบเทียบความเร็วใบมีดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม

ความเร็วใบมีด (เมตรต่อวินาที)	แรงที่ใช้ผ่าผลส้ม (นิวตัน)
3.23	30.12 ^a
3.96	31.23 ^b
4.42	31.50 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 9 ผลการเปรียบเทียบขนาดผลส้มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม

ขนาดผลส้ม (เบอร์)	แรงที่ใช้ผ่าผลส้ม (นิวตัน)
2	27.50 ^a
3	32.00 ^b
4	33.35 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

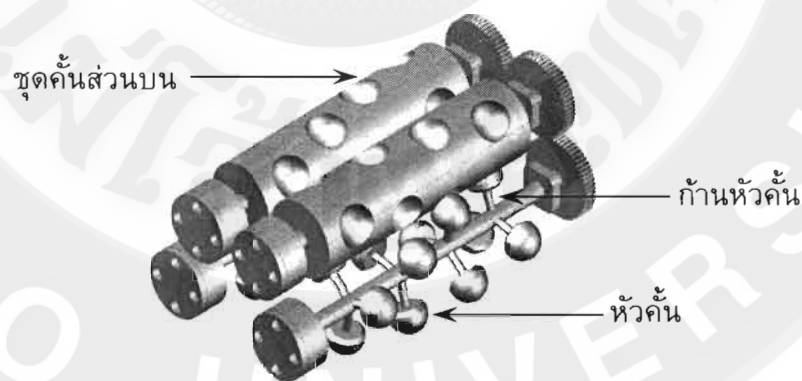
ตาราง 10 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม

ตำแหน่งการวัด	แรงที่ใช้ผ่าผลส้ม (นิวตัน)
1	33.48 ^a
2	30.32 ^b
3	29.06 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดคั่นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดคั่นแบ่งเป็น 3 ชิ้นส่วนคือ ก้านหัวคั่น หัวคั่น และชุดคั่นส่วนบน ดังแสดงในภาพ 30 โดยกำหนดแรงกระทำด้วยค่าที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของส้ม ใช้คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างคือ สแตนเลสเกรด 304 (AISI 304) และ PE highdensity ซึ่งมีค่าดังแสดงในตารางผนวก 12 และ 13



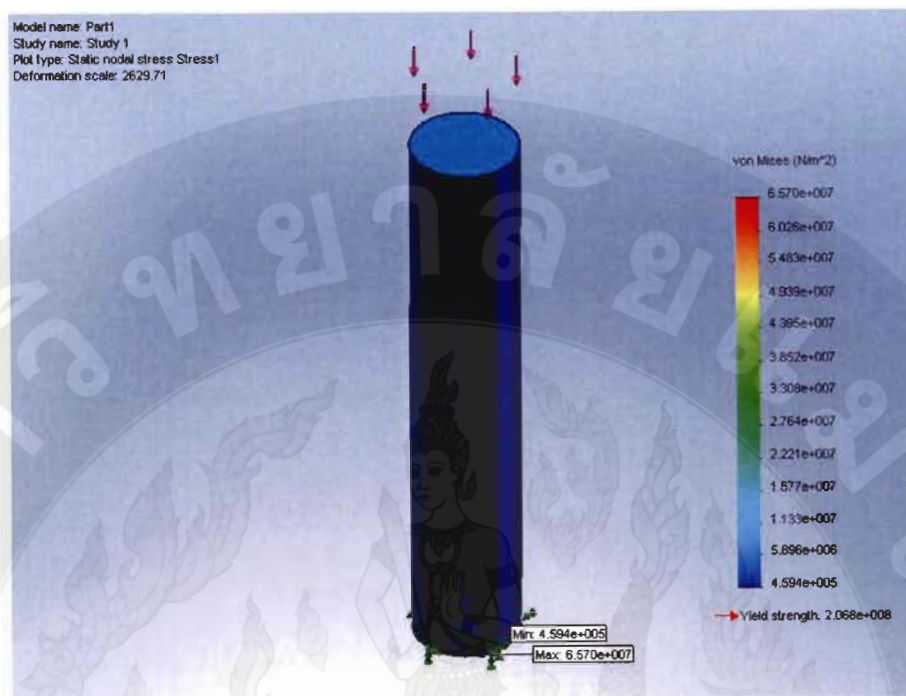
ภาพ 30 ชิ้นส่วนของชุดคั่นน้ำส้ม

ผลการวิเคราะห์ก้านหัวคัน

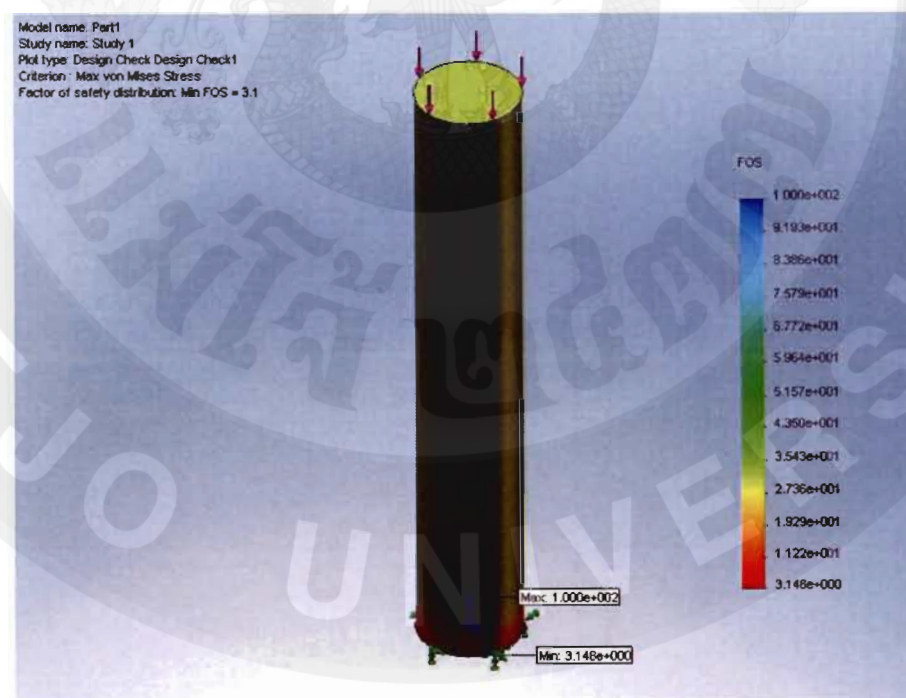
การวิเคราะห์ก้านหัวคันนั้นใช้แรงกระทำที่ได้จากผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับการบีบคันผลส้ม ซึ่งใช้แรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ยคือ 512.55 นิวตัน กำหนดให้จุดจับยึดเป็นแบบ fixed ทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 6.57007×10^7 นิวตันต่อตารางเมตร ดังแสดงในภาพ 31 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength ของวัสดุ AISI 304 ทำให้ก้านหัวคันนี้สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ได้ค่า factor of safety distribution ต่ำสุดมีค่า 3.148 ดังแสดงในภาพ 32 ได้ค่า Resultant displacement สูงสุดมีค่า 2.28397×10^{-6} เมตร ดังแสดงในภาพ 33 และได้ค่า Equivalent strain มีค่าสูงสุด 0.000122 ดังแสดงในภาพ 34 ส่วนรายละเอียดอื่น ๆ ในการวิเคราะห์แสดงในตาราง 10

ตาราง 11 รายละเอียดการวิเคราะห์ก้านหัวคัน

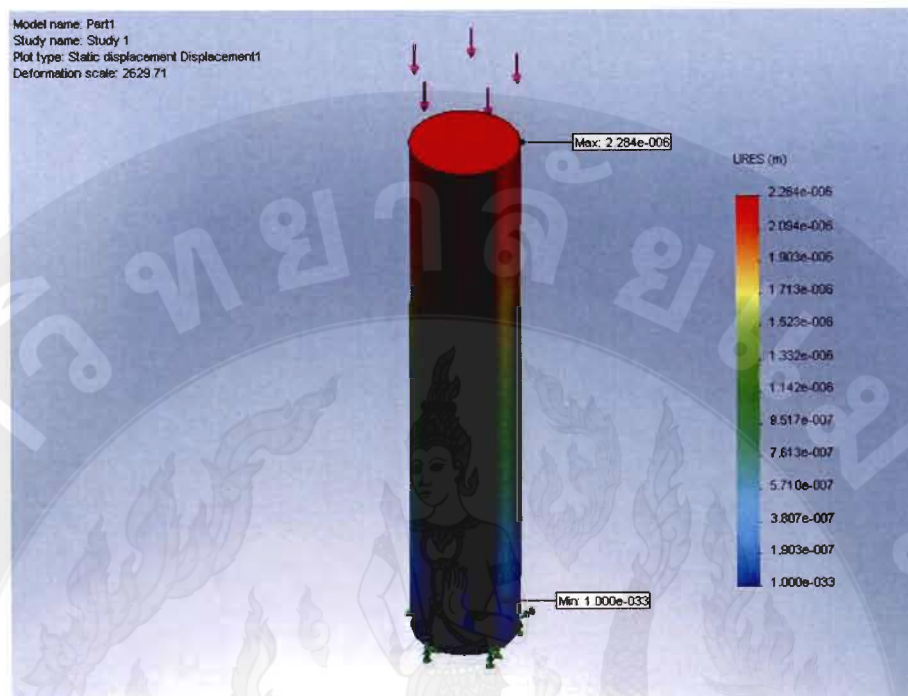
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress	VON: von mises stress	459372 N/m ²	0.260589 mm,	6.57007×10^7	4.33013 mm,
		Node: 5103	0.607959 mm,	N/m ²	0 mm,
			1.28212 mm	Node: 51	2.5 mm
Displacement	URES: Resultant displacement	0 m	-4.33013 mm,	2.28397×10^{-6} m	3.40086 mm,
		Node: 44	0 mm,	Node: 7792	60 mm,
			2.5 mm		-3.66526 mm
Strain	ESTRN: Equivalent strain	8.564×10^{-7}	-0.138402 mm,	0.000122	0.547099 mm,
		Element:	0.931193 mm,	Element: 2830	0.651609 mm,
		5671	-0.198762 mm)		-4.66499 mm



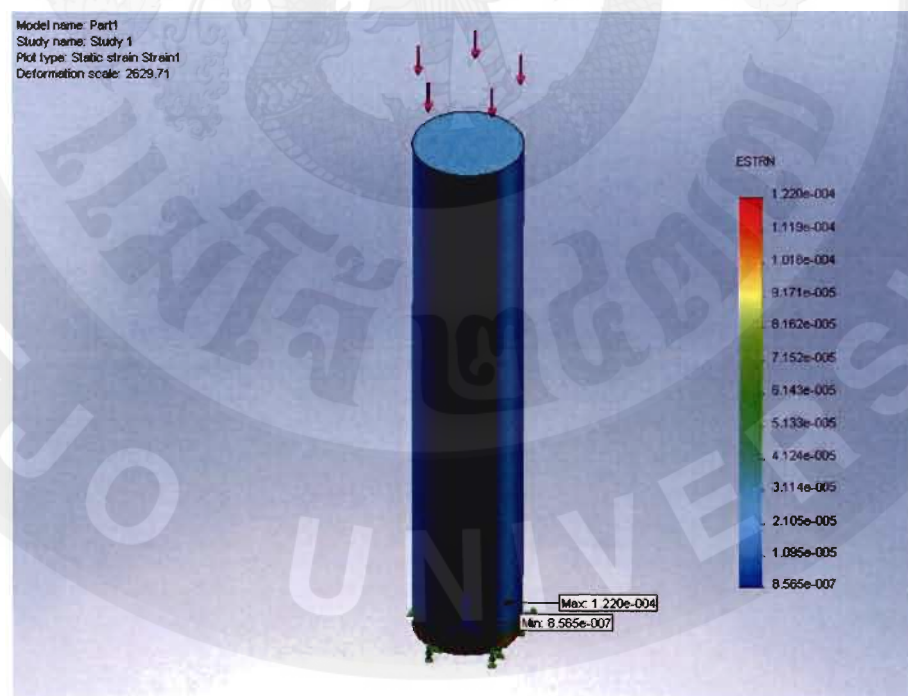
ภาพ 31 แผนภาพค่า von mises stress ก้านหัวคัน



ภาพ 32 แผนภาพค่า factor of safety distribution ก้านหัวคัน



ภาพ 33 แผนภาพสีค่า resultant displacement ก้านหัวคัน



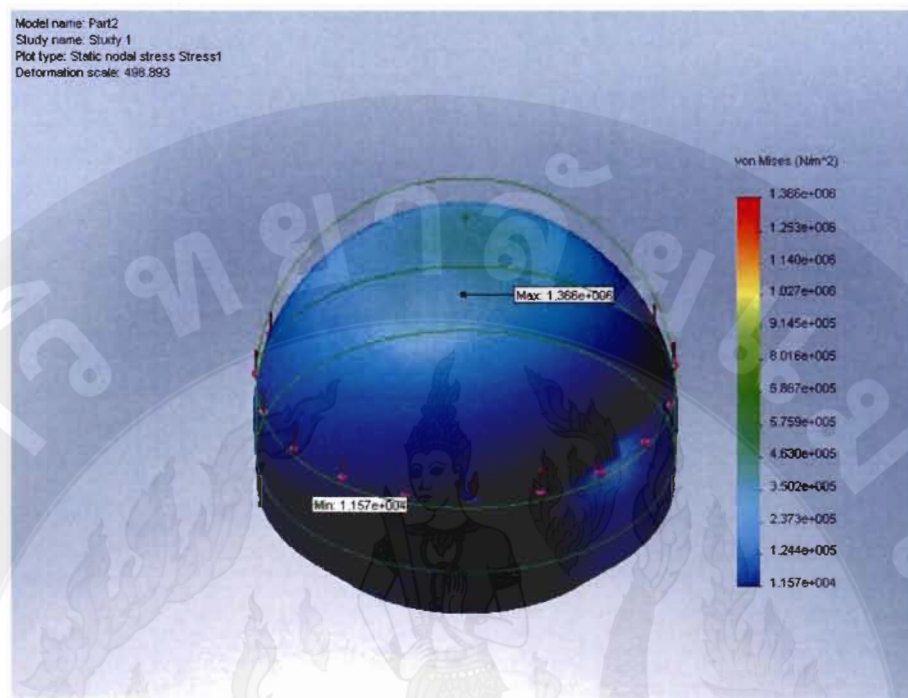
ภาพ 34 แผนภาพสีค่า equivalent strain ก้านหัวคัน

ผลการวิเคราะห์ห้วคั่น

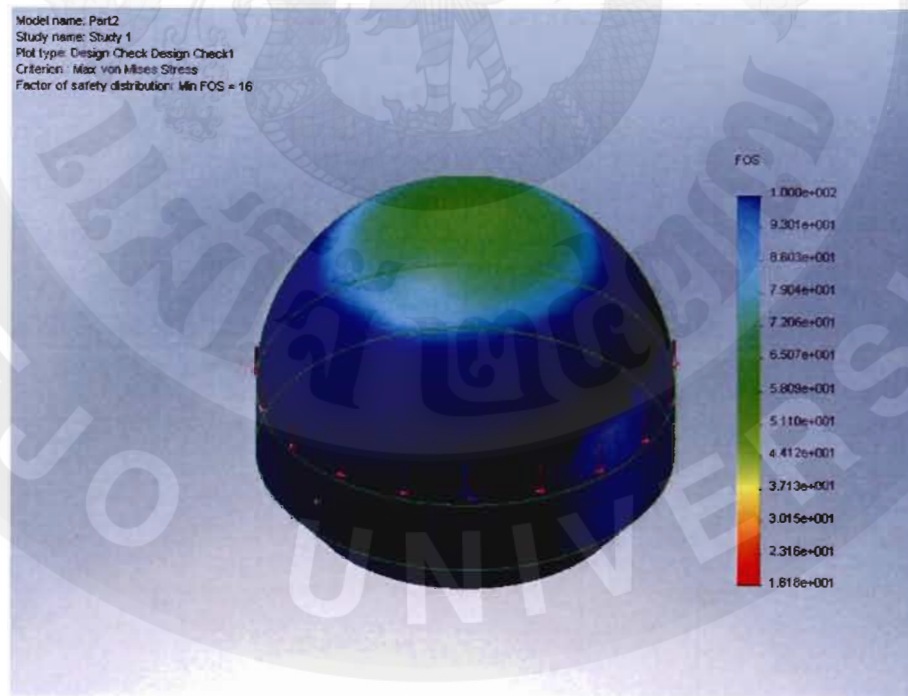
การวิเคราะห์ห้วคั่นนั้นจะใช้แรงกระทำที่ได้จากผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับการบีบคั่นผลส้ม ซึ่งจะใช้แรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ยคือ 512.55 นิวตัน กำหนดให้จุดจับยึดเป็นแบบ fixed ทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 1.36592×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร ดังแสดงในภาพ 35 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength ของวัสดุ PE highdensity ทำให้ห้วคั่นสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ได้ค่า factor of safety distribution ต่ำสุดมีค่า 16.18 ดังแสดงในภาพ 36 ได้ค่า Resultant displacement สูงสุดมีค่า 1.11137×10^{-5} เมตร ดังแสดงในภาพ 37 และได้ค่า Equivalent strain มีค่าสูงสุด 0.00108222 ดังแสดงในภาพ 38 ส่วนรายละเอียดอื่น ๆ ในการวิเคราะห์แสดงในตาราง 11

ตาราง 12 รายละเอียดการวิเคราะห์ห้วคั่น

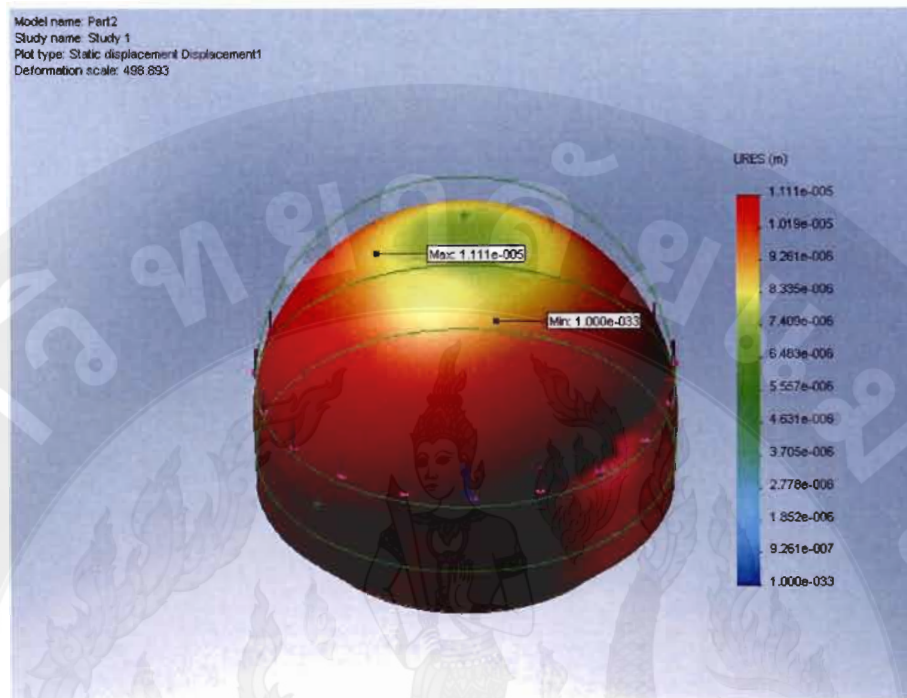
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress	VON: von mises stress	11573.7	-15.4913 mm,	1.36592×10^6	-3.83022 mm,
		N/m ²	7.15052 mm,	N/m ²	28.9286 mm,
		Node: 292	22.7216 mm	Node: 9383	-3.21394 mm
Displacement	URES: Resultant displacement	0 m	0 mm,	1.11137×10^{-5} m	-24.2604 mm,
		Node: 81	30 mm,	Node: 6396	27.5801 mm,
			-5 mm		-8.12852 mm
Strain	ESTRN: Equivalent strain	1.999×10^{-5}	-23.7175 mm,	0.00108222	-2.05539 mm,
		Element:	8.23883 mm,	Element: 4181	31.2759 mm,
		3382	12.1594 mm		-4.53262 mm



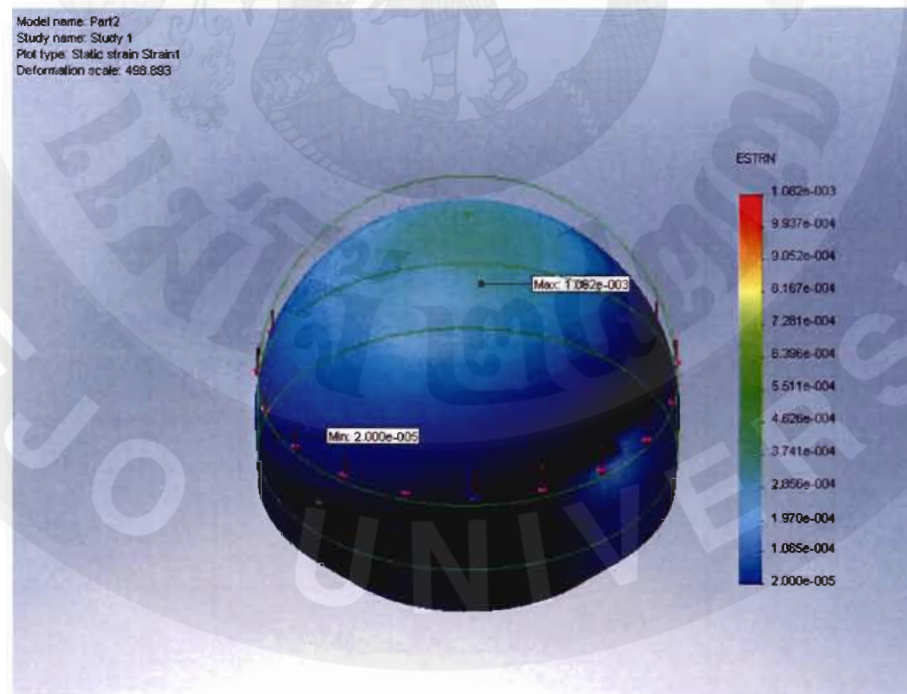
ภาพ 35 แผนภาพสีค่า von mises stress หัวคัน



ภาพ 36 แผนภาพสีค่า factor of safety distribution หัวคัน



ภาพ 37 แผนภาพสีค่า resultant displacement หัวคัน



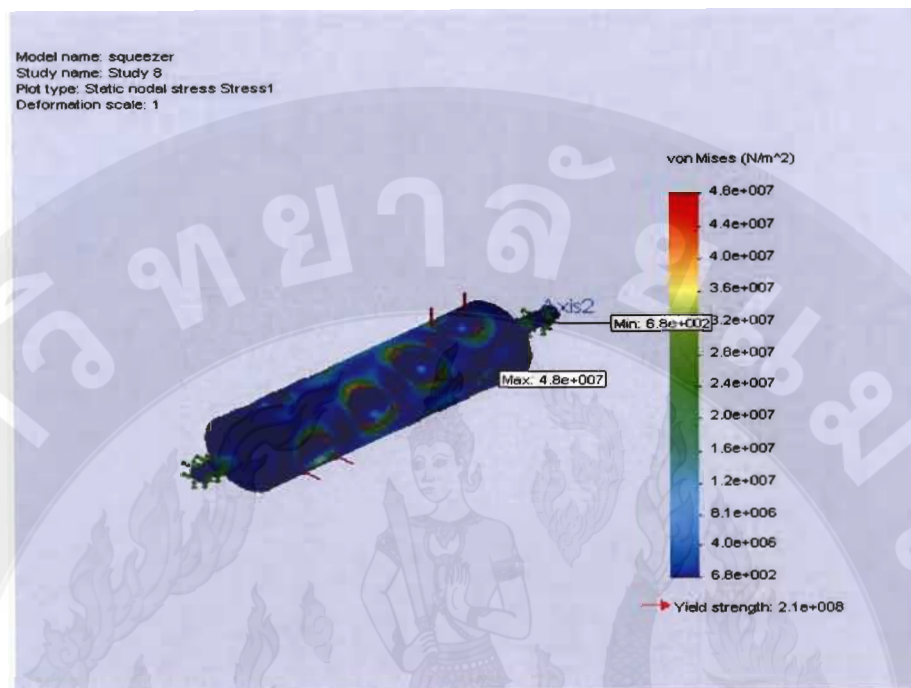
ภาพ 38 แผนภาพสีค่า equivalent strain หัวคัน

ผลการวิเคราะห์ชุดคั่นส่วนบน

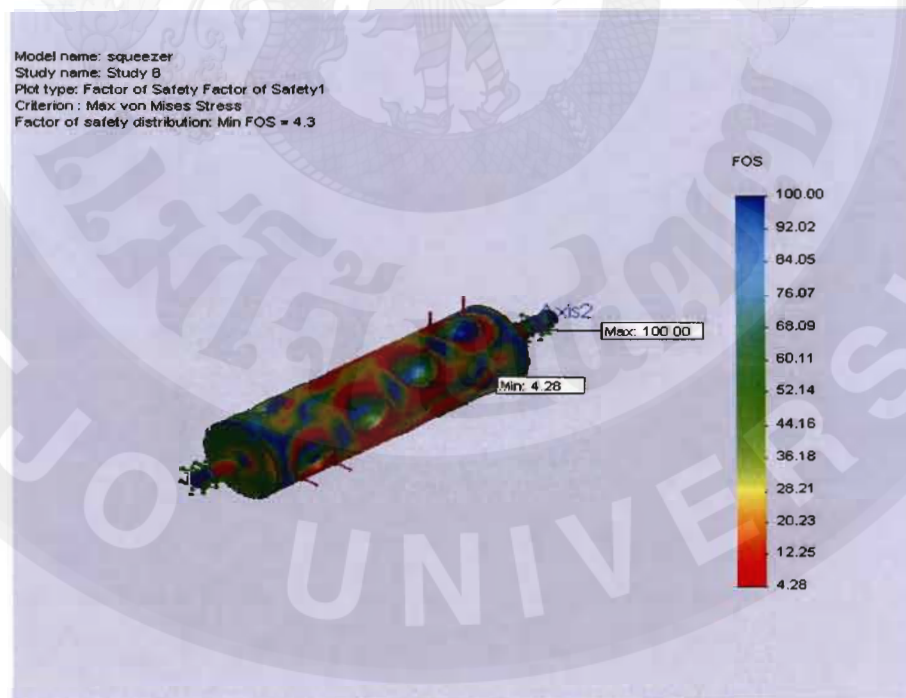
การวิเคราะห์ชุดคั่นส่วนบนนั้นจะใช้แรงกระทำที่ได้จากผลการศึกษาแรงที่ใช้สำหรับการบีบคั่นผลส้ม ซึ่งจะใช้แรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ยคือ 512.55 นิวตัน กำหนดให้จุดจับยึดเป็นแบบ fixed ทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 4.83675×10^7 นิวตันต่อตารางเมตร ดังแสดงในภาพ 39 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength ของวัสดุ AISI 304 ทำให้หัวคั่นสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ได้ค่า factor of safety distribution ต่ำสุดมีค่า 4.28 ดังแสดงในภาพ 40 ได้ค่า Resultant displacement สูงสุดมีค่า 0.0760889 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 41 และได้ค่า Equivalent strain มีค่าสูงสุด 0.000180544 ดังแสดงในภาพ 42 ส่วนรายละเอียดอื่น ๆ ในการวิเคราะห์แสดงในตาราง 12

ตาราง 13 รายละเอียดการวิเคราะห์ชุดคั่นส่วนบน

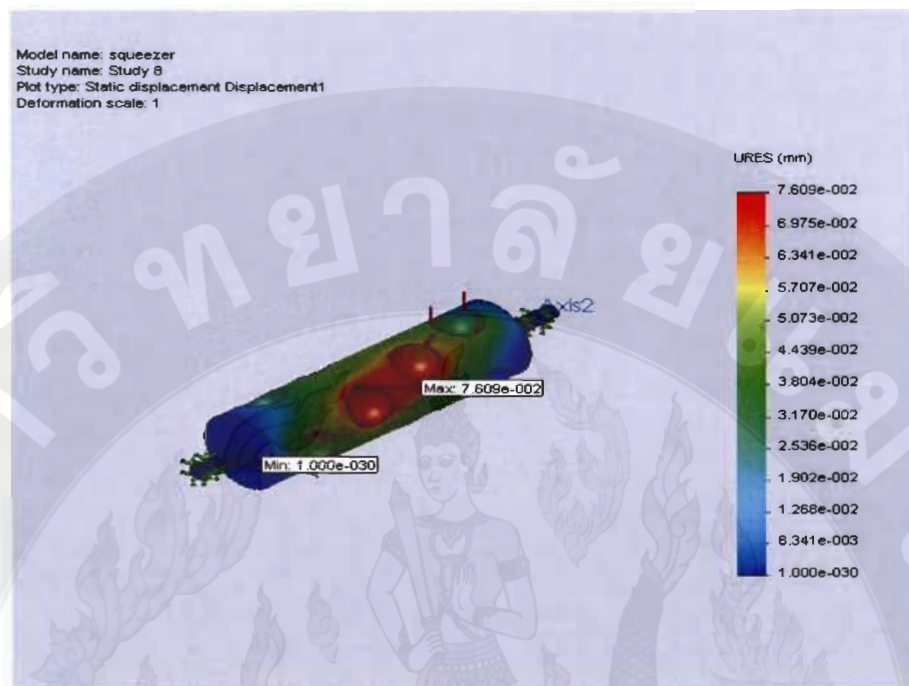
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress	VON: von mises	678.725	5 mm,	4.83675×10^7	49.3123 mm,
	Stress	N/m ²	-8.66025 mm,	N/m ²	28.7465 mm,
	Node:		-272.5 mm	Node: 58444	-52.2918 mm
		66404			
Displacement	URES: Resultant	0 mm	-5.5 mm,	0.0760889 mm	26.2948 mm,
	Displacement	Node: 40	9.52628 mm,	Node: 57874	47.4502 mm,
			245 mm		43.4822 mm
Strain	ESTRN:	1.433×10^{-9}	-4.19304 mm,	0.000180544	10.0087 mm,
	Equivalent Strain	Element:	1.13599 mm,	Element: 1632	3.32913 mm,
		1419	-275.855 mm		244.049 mm



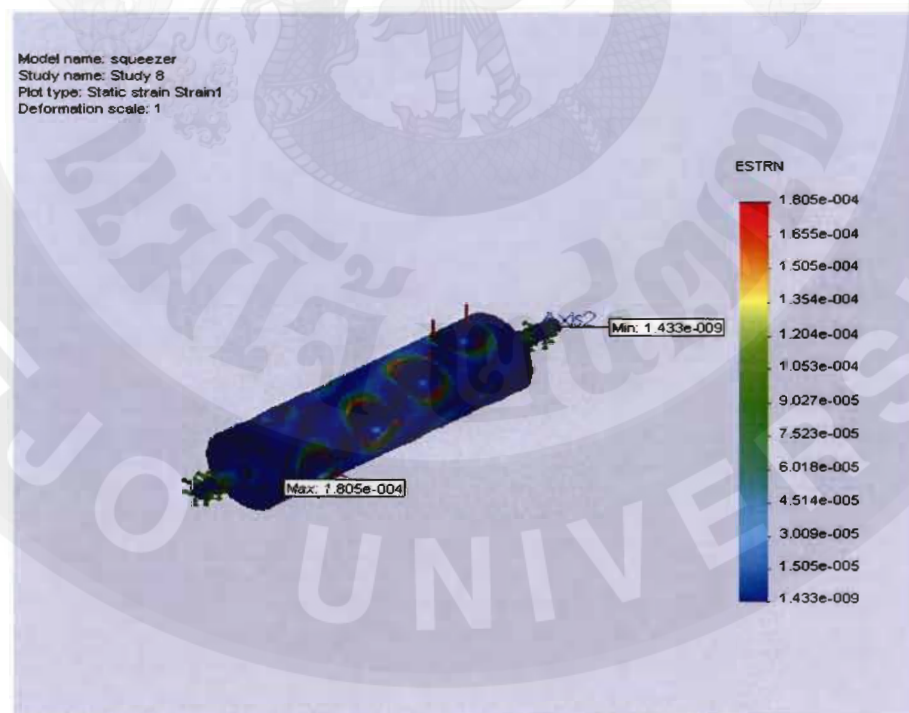
ภาพ 39 แผนภาพสีค่า von mises stress ชุดคั่นส่วนบน



ภาพ 40 แผนภาพสีค่า factor of safety distribution ชุดคั่นส่วนบน



ภาพ 41 แผนภาพสีค่า resultant displacement ชุดคั่นส่วนบน



ภาพ 42 แผนภาพสีค่า equivalent strain ชุดคั่นส่วนบน

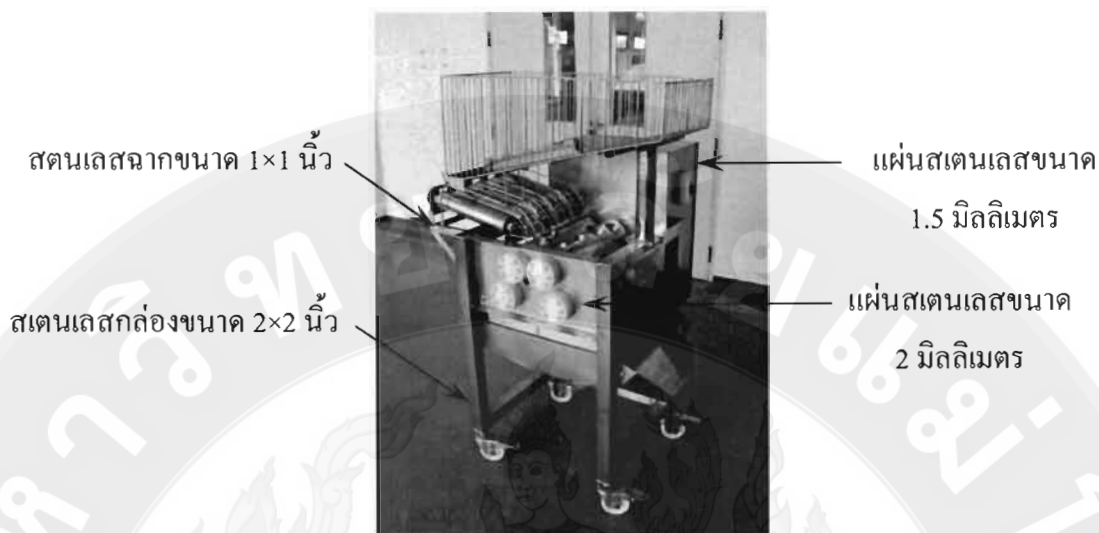
ผลการออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบ

เพื่อให้ได้เครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบตามวัตถุประสงค์ การออกแบบจึงนำข้อกำหนดในการออกแบบเบื้องต้นมาพิจารณา ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าว คือ เครื่องคั้นน้ำส้มที่ออกแบบจะทำการคั้นโดยไม่ต้องปอกเปลือกผลส้ม มีระบบลำเลียงผลส้มเข้าสู่ระบบการคั้น และต้องมีระบบผ่าผลส้มและระบบคั้นอยู่ในเครื่องตัวเดียวกัน โดยต้องมีการทำงานแบบต่อเนื่อง และส้มที่จะทำการคั้นเป็นส้มสายน้ำผึ้งผลเล็ก ขนาดระหว่าง 45-55 มิลลิเมตร (ขนาดที่นิยมนำไปคั้นทั่วไป) ซึ่งเครื่องคั้นดังกล่าวสามารถรองรับกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง

การออกแบบประกอบไปด้วย การออกแบบโครงสร้างเครื่อง การออกแบบระบบส่งกำลัง การออกแบบระบบลำเลียง การออกแบบระบบการคั้น การออกแบบระบบผ่าผลส้ม และการออกแบบถาดรองรับน้ำส้มและการคัดแยกเปลือกส้ม ทั้งนี้โดยใช้ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของส้ม มาพิจารณาประกอบการออกแบบ ซึ่งภาพถ่ายและภาพเขียนแบบเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบสามารถแสดงได้ในภาคผนวก ค. โดยมีผลการออกแบบในแต่ละส่วนดังนี้

ผลการออกแบบโครงสร้างเครื่อง

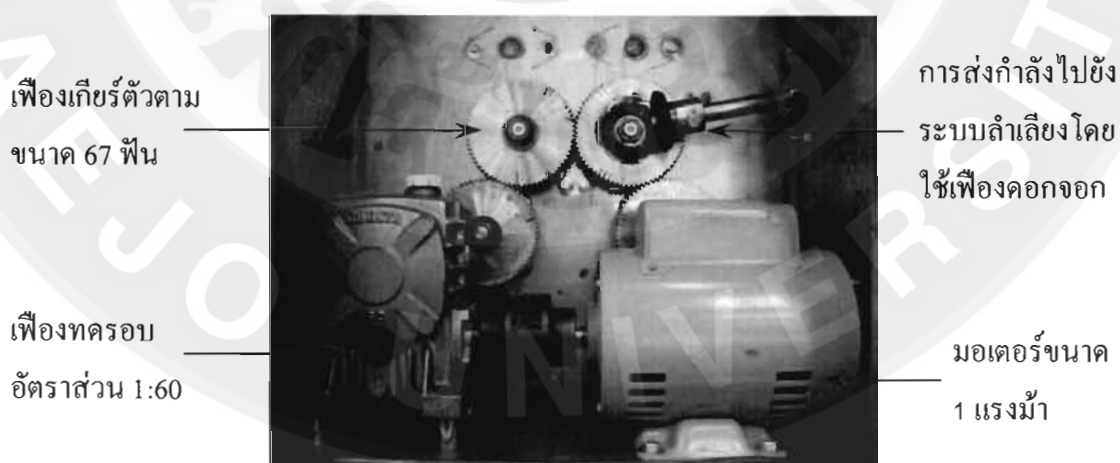
โครงสร้างของเครื่องคั้นน้ำส้ม ใช้สเตนเลสกล่องขนาด 2×2 นิ้ว สเตนเลสฉากขนาด 1 นิ้ว แผ่นสเตนเลสขนาด 1.5 และ 2 มิลลิเมตร มาประกอบเป็นโครงเครื่องโดยเน้นความกะทัดรัดและสะดวกในการทำงาน (ภาพ 43) มีขนาดความสูง 120 เซนติเมตร มีความกว้าง 77 เซนติเมตร และมีความยาว 85 เซนติเมตร โดยโครงสร้างนี้ ทำหน้าที่รองรับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ทั้งหมดของเครื่อง เช่น ต้นกำลัง ชุดส่งกำลัง ชุดคั้นน้ำส้ม ชุดลำเลียงผลส้ม เป็นต้น



ภาพ 43 โครงสร้างของเครื่องคั้นน้ำส้ม

ผลการออกแบบระบบส่งกำลัง

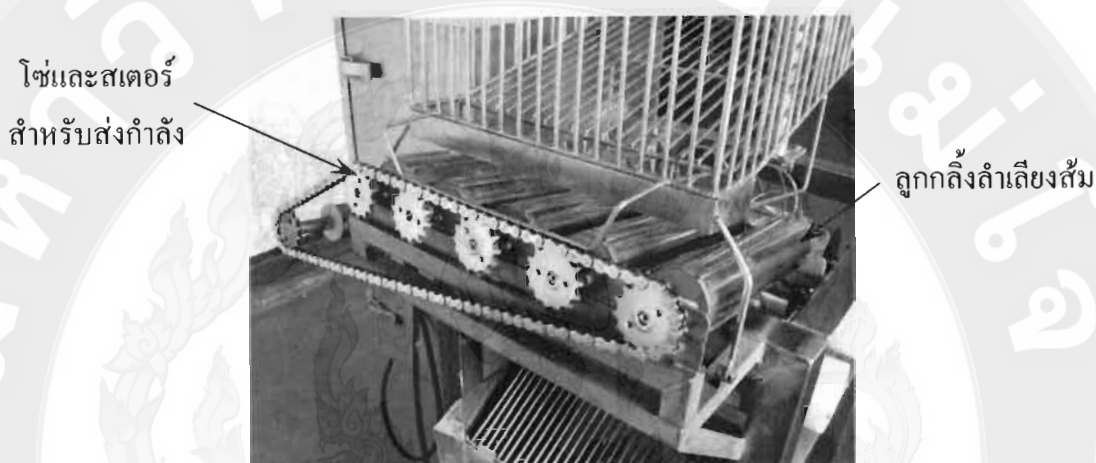
ระบบการส่งกำลังที่ใช้กับเครื่องคั้นน้ำส้มนี้ประกอบไปด้วย มอเตอร์ เฟืองทดรอบ เฟืองเกียร์ เฟืองคอกจอก แบร็งค์ โซ่และสเตอร์ โดยการส่งกำลังจะถูกส่งไป 2 ทาง คือส่งไปยังชุดคั้น ซึ่งใช้เฟืองเกียร์เป็นอุปกรณ์ส่งกำลัง และอีกทางจะถูกส่งไปยังระบบลำเลียงส้มซึ่งใช้เฟืองคอกจอกและโซ่เป็นอุปกรณ์ส่งกำลัง (ภาพ 44) ซึ่งการปรับความเร็วรอบของชุดคั้นและการหาขนาดต้นกำลังสามารถแสดงการคำนวณได้จากภาคผนวก ข (การคำนวณเพื่อการออกแบบ)



ภาพ 44 ชุดระบบส่งกำลัง

ผลการออกแบบระบบการลำเลียง

ระบบการลำเลียง มีทำหน้าที่ในการลำเลียงผลส้มจากตะกร้าเก็บส้มมายังชุดคั่น โดยมีลูกกลิ้งลำเลียงส้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชุด ทำหน้าที่หมุนกลิ้งผลส้มและส่งผลส้มไปยังชุดคั่น ในการออกแบบได้คำนึงถึงความเหมาะสมของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส้มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 45-55 มิลลิเมตร (ภาพ 45)



ภาพ 45 อุปกรณ์ลำเลียงผลส้ม

ผลการออกแบบระบบการคั่น

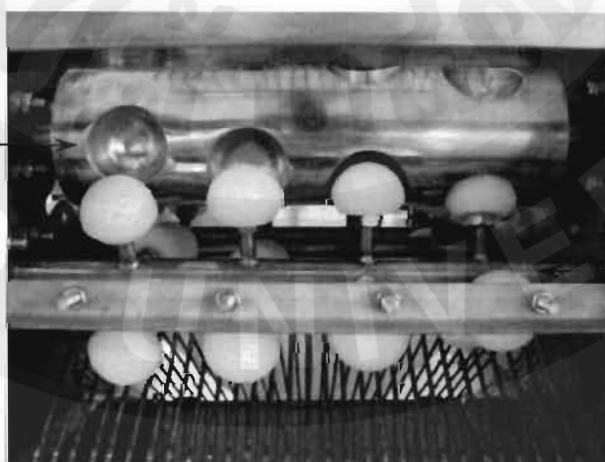
การออกแบบระบบการคั่นนั้นจะเน้นถึงความสะดวกในการสร้าง การใช้งาน และความง่ายต่อการทำความสะอาด โดยที่ระบบการคั่นนั้นประกอบด้วยชุดคั่นน้ำส้มแบบโรตารีมีหัวคั่นทั้งหมด 4 ชุดๆ ละ 3 หัวคั่น รวมเป็น 12 หัวคั่น ชุดคั่นส่วนบน ทำหน้าที่จับผลส้มสำหรับผ่าส้มเป็น 2 ซีกและประคองให้ส้มทั้ง 2 ซีกสามารถอยู่ในแนวที่จะทำการคั่นได้ ส่วนชุดคั่นส่วนล่างจะทำหน้าที่บีบอัด คั้นเอาน้ำส้ม จะประกอบไปด้วยเพลาลูกเบี้ยวและก้านหัวคั่นหรือก้านปรับระดับ และหัวคั่น ดังภาพ 46 และ 47

การออกแบบระบบการคั่นจะนำผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดคั่นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการประกอบการออกแบบเพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีขนาดและความแข็งแรงเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยชุดคั่นส่วนบนจะสร้างด้วยสแตนเลส โดยนำท่อสแตนเลสขนาด 4.5 นิ้วนำมาเจาะให้มีขนาดที่สามารถใส่หลุมคั่นเข้าไปได้ จากนั้นจึงนำไปเชื่อมให้ติดเป็นชิ้นเดียวกัน จากการวิเคราะห์ชุดคั่นส่วนบนนั้นทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 4.83675×10^7 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength ของวัสดุ AISI 304 ทำให้หัวคั่นสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ส่วนการนำชุดคั่นส่วนบนไปใช้งานจริงนั้นก็สมารถทนต่อแรงกระทำโดยไม่เกิดความเสียหายเช่นเดียวกัน สำหรับชุดคั่นส่วนล่างจะประกอบไปด้วยก้านหัวคั่น สร้างด้วยสแตนเลส

เกลียวสแตนเลส ขนาด 12 มิลลิเมตร เมื่อนำไปวิเคราะห์จะทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 6.57007×10^7 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength ของวัสดุ AISI 304 ทำให้หัวคั่นสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ส่วนการนำหัวคั่นไปใช้งานจริงนั้นก็สามารถทนต่อแรงกระทำโดยไม่เกิดความเสียหายเช่นเดียวกัน และหัวคั่น สร้างด้วยซูเปอร์อิน (superine) กลึงขึ้นรูปเป็นลักษณะครึ่งทรงกลม เมื่อนำไปวิเคราะห์จะทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 1.36592×10^7 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength ของวัสดุ PE highdensity ทำให้หัวคั่นสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ส่วนการนำหัวคั่นไปใช้งานจริงนั้นก็สามารถทนต่อแรงกระทำโดยไม่เกิดความเสียหายเช่นเดียวกัน



ภาพ 46 หัวคั่นน้ำสัมนส่วนบน



ภาพ 47 หัวคั่นน้ำสัมน

ผลการออกแบบระบบผ่าผลส้ม

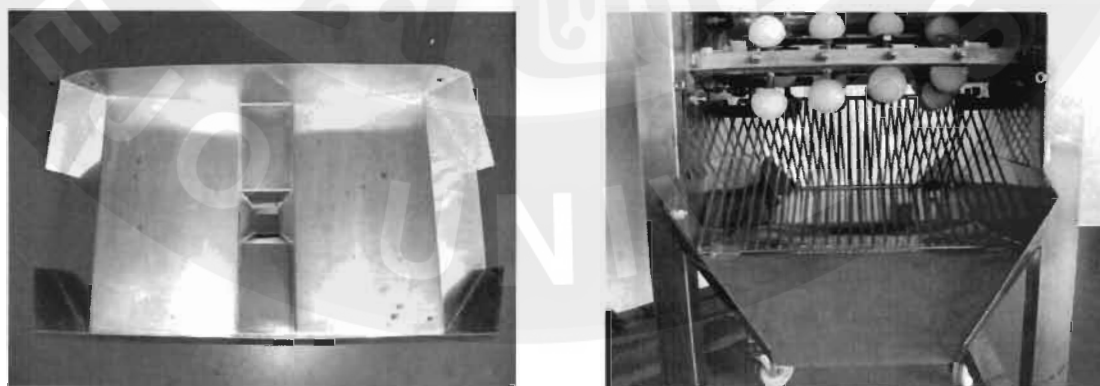
การออกแบบระบบผ่าผลส้มโดยการติดตั้งใบมีดไว้อยู่กับที่ ตรงกลางของชุดคั่นด้านบน สามารถที่จะถอดออกโดยการสไลด์ออกมาทางด้านหน้าเพื่อทำความสะอาดได้ ใบมีดสแตนเลสที่ใช้มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร และภายหลังผลส้มที่ถูกผ่าจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ซีก และจะถูกประคองให้อยู่ในถ้วยคั่น (หลุมคั่น) ด้วยแผ่นประคองที่ทำจากแผ่นสแตนเลส ดังภาพ 48



ภาพ 48 ใบมีดและแผ่นประคอง (ซ้าย) จุดติดตั้งใบมีด (ขวา)

ผลการออกแบบถาดรองรับน้ำส้มและการคัดแยกเปลือกส้ม

การออกแบบถาดรองรับน้ำส้มที่ถูกคั่นจากชุดคั่น ใช้ถาดสแตนเลสรองรับน้ำส้มบริเวณด้านล่างชุดคั่นเพื่อรวบรวมน้ำส้มให้ไหลลงตรงกลางถาด เพื่อนำไปเก็บยังภาชนะที่ใช้รองรับน้ำส้ม โดยจะมีตะแกรงสแตนเลสทำหน้าที่แยกเปลือกออกและป้องกันไม่ให้เปลือกส้มหล่นลงไปในถาดรองรับน้ำส้ม ดังภาพ 49



ภาพ 49 ถาดรองรับน้ำส้ม (ซ้าย) ตะแกรงคัดแยกเปลือกส้ม (ขวา)

ผลการทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มดันแบบ

การทดสอบการคั้นน้ำส้มดันแบบ เป็นการทดสอบหาความสามารถในการทำงาน ซึ่งอาศัยน้ำหนักส้มก่อนคั้นและหลังคั้นเป็นเกณฑ์ โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบชุดคั้น 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของชุดคั้น 3 ระดับคือ 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร และขนาดผลส้ม 3 ขนาดคือ เบอร์ 2 (45-50 มิลลิเมตร) เบอร์ 3 (50-55 มิลลิเมตร) และเบอร์ 4 (55-60 มิลลิเมตร) จัดแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 กิโลกรัม ผลการทดสอบแสดงในตารางผนวก 14-22

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงใน ตารางผนวก 23-25 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า มีความเร็วรอบอย่างน้อย 1 ระดับที่ทำให้ความสามารถในการคั้นผลส้ม แตกต่างจากชุดอื่น เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องแบบจับคู่พหุคูณ ด้วยวิธีการของ DUNCAN ดังแสดงในตาราง 14-16 ซึ่งเป็นผลการเปรียบเทียบความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้มของผลส้มเบอร์ 2 เบอร์ 3 และเบอร์ 4 ที่ระยะห่างชุดคั้นต่าง ๆ ชี้ให้เห็นว่าความเร็วรอบที่มีค่ามากขึ้น ทำให้ชุดคั้นสามารถทำการคั้นต่อเวลาได้เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการคั้นผลส้มมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะห่างของชุดคั้นที่ต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นความเร็วรอบ 15 รอบต่อนาที จึงทำให้มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้มสูงสุด

ตาราง 14 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 2

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคั้น (มิลลิเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	2	2.5	3	
5	242.28±2.76	241.67±4.25	244.85±4.06	242.93±3.69 ^c
10	482.25±1.40	484.70±3.27	485.96±4.00	484.30±2.89 ^b
15	720.19±2.04	723.26±2.96	724.91±5.16	722.79±3.39 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้มที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 15 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคันและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 3

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคัน (มิลลิเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	2	2.5	3	
5	295.20±4.69	303.50±5.72	302.38±6.67	300.36±5.69 ^c
10	603.16±5.56	599.74±4.82	600.83±4.12	601.24±4.83 ^b
15	904.84±4.98	903.48±4.21	908.82±5.73	905.71±4.97 ^a

หมายเหตุ ค่าความสามารถในการคั้นผลส้มที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 16 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคันและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 4

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคัน (มิลลิเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	2	2.5	3	
5	365.99±4.37	359.21±3.36	368.11±4.90	364.44±4.21 ^c
10	722.91±2.81	723.79±5.61	727.84±3.79	724.85±4.07 ^b
15	1051.74±3.47	1074.34±5.64	1090.74±3.71	1072.27±4.27 ^a

หมายเหตุ ค่าความสามารถในการคั้นผลส้มที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงใน ตารางผนวก 26-28 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า มีความเร็วรอบอย่างน้อย 1 ระดับที่ทำให้ความสามารถในการคั้นผลส้มแตกต่างจากชุดอื่น เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องแบบจับคู่พหุคูณ ด้วยวิธีการของ DUNCAN ดังแสดงในตาราง 17-19 ซึ่งเป็นผลการเปรียบเทียบความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้มของผลส้มเบอร์ 2 เบอร์ 3 และเบอร์ 4 ที่ระยะห่างชุดคันต่าง ๆ ชี้ให้เห็นว่าความเร็วรอบที่มีค่ามากขึ้นนั้นจะทำให้ชุดคันสามารถทำการคั้นต่อเวลาได้เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการคั้นน้ำส้มมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะห่างของชุดคันที่มีค่ามากขึ้นนั้นจะทำให้การบีบคั้นเอาน้ำส้มออกจากเปลือกส้มได้ลดลง ค่าความสามารถในการคั้นน้ำส้มจึงมีค่าลดลงเล็กน้อยแต่มีค่า

ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นความเร็วรอบ 15 รอบก่อนที่ จึงทำให้มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้มสูงสุด

ตาราง 17 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 2

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคั้น (มิลลิเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	2	2.5	3	
5	110.77±3.14	109.87±2.30	108.49±2.83	109.71±2.76 ^c
10	219.23±4.07	218.46±4.59	214.45±2.32	217.38±3.66 ^b
15	328.66±6.20	326.01±2.09	324.77±5.75	326.48±4.68 ^a

หมายเหตุ ค่าความสามารถในการคั้นน้ำส้มที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 18 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั้นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 3

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคั้น (มิลลิเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	2	2.5	3	
5	137.01±2.91	135.26±4.14	132.31±2.43	134.86±3.16 ^c
10	273.99±0.60	269.00±6.22	268.75±3.02	270.58±3.28 ^b
15	411.80±2.73	411.74±1.68	411.67±0.66	411.74±1.69 ^a

หมายเหตุ ค่าความสามารถในการคั้นน้ำส้มที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 19 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคันและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ของผลส้มเบอร์ 4

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคัน (มิลลิเมตร)			
	2	2.5	3	ค่าเฉลี่ย
5	166.01±3.12	164.01±3.32	162.94±4.70	164.32±3.71 ^c
10	327.75±7.54	325.94±3.01	322.98±3.38	325.56±4.64 ^b
15	488.33±7.99	485.53±4.26	478.77±3.84	484.21±5.36 ^a

หมายเหตุ ค่าความสามารถในการคั้นน้ำส้มที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงใน ตารางผนวก 29-31 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า มีระยะห่างชุดคันและความเร็วรอบอย่างน้อย 1 ระดับที่ทำให้ประสิทธิภาพการคั้นแตกต่างจากชุดอื่น เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องแบบจับคู่พหุคูณ ด้วยวิธีการของ DUNCAN ดังแสดงในตาราง 20-22 ซึ่งเป็นผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคันและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นของผลส้มเบอร์ 2 เบอร์ 3 และเบอร์ 4 ชี้ให้เห็นว่าความเร็วรอบที่มีค่ามากขึ้นนั้นจะทำให้ชุดคันสามารถทำการคั้นต่อเวลาได้เพิ่มขึ้นแต่จะทำให้เวลาสำหรับการบีบคั้นเอน้ำส้มออกจากเปลือกส้มลดลง ทำให้ยังมีน้ำส้มค้างอยู่ที่เปลือก เป็นผลให้ประสิทธิภาพการคั้นมีค่าลดลง และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะห่างของชุดคันที่มีค่ามากขึ้นนั้นจะทำให้การบีบคั้นเอน้ำส้มออกจากเปลือกส้มได้ลดลง จึงทำให้ประสิทธิภาพการคั้นมีค่าลดลงและมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที และระยะห่างชุดคัน 2 มิลลิเมตรจึงทำให้มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั้นน้ำส้มสูงสุด

ตาราง 20 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั่น (ร้อยละ) ของผลสัมเบอร์ 2

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคั่น (มิลลิเมตร)		
	2	2.5	3
5	96.73±0.042 ^a	95.78±0.095 ^b	92.84±0.120 ^d
10	96.58±0.101 ^a	95.64±0.150 ^b	92.61±0.201 ^d
15	95.64±0.186 ^b	94.53±0.312 ^c	91.73±0.306 ^c

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการคั่นที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 21 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคั่นและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคั่น (ร้อยละ) ของผลสัมเบอร์ 3

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคั่น (มิลลิเมตร)		
	2	2.5	3
5	97.60±0.072 ^a	96.33±0.112 ^b	93.30±0.162 ^c
10	97.58±0.025 ^a	96.43±0.114 ^b	93.72±0.171 ^d
15	96.38±0.150 ^b	95.43±0.092 ^c	92.41±0.154 ^f

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการคั่นที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 22 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างชุดคันและความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการคัน (ร้อยละ) ของผลสัมเบอร์ 4

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ระยะห่างชุดคัน (มิลลิเมตร)		
	2	2.5	3
5	96.25±0.110 ^a	95.38±0.131 ^b	92.48±0.185 ^d
10	96.14±0.148 ^a	95.13±0.078 ^b	92.05±0.232 ^d
15	95.00±0.131 ^b	93.69±0.542 ^c	91.18±0.333 ^e

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการคันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

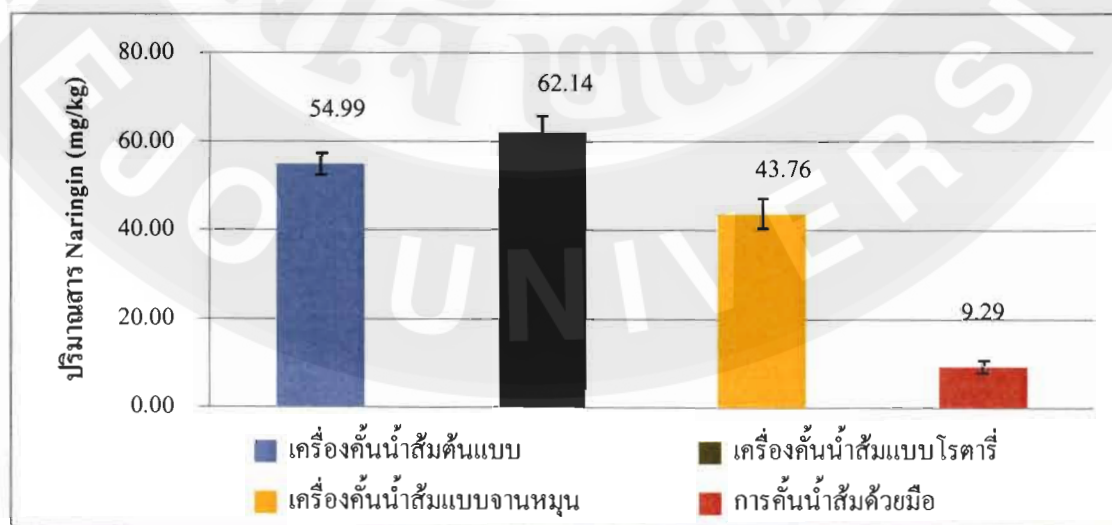
จากผลการทดสอบการทำงานเครื่องคันน้ำสั้มนั้นแบบพบว่า เมื่อพิจารณาถึงการใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการคันที่สูงสุด จึงควรใช้ระยะห่างชุดคัน 2 มิลลิเมตรและใช้ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการคันไม่แตกต่างจากการใช้ความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที และทำให้ได้ความสามารถในการคันผลสัมและน้ำสั้มนมากขึ้น โดยค่าความสามารถในการคันผลสัม ความสามารถในการคันน้ำสั้มนและประสิทธิภาพการคันของผลสั้มนขนาดต่าง ๆ สามารถแสดงได้ในตาราง 22

ตาราง 23 ค่าความสามารถในการคันผลสัม ความสามารถในการคันน้ำสั้มนและประสิทธิภาพการคันที่ระยะห่างชุดคัน 2 มิลลิเมตรและความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที

ขนาดผลสั้มน (เบอร์)	ความสามารถในการคันผล สั้มน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ความสามารถในการคัน น้ำสั้มน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการคัน (ร้อยละ)
2	482.25±1.40	219.23±4.07	96.58±0.10
3	603.16±5.56	273.99±0.60	97.58±0.02
4	722.91±2.81	327.75±7.54	96.14±0.148

ผลการหาปริมาณสารนารินจिनจากน้ำส้มที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ

การหาปริมาณสารนารินจिनด้วยการใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดความขมจากน้ำส้มนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบน้ำส้มที่ได้จากการคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ เครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี เครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน และการคั้นน้ำส้มด้วยมือ ซึ่งทำให้ได้ปริมาณสารนารินจिनที่เจือปนอยู่ในน้ำส้มดังภาพ 50 แสดงให้เห็นว่าเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารีนั้นมีค่ามากที่สุด เนื่องจากในขณะทำการคั้นนั้น ระบบการคั้นถูกออกแบบให้ต้องคั้นผลส้มในขณะที่ยังมีเปลือกติดอยู่ ซึ่งสารนารินจिनส่วนมากจะอยู่ที่เปลือกของส้ม จึงหลุดและเจือปนออกมากับน้ำส้มในขณะทำการคั้น ส่วนเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบนั้นถึงแม้ว่าจะใช้ระบบการคั้นเช่นเดียวกับเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี แต่ก็ยังให้ค่าที่น้อยกว่าเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากการออกแบบที่ทำให้สามารถปรับตั้งระยะห่างชุดคั้นได้ ในขณะที่เครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารีโดยทั่วไปจะปรับตั้งไม่ได้ หรือปรับได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนเครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน นั้นระบบการคั้นจะแตกต่างออกไปซึ่งมีผลให้น้ำส้มที่คั้นได้มีโอกาสน้อยที่จะสัมผัสกับเปลือกจึงทำให้ปริมาณสารนารินจिनที่เจือปนอยู่ในน้ำส้มมีค่าน้อยกว่าการคั้นด้วยวิธีที่ได้กล่าวไปข้างต้น ส่วนการคั้นน้ำส้มด้วยมือนั้นน้ำส้มกับเปลือกสัมนั้นมีโอกาสน้อยมากที่จะสัมผัสกันจึงทำให้การคั้นน้ำส้มด้วยมือมีปริมาณสารนารินจिनที่เจือปนอยู่ในน้ำส้มมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณสารนารินจिनจากการคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ เครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี เครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน และการคั้นน้ำส้มด้วยมือ มีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางผนวก 33



ภาพ 50 การเปรียบเทียบปริมาณสารนารินจिनจากการคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ เครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี เครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน และการคั้นน้ำส้มด้วยมือ

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินผลมีดังนี้

1. ใช้วิธีเส้นตรงในการคิดค่าเสื่อมราคา
2. ไม่คิดค่าโรงเรือน ค่าภาษี และค่าประกัน
3. คิดค่าใช้จ่ายในปี 2553 เป็นฐานการคำนวณ
4. ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน
5. ค่าความสามารถในการค้นผลส้ม ได้จากการปรับตั้งเครื่องคั้นน้ำส้มที่ ความเร็วรอบของชุดคั้น 10 รอบต่อนาที ระยะห่างชุดคั้น 2 มิลลิเมตร และขนาดผลส้มเบอร์ 3 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด

การประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ครอบคลุมถึงค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน ระยะเวลาคืนทุน และผลตอบแทนที่ได้รับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$P = 100,000 \text{ บาท}$$

$$S = 10 \text{ เปอร์เซ็นต์ของ } P$$

$$Y = 10 \text{ ปี}$$

$$I = 7.5 \text{ เปอร์เซ็นต์ ต่อปี}$$

$$h = 6 \text{ ชั่วโมงต่อวัน}$$

$$L = 342 \text{ บาทต่อวัน (อัตราค่าแรงขั้นต่ำจังหวัดเชียงใหม่ ตามประกาศกระทรวง}$$

แรงงานพุทธศักราช 2553 คือ 171 บาท/คน/วัน

$$e = 3 \text{ บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง}$$

$$\text{Cap} = 603.16 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

$$E = 0.746 \text{ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง}$$

$$= 13.428 \text{ บาทต่อวัน (คิดชั่วโมงการทำงานวันละ 6 ชั่วโมง)}$$

$$\text{R\&M} = 50 \text{ เปอร์เซ็นต์ของ } E$$

$$= 6.714 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$\text{CR} = 1 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}$$

$$A = 50, 100, 150, 200, 250, 300 \text{ วันต่อปี}$$

จากข้อกำหนดต่าง ๆ ดังกล่าว สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$TC \text{ (บาทต่อปี)} = 15,750 + 362.142A \quad (39)$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อกิโลกรัม)} = (15,750 + 362.142A) / 3,598.44A \quad (40)$$

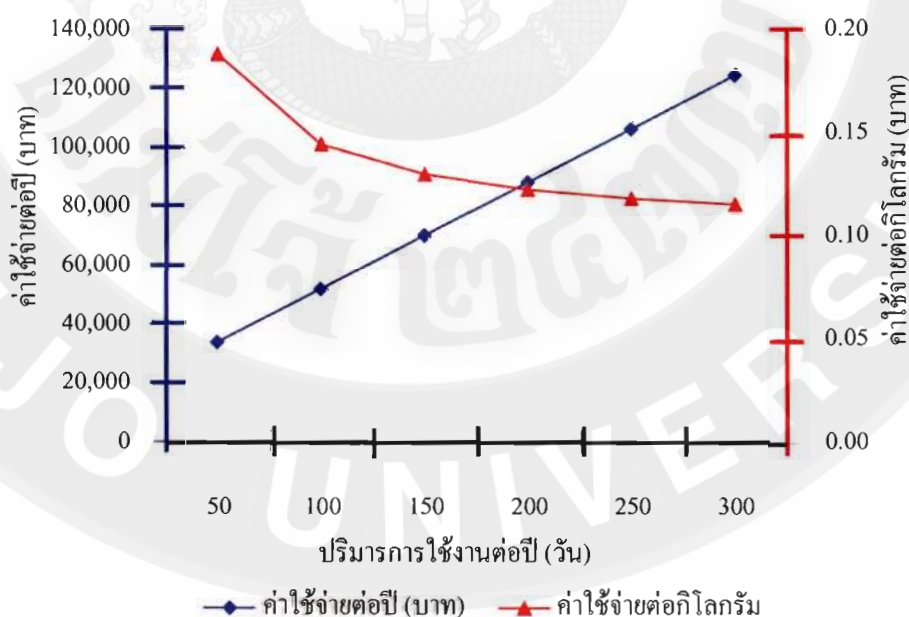
$$\text{ผลตอบแทนสุทธิ} = 3,598.44A(CR) - 362.142A - 15,750 \quad (41)$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = 100,000 / [3,598.44A(CR) - 362.142A - 15,750] \quad (42)$$

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ (ภาคผนวก) สามารถแยกวิเคราะห์ออกเป็น ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุนและผลการตอบแทนในการทำงาน และจุดคุ้มทุน ดังแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

การวิเคราะห์แสดงในภาพ 51 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายการทำงานจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้งาน แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.12-0.19 บาทต่อกิโลกรัม

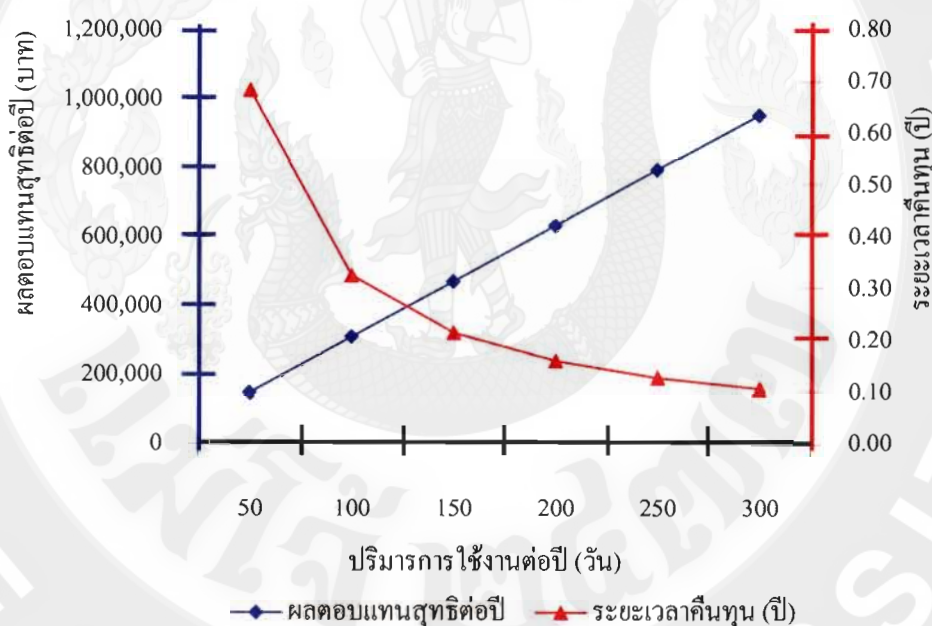


ภาพ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายและปริมาณการใช้งาน

ผลตอบแทนในการทำงานและระยะเวลาคืนทุน

การกำหนดอัตราค่าจ้างในการคั้นน้ำส้ม จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพเศรษฐกิจ ค่าจ้างแรงงานคนในการคั้นน้ำส้ม เป็นต้น ทั้งนี้ อัตราค่าจ้างที่นำมาวิเคราะห์เป็นเพียงข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงานจริง ในที่นี้จะใช้อัตราค่าจ้างในการคั้นน้ำส้ม 1 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังนี้

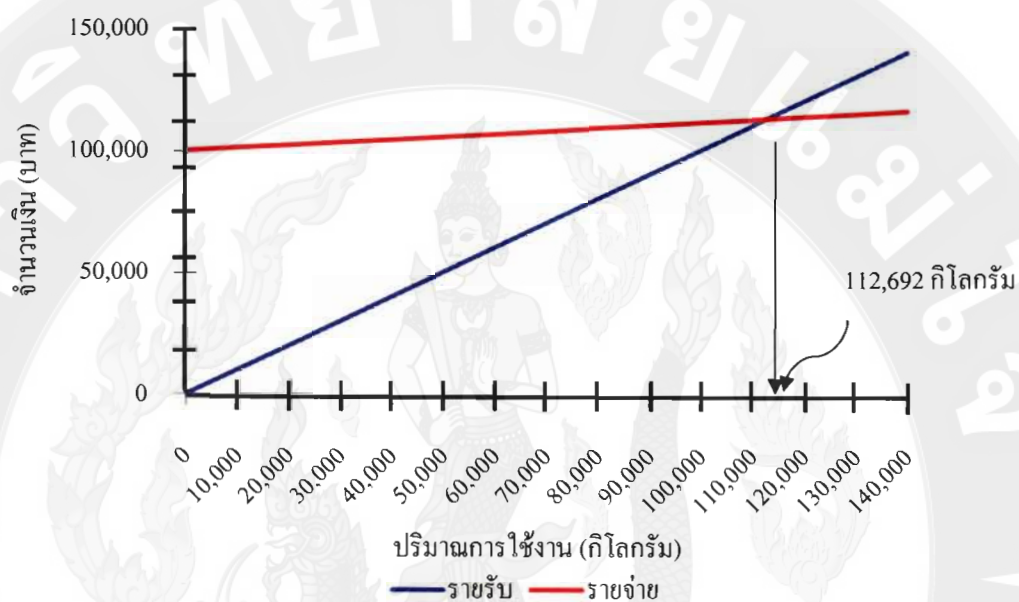
การวิเคราะห์แสดงในภาพ 52 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้าปริมาณการใช้งานต่อปีเพิ่มขึ้น ผลตอบแทนสุทธิก็จะเพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาคืนทุนจะลดลงจนเกือบคงที่ นั่นคือผลตอบแทนสุทธิจะแปรผันตรงกับปริมาณการใช้งานเครื่องต่อปี และระยะเวลาคืนทุนลดลงก็จะได้ทุนในระยะเวลานับรวดเร็ว โดยระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 0.10-0.68 ปี (48-329 วัน)



ภาพ 52 ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบแทนปริมาณการใช้งานและระยะเวลาคืนทุน

จุดคุ้มทุน

จากภาพ 53 เมื่อนำสั้มาทำการคั้จำหน่ายจะต้องทำการคั้สั้ 112,692 กิโลกรัม
จึงจะถึงจุดคุ้มทุน



ภาพ 53 จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องคั้สั้ต้นแบบมาทำการคั้สั้จำหน่าย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยสามารถสรุปผลการวิจัย ตามวัตถุประสงค์ คือ เพื่อออกแบบเครื่องคั่นน้ำส้มอัดโนมิตที่พัฒนาจากเครื่องคั่นน้ำส้มแบบโรตารีและแบบจานหมุน ให้มีหลักการทำงานที่เหมาะสมถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและสุขอนามัย รวมถึงศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลส้มวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตของชุดคั่นน้ำส้มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทดสอบสมรรถนะในการทำงานของเครื่องคั่นน้ำส้มที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สรุป

จากผลการวิจัยการพัฒนาเครื่องคั่นน้ำส้มอัดโนมิตแบบโรตารีหลายหัวคั่น ได้ผลการทดสอบดังนี้

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลส้ม

1. จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นอันได้แก่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลส้ม ความหนาของเปลือกส้ม มวลของผลส้มสามารถนำมาพิจารณาในการออกแบบชุดคั่นเพื่อให้ขนาดของลูกคั่นและหลุมคั่นสามารถรองรับกับขนาดของผลส้มที่ 40-60 มิลลิเมตร มีระยะห่างระหว่างลูกคั่นและหลุมคั่นไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร
2. แรงกดอัดสูงสุดที่ใช้บีบคั่นน้ำส้มคือ 512.55 นิวตัน เมื่อให้ระยะห่างระหว่างหลุมคั่นกับหัวคั่น 2 มิลลิเมตร กดอัดผลส้มเบอร์ 4 และกดอัดตามแนวยาว
3. แรงที่ใช้ผ่าผลส้มสูงสุดคือ 37.58 นิวตัน ที่ความเร็วใบมีด 4.42 เมตรต่อวินาที กับผลส้มเบอร์ 4 และผ่าที่ตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง)

ผลการออกแบบเครื่องคั่นน้ำส้มอัดโนมิตต้นแบบ

1. การวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของก้านหัวคั่น หัวคั่น และชุดคั่นส่วนบน ทำให้ได้ค่า von mises stress สูงสุด 6.57007×10^7 , 1.36592×10^6 และ 4.83675×10^7 นิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า yield strength ของวัสดุ AISI 304 และ PE highdensity ทำให้ทุกชิ้นส่วนสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

2. จากการออกแบบทำให้ได้เครื่องคั้นน้ำส้มที่สามารถทำงานได้อัตโนมัติ โดยมีอุปกรณ์สำหรับลำเลียงผลส้ม จับผลส้ม ผ่าผลส้ม และบีบคั้นน้ำส้มภายในเครื่องเดียว และสามารถใช้งานได้ถูกต้องตามหลัก GMP และ ตามหลักสุขอนามัย (hygienic design)

ผลการทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติ

1. จากการทดสอบการทำงานจะเห็นได้ว่าเมื่อลดระยะห่างชุดคั้นลงจะทำให้ประสิทธิภาพในการคั้นมีค่ามากขึ้น เนื่องจากชุดคั้นมีระยะที่จะทำการบีบคั้นได้มากขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้นจะทำให้ความสามารถในการคั้นผลส้มและน้ำส้มมีค่ามากขึ้น เนื่องจากชุดคั้นสามารถคั้นได้เร็วขึ้น แต่จะทำให้ประสิทธิภาพในการคั้นมีค่าลดลง ซึ่งเกิดจากชุดคั้นมีเวลาในการรีดเอาน้ำส้มออกจากเปลือกน้อยลง จึงทำให้มีน้ำส้มค้างอยู่ในเปลือกเพิ่มขึ้นและเมื่อเปลี่ยนขนาดผลส้มให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้ความสามารถในการคั้นผลส้มและน้ำส้มมีค่ามากขึ้น เนื่องจากส้มผลใหญ่จะมีน้ำหนักมาก

2. การใช้งานเครื่องคั้นน้ำส้มที่เหมาะสมควรจะใช้ระยะห่างชุดคั้น 2 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาทีเนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการคั้นผลส้มและน้ำส้มสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญ

3. การเปรียบเทียบน้ำส้มที่ได้จากการคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มดันแบบ เครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี เครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน และการคั้นน้ำส้มด้วยมือ ซึ่งทำให้ได้ปริมาณสารนารินจินที่เจือปนอยู่ในน้ำส้มดังนี้ คือ 54.99, 62.14, 43.76 และ 9.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าถ้าปริมาณการใช้งานต่อปีเพิ่มขึ้น ผลตอบแทนสุทธิจะเพิ่มขึ้น ระยะเวลาคืนทุนจะลดลง โดยเมื่อทำการคั้นส้มที่มีขนาด 50-55 มิลลิเมตร ต้องทำการคั้นน้ำส้ม 112,692 กิโลกรัม จึงจะคุ้มทุน มีระยะเวลาคืนทุน 0.10-0.68 ปี (36.5-248 วัน)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาที่ได้ยังมีสิ่งที่น่าสนใจควรแก่การศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้งานสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากระยะเวลาที่ทำการศึกษาไม่เพียงพอจึงมีข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยในอนาคตต่อไปดังนี้คือ

1. ควรมีการวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตกับระบบส่งกำลังและชิ้นส่วนอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อให้ขนาดชิ้นงานและอุปกรณ์มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งจะทำให้มีการแก้ไขเครื่องต้นแบบน้อยลงและมีต้นทุนในการสร้างลดลง
2. ควรทำการทดสอบความเร็วรอบของชุดคันให้มีระยะห่างระหว่างความเร็วรอบแต่ละชุดน้อยลง จากที่ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที เป็น 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 รอบต่อนาที เพื่อเปรียบเทียบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น
3. ความคมจากน้ำสั้ที่คันได้เกิดจากสารหลายชนิด ดังนั้นควรมีการทดสอบหาสารอื่นร่วมด้วยเพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะทำให้ได้ผลการศึกษาที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น
4. มະນาวเป็นพืชที่อยู่กลุ่มเดียวกันกันสั้ มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกันกับผลสั้ และมีความต้องการน้ำที่อยู่ในผลเช่นเดียวกัน ดังนั้นควรมีการทดสอบการคันกับมะนาวร่วมด้วย เพื่อให้ขอบเขตการใช้งานของเครื่องคันน้ำสั้ต้นแบบมีมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. **พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.doae.go.th (4 สิงหาคม 2554).
- กรุง จันทร์ศรี และ สมภพ แก้วเย็น. 2545. **การออกแบบและประเมินผลเครื่องคั้นน้ำส้ม**. เชียงใหม่: โครงการงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 102 น.
- จุฬามาศ อ่อนวิมล. 2547. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสวนส้ม**. นนทบุรี: เกษตรสาส์น. 408 น.
- ชนะทิศ วรเดชมงคล ญัฐกานต์ โฆสิตาภา นกคณ แสงวนคร และ วสิน สารวิทย์. 2542. **เครื่องคั้นน้ำส้มแบบอัตโนมัติ**. กรุงเทพฯ: โครงการงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 126 น.
- ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพาณิชย์. 2543. **เครื่องคั้นน้ำผลไม้ระดับครัวเรือน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/data-agri/machine/mach72.html> (21 กรกฎาคม 2554).
- ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล และ วิสันต์ แก้วมณี. 2546. **การศึกษาและออกแบบโมเดลชุดคั้นน้ำส้มโดยไม่ผ่าผลส้ม**. เชียงใหม่: โครงการงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 95 น.
- ทวีภูมิ ใ้วตระกูล ธนศิษฎ์ วงศ์ศิริอานวย และ มลลิกา เกื้อนมูลแสน. 2541. **เครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติ**. เชียงใหม่: โครงการงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 135 น.
- ปราโมทย์ เตชะอำไพ. 2537. **ไฟฟ้ในต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 253 น.
- เปรมปรี ฌ สงขลา. 2538. **รวมกลยุทธส้ม**. กรุงเทพฯ: เจริญรัฐการพิมพ์. 58 น.
- พาณิชย์ ขยปัญญา. 2542. **คัมภีร์มี้อาชีพศาสตร์แห่งส้ม**. กรุงเทพฯ: พิมพ์เศ พรินท์ติ้ง เซ็นเตอร์ จำกัด. 188 น.
- เพ็ญจันทร์ จริงจิตร. 2546. **การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรม**. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต 7(3): 29-37.
- วรศิลป์ วจิประทับจิตร และ วิชาญ วรณเลิศศรี. 2537. **เครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติ**. เชียงใหม่: โครงการงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2548. การออกแบบเครื่องจักรกล. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น. 386 น.
- สินธนา สินานุรักษ์. 2542. การแปรรูปผักและผลไม้. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 98 น.
- เสมอขวัญ ตันติกุล. 2549. การออกแบบสร้างและประเมินผลเครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 79 น.
- ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพร วังฉาย. 2550. SolidWork COSMOSWork ขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น. 278 น.
- Brennan, J.G., J.R. Butter, N.D. Cowell and A.E.V Lily. 1976. **Food Engineering Operations.** London: Applied Science Publisher Lim. p. 112-120
- Nagy, S. and P.E Shaw. 1980. *Processing of Grapefruit and Vegetable Juice Processing Technology.* 3rd ed. New York. AVI. Publishing Co.
- Ohta, H. and Hasegawa, S. 1995. Limonoids in Pummelos [(Citrus grandis (L.) Osbeck)]. **J. Food Sci.** 60(6): 1284-1285.
- Shigley, J. E. and C.R. Mischke. 1989. **Mechanical Engineering Design.** Singapore: McGraw-Hill. P.628-635.
- Visvanathan, R., V.V. Sree. And K. R. Swam. 1996. Effect of knife angle and velocity on the energy required to cut cassava tubers. **J. agric. Engng Res.** 64: 99-102.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผลส้ม

ตารางผนวก 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของส้มเบอร์ 2

ผล	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ความหนาของ เปลือกส้ม (มิลลิเมตร)	มวล (กรัม)
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3		
1	48.94	46.80	45.92	2.23	57.722
2	48.02	46.97	43.81	2.43	57.984
3	45.93	46.83	41.85	2.32	56.325
4	45.72	45.72	40.83	2.24	55.923
5	47.43	47.30	46.02	2.35	56.586
6	48.91	46.92	44.92	2.45	57.057
7	45.78	46.95	42.67	2.32	56.483
8	47.82	46.40	43.80	2.45	57.759
9	47.91	47.35	43.00	2.50	58.356
10	47.90	48.80	45.05	2.46	58.253
11	48.03	49.10	44.80	2.45	58.852
12	45.89	46.30	42.75	2.40	57.105
13	46.07	46.75	43.10	2.45	57.501
14	46.31	48.90	44.50	2.55	58.253
15	48.91	49.25	44.90	2.40	58.807
16	45.98	47.55	43.10	2.46	58.908
17	47.92	45.95	44.25	2.48	57.850
18	46.89	46.80	42.10	2.40	58.557
19	49.03	48.90	43.80	2.46	58.855
20	48.64	49.50	44.10	2.45	59.254
21	47.87	46.91	43.56	2.31	57.903
22	45.73	47.93	42.34	2.46	57.846
23	45.65	45.82	41.91	2.52	57.137
24	47.59	47.83	43.81	2.42	58.228
25	48.83	49.71	47.47	2.53	59.064

ตารางผนวก 1 ต่อ

ผล	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ความหนาของ เปลือกส้ม (มิลลิเมตร)	มวล (กรัม)
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3		
26	47.98	45.76	43.56	2.38	57.042
27	45.78	46.35	45.36	2.45	56.944
28	47.89	46.98	43.67	2.21	58.206
29	45.71	48.83	45.31	2.34	57.918
30	48.03	49.12	46.43	2.21	56.924
31	49.92	45.08	42.43	2.43	58.318
32	47.85	45.68	41.32	2.53	59.019
33	48.09	48.93	46.38	2.31	58.210
34	49.52	46.92	44.53	2.41	57.776
35	47.54	49.00	45.25	2.35	59.103
36	48.35	48.75	45.10	2.40	58.121
37	47.57	45.60	41.85	2.50	57.102
38	48.16	49.75	46.00	2.31	58.755
39	44.32	46.65	42.90	2.40	58.358
40	47.93	47.30	43.15	2.50	58.149
41	43.57	48.15	44.20	2.40	58.905
42	47.35	46.53	42.56	2.51	57.493
43	45.67	45.76	43.65	2.45	58.928
44	46.94	47.23	42.91	2.36	56.900
45	47.75	47.53	41.02	2.34	57.626
46	45.96	46.89	40.93	2.21	57.024
47	49.59	46.83	41.94	2.34	58.923
48	48.02	48.95	42.83	2.18	59.925
49	46.54	47.89	43.91	2.45	57.026
50	47.90	49.92	45.67	2.37	58.437

ตารางผนวก 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของส้มเบอร์ 3

ผล	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ความหนาของ เปลือกส้ม (มิลลิเมตร)	มวล (กรัม)
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3		
1	53.95	51.73	51.09	2.31	83.641
2	53.03	52.10	49.08	2.58	81.792
3	51.02	51.85	47.10	2.23	78.175
4	50.79	50.66	46.03	2.28	76.757
5	52.48	52.35	51.27	2.26	82.603
6	53.97	52.07	50.23	2.58	81.972
7	50.78	51.97	47.88	2.55	79.155
8	52.83	51.55	49.08	2.46	81.557
9	52.93	52.55	48.31	2.61	81.358
10	52.94	53.96	50.35	2.51	83.300
11	53.07	54.25	50.09	2.55	83.656
12	50.94	51.40	48.02	2.60	79.854
13	51.13	51.90	48.41	2.46	80.602
14	51.40	54.15	49.87	2.65	82.753
15	53.97	54.35	50.18	2.60	83.705
16	51.00	52.71	48.39	2.56	82.002
17	52.98	51.13	49.57	2.69	82.105
18	51.91	51.90	47.36	2.55	80.657
19	54.04	54.06	49.08	2.52	82.653
20	53.65	54.65	49.38	2.49	83.355
21	52.89	51.92	48.78	2.22	81.467
22	50.75	53.09	47.63	2.50	80.186
23	50.67	51.04	47.23	2.40	79.046
24	52.61	52.95	49.08	2.57	82.039
25	53.85	54.94	52.80	2.60	86.531

ตารางผนวก 2 ต่อ

ผล	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ความหนาของ เปลือกส้ม (มิลลิเมตร)	มวล (กรัม)
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3		
26	53.03	50.84	48.82	2.31	80.603
27	50.85	51.50	50.67	2.58	82.304
28	52.92	51.89	48.84	2.23	81.876
29	50.72	53.87	50.54	2.28	83.222
30	53.08	54.03	51.61	2.26	83.355
31	54.94	50.21	47.71	2.58	80.747
32	52.90	50.91	46.66	2.55	80.338
33	53.15	53.94	51.61	2.46	84.599
34	54.56	52.03	49.80	2.61	82.304
35	52.59	54.05	50.50	2.51	84.352
36	53.38	53.85	50.36	2.55	83.224
37	52.59	50.80	47.16	2.60	78.956
38	53.21	54.76	51.23	2.46	84.755
39	49.33	51.75	48.16	2.65	81.256
40	52.94	52.50	48.45	2.60	81.297
41	48.57	53.25	49.45	2.56	83.108
42	52.40	51.74	47.89	2.69	80.050
43	50.71	50.91	48.95	2.55	82.574
44	52.00	52.29	48.17	2.52	79.813
45	52.80	52.57	46.27	2.49	78.644
46	50.96	51.80	46.09	2.22	77.957
47	54.63	51.87	47.18	2.50	80.865
48	53.09	53.83	48.01	2.40	82.752
49	51.59	53.04	49.21	2.57	80.934
50	52.93	54.99	50.92	2.60	84.108

ตารางผนวก 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และน้ำหนักของส้มเบอร์ 4

ผล	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ความหนาของ เปลือกส้ม (มิลลิเมตร)	มวล (กรัม)
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3		
1	58.88	56.90	53.47	2.58	103.442
2	58.16	57.37	51.53	2.95	102.294
3	56.04	57.10	49.31	2.58	96.271
4	55.73	55.86	48.37	2.58	96.159
5	57.53	57.60	53.48	2.61	100.707
6	59.12	57.38	52.66	2.99	102.273
7	55.80	57.18	50.41	2.86	100.458
8	57.98	56.83	51.39	2.84	100.656
9	58.13	57.86	50.72	3.02	101.455
10	58.10	59.26	52.70	2.91	102.802
11	58.22	59.54	52.49	2.94	103.659
12	56.04	56.67	50.52	2.97	100.855
13	56.28	57.21	50.72	2.87	99.703
14	56.65	59.52	52.27	3.12	102.751
15	59.07	59.63	52.68	2.98	104.704
16	56.16	58.00	50.79	2.95	102.006
17	58.16	56.45	52.08	3.11	103.202
18	57.01	57.16	49.81	2.91	101.155
19	59.20	59.34	51.44	2.90	102.253
20	58.80	59.93	51.72	2.87	102.759
21	57.90	57.14	50.99	2.54	99.564
22	55.91	58.38	49.97	2.89	99.582
23	55.89	56.36	49.41	2.82	96.847
24	57.73	58.22	51.53	2.94	102.538
25	59.08	60.27	55.17	3.03	106.234

ตารางผนวก 3 ต่อ

ผล	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ความหนาของ เปลือกส้ม (มิลลิเมตร)	มวล (กรัม)
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3		
26	58.11	56.10	51.05	2.67	98.904
27	56.00	56.81	53.10	2.99	102.607
28	57.83	57.06	51.16	2.50	101.073
29	55.76	59.10	52.78	2.61	101.628
30	57.99	59.21	53.96	2.54	102.853
31	60.07	55.49	50.16	2.96	101.246
32	58.13	56.25	48.98	2.99	99.533
33	58.16	59.17	54.06	2.79	105.097
34	59.67	57.30	52.30	2.98	103.309
35	57.64	59.30	52.96	2.86	104.958
36	58.48	59.11	52.81	2.91	103.725
37	57.79	56.11	49.56	3.01	98.951
38	58.22	59.99	53.68	2.79	105.252
39	54.43	57.01	50.71	3.01	102.756
40	58.14	57.80	50.85	3.00	101.296
41	53.67	58.50	51.91	2.91	103.706
42	57.61	57.07	50.37	3.12	100.853
43	55.86	56.21	51.35	2.95	102.571
44	57.06	57.55	50.63	2.88	100.417
45	57.84	57.82	48.72	2.84	99.142
46	55.87	56.96	48.40	2.48	97.054
47	59.67	57.11	49.64	2.84	101.467
48	57.97	59.01	50.53	2.68	103.959
49	56.74	58.34	51.63	2.97	101.137
50	58.00	60.24	53.45	2.95	105.405

ตารางผนวก 4 ผลการทดสอบหาค่าแรงกดอัด

ครั้งที่	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	ระยะห่างของ ชุดกดอัด (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งการ วัด	ประสิทธิภาพการคั้น (เปอร์เซ็นต์)	แรงกดอัด (นิวตัน)
1	2	2	1	97.03±0.21	473.21±0.89
2	2	2	2	97.53±0.23	475.53±0.95
3	2	2	3	96.97±0.19	482.34±1.20
4	2	2.5	1	94.34±0.25	445.17±1.35
5	2	2.5	2	94.22±0.12	446.47±0.98
6	2	2.5	3	95.19±0.16	452.85±1.15
7	2	3	1	91.08±0.31	410.43±1.10
8	2	3	2	91.53±0.22	408.78±1.12
9	2	3	3	91.82±0.24	421.01±0.99
10	3	2	1	96.92±0.28	492.72±0.91
11	3	2	2	97.31±0.22	490.61±1.45
12	3	2	3	97.18±0.26	502.37±1.36
13	3	2.5	1	95.22±0.18	462.02±1.52
14	3	2.5	2	95.98±0.17	465.93±1.42
15	3	2.5	3	95.32±0.12	475.46±1.24
16	3	3	1	91.58±0.19	438.92±1.54
17	3	3	2	91.02±0.14	435.49±0.90
18	3	3	3	92.85±0.24	440.58±1.12
19	4	2	1	95.22±0.26	508.35±1.14
20	4	2	2	95.34±0.27	510.45±1.23
21	4	2	3	94.32±0.18	512.55±1.25

ตาราง 4 ต่อ

ครั้งที่	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	ระยะห่างของ ชุดกอดอัด (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งการ วัด	ประสิทธิภาพการคั้น (เปอร์เซ็นต์)	แรงกดอัด (นิวตัน)
22	4	2.5	1	92.07±0.18	480.48±1.02
23	4	2.5	2	92.42±0.12	482.31±1.22
24	4	2.5	3	92.21±0.21	487.67±0.89
25	4	3	1	89.18±0.25	455.32±1.06
26	4	3	2	88.87±0.22	448.04±1.23
27	4	3	3	89.45±0.20	452.11±1.31

ตารางผนวก 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดผลส้มที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคั้นและแรงกดอัด

	Source	df	SS	MS	F	Sig.
efficiency	Between Groups	2	38.132	19.066	3.094	.024
	Within Groups	24	147.901	6.163		
	Total	26	186.033			
force	Between Groups	2	5798.274	2899.137	4.209	.027
	Within Groups	24	16532.324	688.847		
	Total	26	22330.598			

ตารางผนวก 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนระยะห่างของชุดกดยึดมีผลต่อประสิทธิภาพการขึ้นและแรงกดยึด

	Source	df	SS	MS	F	Sig.
efficiency	Between Groups	2	142.759	71.379	39.587	.000
	Within Groups	24	43.274	1.803		
	Total	26	186.033			
force	Between Groups	2	16073.975	8036.988	30.829	.000
	Within Groups	24	6256.623	260.693		
	Total	26	22330.598			

ตารางผนวก 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตำแหน่งการวัดมีผลต่อประสิทธิภาพการขึ้นและแรงกดยึด

	Source	df	SS	MS	F	Sig.
efficiency	Between Groups	2	.400	71.379	39.587	.000
	Within Groups	24	185.632	1.803		
	Total	26	186.033			
force	Between Groups	2	283.639	8036.988	30.829	.000
	Within Groups	24	22046.959	260.693		
	Total	26	22330.598			

ตารางผนวก 8 ผลการทดสอบหาค่าแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม

ครั้งที่	ความเร็วใบมีด (เมตรต่อวินาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	ตำแหน่ง การวัด	พลังงานสะสมที่ใช้ ในการตัดส้ม (จูล)	แรงที่ใช้ผ่าผล ส้ม (นิวตัน)
1	3.23	2	1	1.45	29.65±0.80
2	3.23	2	2	1.24	26.32±0.64
3	3.23	2	3	1.06	25.34±0.90
4	3.23	3	1	1.79	33.09±0.46
5	3.23	3	2	1.56	29.95±0.72
6	3.23	3	3	1.36	28.77±0.80
7	3.23	4	1	2.07	35.21±0.64
8	3.23	4	2	1.81	31.53±0.82
9	3.23	4	3	1.53	31.02±0.21
10	3.96	2	1	1.38	30.21±0.36
11	3.96	2	2	1.24	26.26±0.52
12	3.96	2	3	1.18	26.34±0.72
13	3.96	3	1	1.74	34.29±0.62
14	3.96	3	2	1.63	31.17±0.58
15	3.96	3	3	1.55	30.81±0.60
16	3.96	4	1	1.99	35.77±0.51
17	3.96	4	2	1.92	33.31±0.52
18	3.96	4	3	1.65	31.34±0.23
19	4.42	2	1	1.32	28.94±0.44
20	4.42	2	2	1.28	27.49±0.90
21	4.42	2	3	1.16	26.98±0.63

ตารางผนวก 8 ต่อ

ครั้งที่	ความเร็วใบมีด (เมตรต่อวินาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	ตำแหน่ง การวัด	พลังงานสะสมที่ใช้ ในการตัดส้ม (จูล)	แรงที่ใช้ผ่าผลส้ม (นิวตัน)
22	4.42	3	1	1.82	35.76±0.57
23	4.42	3	2	1.72	33.43±0.34
24	4.42	3	3	1.49	30.89±0.65
25	4.42	4	1	2.10	37.58±0.28
26	4.42	4	2	1.94	34.15±0.84
27	4.42	4	3	1.53	30.12±0.88

ตารางผนวก 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเร็วใบมีดที่มีผลต่อแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม

	Source	df	SS	MS	F	Sig.
force	Between Groups	2	11.759	5.880	.520	.001
	Within Groups	24	271.582	11.316		
	Total	26	283.342			

ตารางผนวก 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดผลส้มที่มีผลต่อแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม

	Source	df	SS	MS	F	Sig.
force	Between Groups	2	168.442	84.221	17.592	.000
	Within Groups	24	114.899	4.787		
	Total	26	283.342			

ตารางผนวก 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตำแหน่งการวัดที่มีผลต่อแรงที่ใช้ผ่าผลส้ม

	Source	df	SS	MS	F	Sig.
force	Between Groups	2	88.130	44.065	5.417	.011
	Within Groups	24	195.212	8.134		
	Total	26	283.342			



ภาคผนวก ข

การคำนวณเพื่อการออกแบบ

1. การปรับความเร็วรอบชุดคัน

เพื่อให้ความเร็วรอบของชุดคันมีค่าเหมาะสมสำหรับการทดสอบ ซึ่งจะใช้ความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 5–15 รอบต่อนาที โดยจะปรับอัตราทดให้มีค่าความเร็วรอบสูงสุดคือ 15 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วรอบอื่น ๆ ซึ่งมีค่าต่ำลงมานั้นจะปรับค่าโดยใช้อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับช่วยปรับความเร็วรอบ ส่วนการปรับความเร็วรอบจากมอเตอร์ไปยังชุดคันนั้นจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1.1 การปรับความเร็วรอบด้วย Gear Box

การปรับความเร็วรอบขั้นแรกจะทำการปรับโดยใช้ Gear Box แบบสกรูหมุนวนขนาดอัตราทด 1:60 ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบมีค่าลดลงดังนี้

เมื่อ

$$N_1 = 1430 \text{ รอบต่อนาที}$$

$$T_2 = 60$$

$$T_1 = 1$$

แทนค่าในสมการที่ 2 จะได้

$$N_2 = \frac{1,430 \times 1}{60}$$

$$N_2 = 23.83 \text{ รอบต่อนาที}$$

1.2 การปรับความเร็วรอบด้วยเฟืองทดรอบ

เมื่อความเร็วรอบลดลงจากการปรับความเร็วด้วย Gear Box แล้วจึงทำการปรับความเร็วรอบเพื่อให้ได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการอีกครั้ง ด้วยการใช้เฟืองทดรอบ เนื่องจาก Gear Box ที่มีจำหน่ายทั่วไปนั้นจะมีอัตราทดสูงสุดเพียง 1:60 และจะทำให้สะดวกต่อการปรับความเร็วรอบหลังจากการทำการทดสอบแล้วเพื่อนำไปใช้งานจริง ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

เมื่อ

$$N_1 = 23.83 \text{ รอบต่อนาที}$$

$$T_1 = 24 \text{ ฟัน}$$

$$N_2 = 15 \text{ รอบต่อนาที}$$

แทนค่าสมการที่ 2 จะได้

$$T_2 = \frac{67 \times 15}{23.83}$$

$$T_2 = 42.17 \text{ ฟัน}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้เฟืองตัวขับที่มีจำนวนฟัน 43 ฟันเพื่อให้ความเร็วรอบของชุดเกียร์มีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ ส่วนสาเหตุที่เฟืองตัวตามมีขนาด 67 ฟันนั้นเนื่องจากเป็นขนาดที่ทำให้ชุดเกียร์ส่วนบนมีระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการวางใบมีดและการจับผลส้ม

2. การหาขนาดต้นก้าน

การหาขนาดต้นก้านหรือหาขนาดมอเตอร์นั้นจะเริ่มจากการทดสอบหาแรงบิดที่ใช้ในการขับเคลื่อนและลำเลียงผลส้ม โดยใช้ประแจวัดแรงบิดเพื่อวัดแรงบิดซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนชุดเกียร์และลำเลียงผลส้มในกรณีที่ไม่มีภาระ

จาก

$$T_1 = 52 \text{ นิวตันเมตร}$$

จากนั้นนำค่าแรงที่ใช้สำหรับกดอัดผลส้ม (F_1) และผ่าผลส้ม (F_2) วึ่งได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ นำมาคำนวณเพื่อหาแรงบิด

เมื่อ

$$F_1 = 512.55 \times 4$$

$$= 2050.2 \text{ นิวตัน}$$

$$F_2 = 37.58 \times 4$$

$$= 150.32 \text{ นิวตัน}$$

$$r = 0.056 \text{ เมตร}$$

จาก

$$T_2 = (F_1 + F_2) r$$

แทนค่าจะได้

$$T_2 = (2050.2 + 150.32) \times 0.056$$

$$T_2 = 123.23 \text{ นิวตันเมตร}$$

ดังนั้น

$$T = T_1 + T_2$$

$$T = 52 + 123.23$$

$$T = 175.23 \text{ นิวตันเมตร}$$

เมื่อได้แรงบิดที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนและลำเลียงผลส้มแล้ว จากนั้นจึงนำค่าอัตราทดรวมไปหาค่าแรงบิดที่มอเตอร์ดังนี้

$$T_m = \frac{175.23}{60}$$

$$= 2.9205 \text{ นิวตันเมตร}$$

จาก

$$P = \frac{2\pi T n}{60}$$

เมื่อ

$$T = 2.9205 \text{ นิวตันเมตร}$$

$$n = 1430 \text{ รอบต่อนาที}$$

แทนค่าจะได้

$$P = \frac{2\pi \times 2.9205 \times 1430}{60}$$

$$= 437.34 \text{ วัตต์}$$

ให้ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์

$$P = \frac{437.34}{0.8}$$

$$= 546.675 \text{ วัตต์}$$

ได้

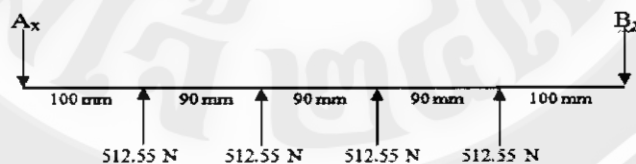
$$P = \frac{546.675}{746}$$

$$= 0.733 \text{ แรงม้า}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า

3. การหาขนาดเพลาลับชุดคัน

3.1 การหาขนาดเพลาลับชุดคันส่วนล่าง



ภาพผนวก 1 แรงที่กระทำบนเพลาลับชุดคันส่วนล่าง

จาก $\sum M_A = 0$

$$(B_x \times 0.47) = (512.55 \times 0.1) + (512.55 \times 0.19) + (512.55 \times 0.28) + (512.55 \times 0.37)$$

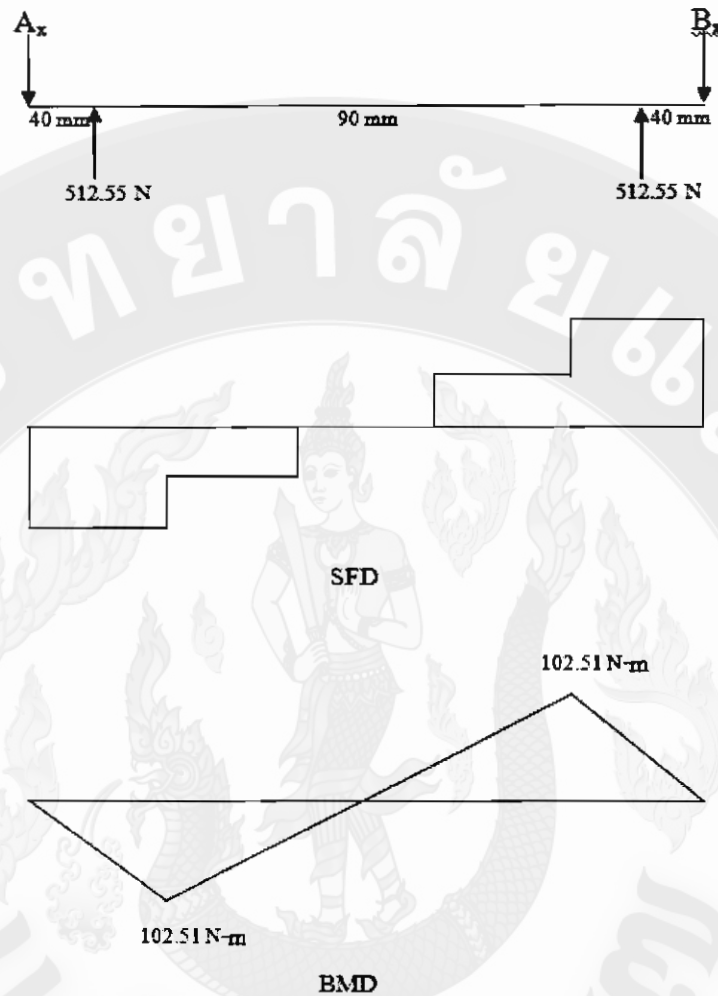
ดังนั้น

$$B_x = 1025.1 \text{ นิวตัน}$$

$$\sum F_x = 0$$

ดังนั้น

$$A_x = 1025.1 \text{ นิวตัน}$$



ภาพผนวก 2 ลักษณะของแรงที่กระทำกับเพลาชับชุดคันในระนาบ x-y, SFD และ BMD

พิจารณาโมเมนต์คัตสูงสุด $M = 102.51$ นิวตัน-เมตร

ในการหาขนาดเพลาลูกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม No. 304 Annealed จากตารางที่ 2.10 จะได้

$$S_y = 276 \text{ เมกกะปาสคาล}$$

$$S_{ut} = 568 \text{ เมกกะปาสคาล}$$

$$k_a = 0.922$$

$$k_b = 1 \quad (\text{เนื่องจากไม่ทราบขนาดเพลาลูก})$$

$$k_c = 0.868 \quad (\text{ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์})$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 1$$

$$k_f = 1$$

จาก

$$S'_e = 0.504S_{ut}$$

แทนค่าจะได้

$$S'_e = 0.504 \times 568$$

$$S'_e = 286.272 \text{ เมกกะปาสคาล}$$

จาก

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

แทนค่าจะได้

$$S_e = 0.922 \times 0.868 \times 1 \times 1 \times 1 \times 286.272$$

$$S_e = 229.102 \text{ เมกกะปาสคาล}$$

จากสมการของ Soderberg และทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$d_s = \left[\frac{32n}{\pi} \left\{ \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right\}^{1/2} \right]^{1/3}$$

เมื่อ

$$T = 175.23 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$M = 102.51 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$S_y = 276 \text{ เมกกะปาสคาล}$$

$$S_e = 229.102 \text{ เมกกะปาสคาล}$$

กำหนดค่าความปลอดภัย (n) = 1.3

แทนค่าจะได้

$$d_s = \left[\frac{32 \times 1.3}{\pi} \left\{ \left(\frac{175.23}{276 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{102.51}{229.102 \times 10^6} \right)^2 \right\}^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d_s = 0.0217 \text{ เมตร}$$

$$d_s = 21.7 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้เพลานขนาด 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)

3.2 การหาขนาดเพลาจับชุดคั่นส่วนบน



ภาพผนวก 3 แรงที่กระทำบนเพลาจับชุดคั่นส่วนบน

จาก

$$\sum M_A = 0$$

$$(B_x \times 0.47) = (1025.1 \times 0.04) + (1025.1 \times 0.43)$$

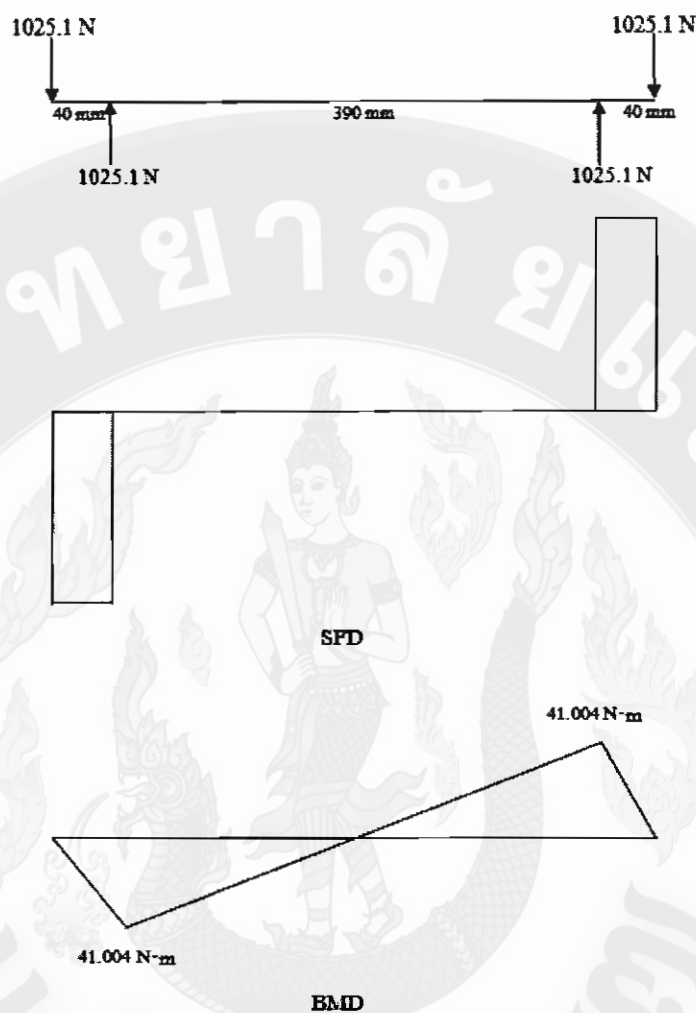
ดังนั้น

$$B_x = 1025.1 \text{ นิวตัน}$$

$$\sum F_x = 0$$

ดังนั้น

$$A_x = 1025.1 \text{ นิวตัน}$$



ภาพผนวก 4 ลักษณะของแรงที่กระทำกับเพลาชั้ชุดคันในระนาบ x-y, SFD และ BMD

พิจารณาโมเมนต์ค้สูงสุด

$$M = 41.004 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

เมื่อ

$$T = 175.23 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$M = 41.004 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$S_y = 276 \text{ เมกกะปาสกาล}$$

$$S_e = 229.102 \text{ เมกกะปาสกาล}$$

กำหนดค่าความปลอดภัย (n) = 1.3

แทนค่าจะได้

$$d_s = \left[\frac{32 \times 1.3}{\pi} \left\{ \left(\frac{175.23}{276 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{41.004}{229.102 \times 10^6} \right)^2 \right\}^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d_s = 0.0206 \text{ เมตร}$$

$$d_s = 20.6 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้เพลานาค 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)

4. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างชุดคัน

ตารางผนวก 12 คุณสมบัติของสแตนเลสเกรด 304 (AISI 304)

Property Name	Value	Units
Elastic modulus	1.9×10^{11}	N/m ²
Poisson's ratio	0.29	NA
Shear modulus	7.5×10^{10}	N/m ²
Mass density	8000	kg/m ³
Tensile strength	5.1702×10^8	N/m ²
Yield strength	2.0681×10^8	N/m ²
Thermal expansion coefficient	1.8×10^{-5}	/Kelvin
Thermal conductivity	16	W/(m.K)
Specific heat	500	J/(kg.K)

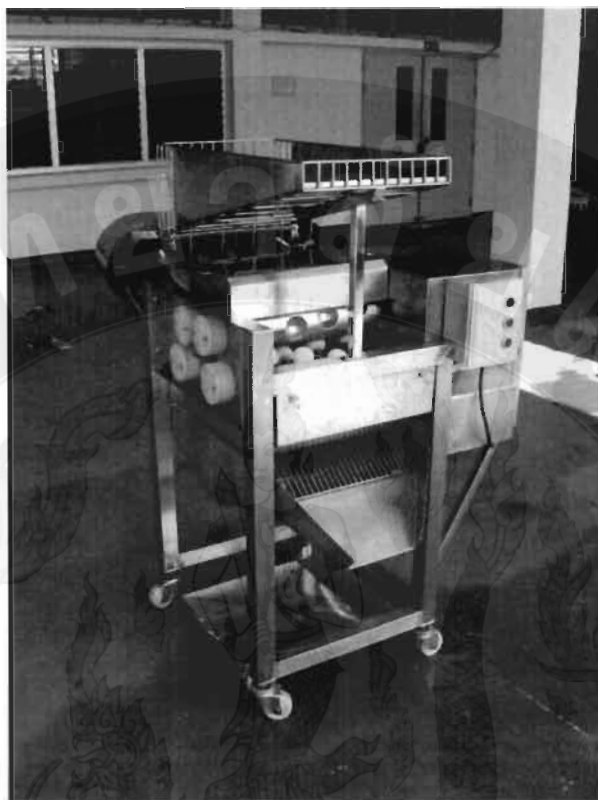
ตารางผนวก 13 คุณสมบัติของ PE High Density

Property Name	Value	Units
Elastic modulus	1.07×10^9	N/m ²
Poisson's ratio	0.4101	NA
Shear modulus	3.772×10^8	N/m ²
Mass density	952	kg/m ³
Tensile strength	2.21×10^7	N/m ²
Thermal conductivity	0.461	W/(m.K)
Specific heat	1796	J/(kg.K)

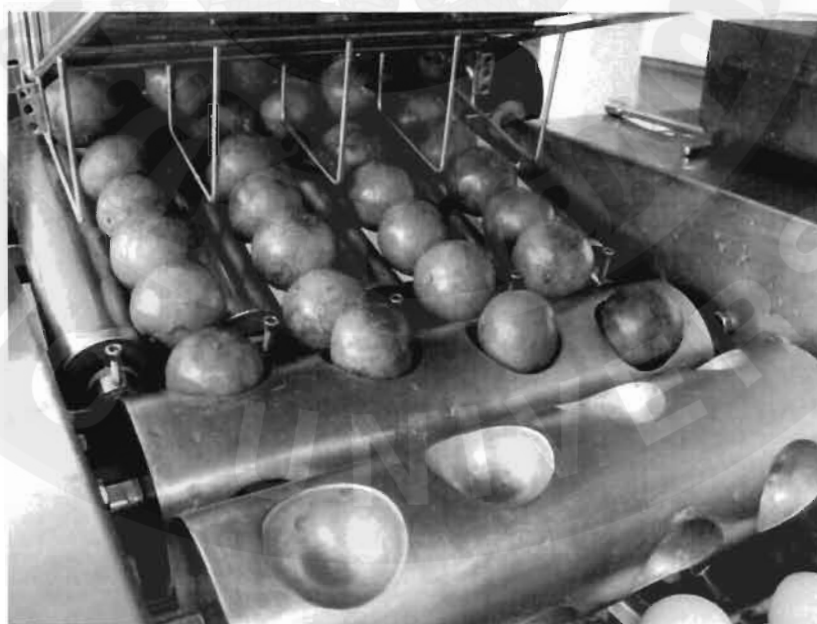


ภาคผนวก ค

ภาพถ่ายและภาพเขียนแบบเครื่องปั้นน้ำสั้ตันแบบ



ภาพผนวก 5 เครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ



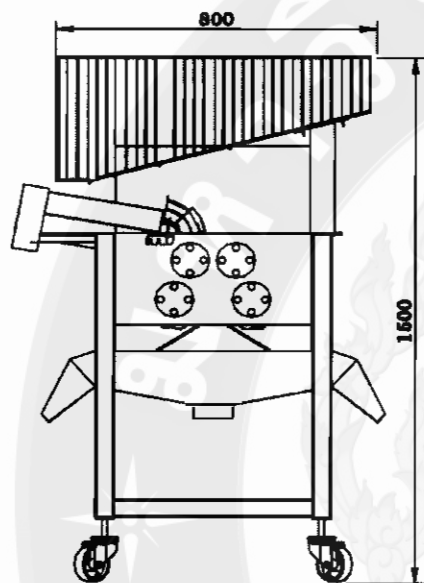
ภาพผนวก 6 การลำเลียงผลส้มเข้าสู่ชุดคั้นน้ำส้ม



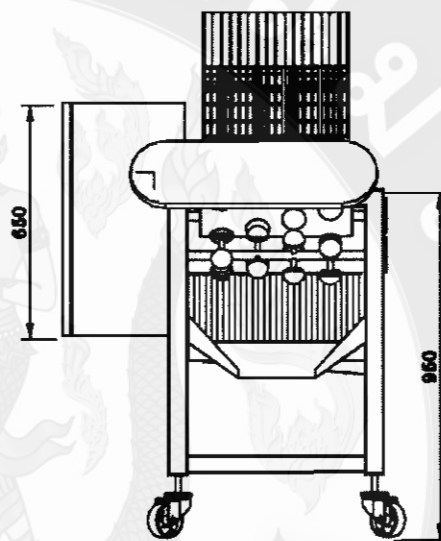
ภาพผนวก 7 การคัดแยกเปลือกออกจากน้ำส้ม



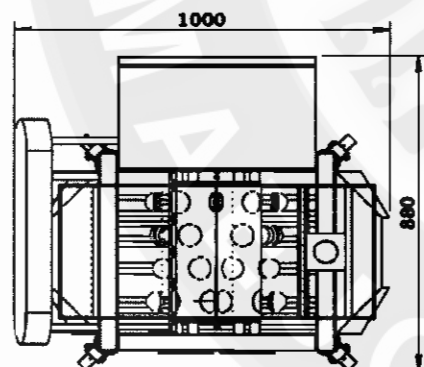
ภาพผนวก 8 ลักษณะเปลือกส้มหลังจากคั้นเอาน้ำส้มออก



FRONT VIEW



SIDE VIEW



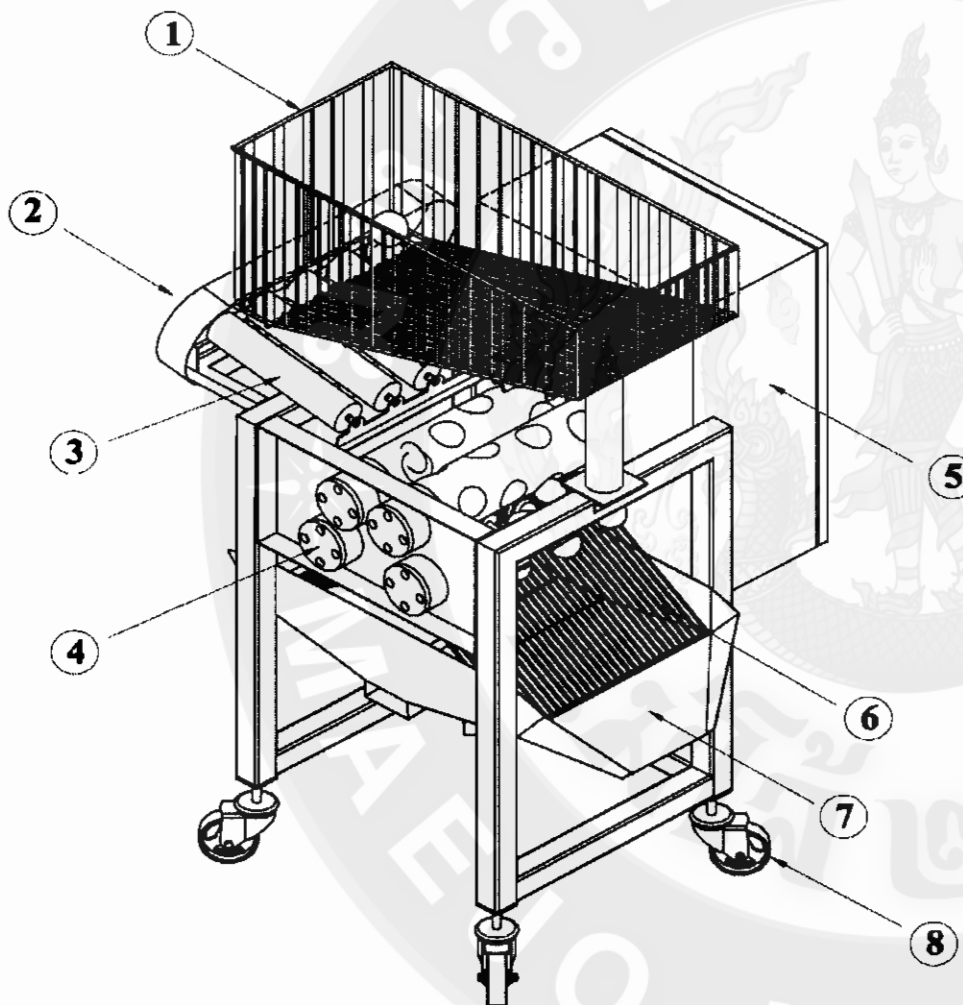
TOP VIEW



คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยนครพนม

ภาพแสดงขนาดตามทางของเครื่องต้นแบบระบบโรงครัวอาหารกลางวัน

เขียนโดย	ธีรวัฒน์ วงษ์พิพัฒน์	หน่วย ผลิตแบบ
ออกแบบโดย	ธีรวัฒน์ วงษ์พิพัฒน์	ภาพรวม 1.28



1. ตะกร้า
2. ฟาครอบโซ่และสเตอร์
3. ลูกกลิ้งลำเลียงผลส้ม
4. เกื่อลูกปืนชุดคัน
5. ตู้ระบบส่งกำลัง
6. ตะแกรงแยกเปลือกส้ม
7. ถาดรองน้ำส้มและเปลือกส้ม
8. ถ้อยเลื่อน

	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบรียรัมย์	
	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล นำเสนอแบบโครงการหลายหัวข้อ	
เขียนโดย	ธีรวัฒน์ วัฒนชัย	ทนาย นิธิคุณ
ออกแบบโดย	ธีรวัฒน์ วัฒนชัย	มาตราฐาน 1:8



ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกันน้ำสั้มนั้นแบบ

ตารางผนวก 14 ผลการทดสอบน้ำหนักผลส้ม

ระยะทางชุดคัน (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	น้ำหนักส้ม (กิโลกรัม)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	5.012	5.031	5.036
2	5	3	5.008	5.014	5.023
2	5	4	5.085	5.049	5.063
2	10	2	5.069	5.023	5.021
2	10	3	5.053	5.045	5.022
2	10	4	5.061	5.055	5.048
2	15	2	5.002	5.036	5.023
2	15	3	5.006	5.048	5.019
2	15	4	5.023	5.026	5.017
2.5	5	2	5.043	5.023	5.024
2.5	5	3	5.036	5.046	5.062
2.5	5	4	5.045	5.012	5.018
2.5	10	2	5.061	5.009	5.047
2.5	10	3	5.088	5.003	5.000
2.5	10	4	5.064	5.047	5.034
2.5	15	2	5.018	5.040	5.012
2.5	15	3	5.062	5.056	5.024
2.5	15	4	5.023	5.052	5.054
3	5	2	5.006	5.002	5.002
3	5	3	5.012	5.043	5.023
3	5	4	5.020	5.072	5.046
3	10	2	5.018	5.045	5.020
3	10	3	5.015	5.032	5.032
3	10	4	5.019	5.021	5.054
3	15	2	5.024	5.029	5.001
3	15	3	5.046	5.042	5.035
3	15	4	5.069	5.002	5.048

ตารางผนวก 15 ผลการทดสอบน้ำหนักน้ำส้ม

ระยะทางชุดคัน (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	น้ำหนักน้ำส้ม (กรัม)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	2,272.792	2,303.443	2,261.567
2	5	3	2,229.912	2,273.398	2,239.705
2	5	4	2,288.250	2,295.831	2,308.525
2	10	2	2,230.360	2,225.239	2,264.873
2	10	3	2,283.956	2,206.986	2,252.116
2	10	4	2,275.517	2,252.710	2,228.894
2	15	2	2,257.052	2,300.394	2,260.501
2	15	3	2,275.728	2,302.494	2,280.734
2	15	4	2,258.502	2,310.151	2,289.859
2.5	5	2	2,281.151	2,266.629	2,225.682
2.5	5	3	2,275.210	2,282.659	2,278.507
2.5	5	4	2,314.141	2,300.007	2,223.074
2.5	10	2	2,296.226	2,205.563	2,312.182
2.5	10	3	2,256.325	2,250.700	2,255.100
2.5	10	4	2,288.826	2,265.699	2,265.652
2.5	15	2	2,217.303	2,287.706	2,261.765
2.5	15	3	2,272.494	2,240.111	2,221.563
2.5	15	4	2,278.885	2,269.005	2,289.310
3	5	2	2,287.642	2,204.832	2,297.969
3	5	3	2,255.214	2,268.493	2,220.066
3	5	4	2,235.175	2,298.225	2,211.460
3	10	2	2,276.622	2,235.894	2,291.580
3	10	3	2,270.366	2,296.756	2,309.436
3	10	4	2,214.498	2,296.154	2,285.924
3	15	2	2,247.361	2,278.771	2,298.510
3	15	3	2,305.618	2,269.016	2,275.870
3	15	4	2,274.566	2,196.928	2,297.900

ตารางผนวก 16 ผลการทดสอบน้ำหนักน้ำส้มที่ค้างอยู่ในเปลือก

ระยะทางชุดคัน (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	น้ำหนักน้ำส้มที่ค้างอยู่ในเปลือก (กรัม)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	77.100	78.657	75.149
2	5	3	63.693	62.581	58.348
2	5	4	89.276	86.824	92.762
2	10	2	79.553	80.899	77.509
2	10	3	54.294	54.062	56.255
2	10	4	92.273	93.667	85.590
2	15	2	105.240	99.725	106.367
2	15	3	89.574	85.465	82.819
2	15	4	118.293	125.124	117.503
2.5	5	2	102.123	101.102	95.324
2.5	5	3	88.767	88.073	83.595
2.5	5	4	115.735	111.155	104.801
2.5	10	2	107.746	101.439	101.218
2.5	10	3	86.692	82.550	81.404
2.5	10	4	114.999	116.539	117.514
2.5	15	2	127.337	140.779	123.535
2.5	15	3	110.874	107.891	103.975
2.5	15	4	143.090	147.478	170.515
3	5	2	179.510	169.708	174.029
3	5	3	164.232	165.277	154.692
3	5	4	186.860	186.880	175.076
3	10	2	183.314	182.988	176.997
3	10	3	150.970	150.194	159.836
3	10	4	186.328	196.793	204.352
3	15	2	208.422	209.025	197.673
3	15	3	191.234	189.076	182.112
3	15	4	217.153	222.356	214.729

ตารางผนวก 17 ผลการทดสอบน้ำหนักเปลือกและเมล็ด

ระยะทางชุดคัน (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	น้ำหนักเปลือกและเมล็ด (กรัม)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	2,650.108	2,617.900	2,663.284
2	5	3	2,706.395	2,664.021	2,701.947
2	5	4	2,622.474	2,617.345	2,598.713
2	10	2	2,690.087	2,693.861	2,657.618
2	10	3	2,661.750	2,738.953	2,691.629
2	10	4	2,632.210	2,653.622	2,685.516
2	15	2	2,637.708	2,599.881	2,633.132
2	15	3	2,634.698	2,612.041	2,636.447
2	15	4	2,623.205	2,564.725	2,592.637
2.5	5	2	2,616.726	2,632.269	2,678.994
2.5	5	3	2,636.023	2,629.268	2,637.898
2.5	5	4	2,570.124	2,588.839	2,672.125
2.5	10	2	2,596.028	2,692.998	2,586.600
2.5	10	3	2,656.983	2,666.750	2,663.496
2.5	10	4	2,596.175	2,617.762	2,616.834
2.5	15	2	2,655.360	2,571.514	2,614.700
2.5	15	3	2,616.632	2,651.998	2,674.463
2.5	15	4	2,578.025	2,583.517	2,540.175
3	5	2	2,532.848	2,625.460	2,528.003
3	5	3	2,580.554	2,566.230	2,625.243
3	5	4	2,577.965	2,514.896	2,613.464
3	10	2	2,540.064	2,581.118	2,531.423
3	10	3	2,578.664	2,553.050	2,530.728
3	10	4	2,599.174	2,507.053	2,509.724
3	15	2	2,544.217	2,512.205	2,503.818
3	15	3	2,503.148	2,541.908	2,542.018
3	15	4	2,508.281	2,580.715	2,487.371

ตารางผนวก 18 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการคัน

ระยะทางชุดคัน (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	เวลาที่ใช้ในการคัน (วินาที)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	74.71	73.82	75.55
2	5	3	60.13	61.12	62.26
2	5	4	50.67	49.54	49.28
2	10	2	37.83	37.39	37.60
2	10	3	30.24	30.34	29.67
2	10	4	25.11	25.09	25.12
2	15	2	24.93	25.24	25.12
2	15	3	19.95	20.18	19.85
2	15	4	17.13	17.24	17.20
2.5	5	2	75.54	73.38	75.91
2.5	5	3	59.92	58.67	61.09
2.5	5	4	50.49	49.80	50.80
2.5	10	2	37.88	37.11	37.30
2.5	10	3	30.46	30.31	29.82
2.5	10	4	25.22	25.28	24.83
2.5	15	2	25.09	25.06	24.86
2.5	15	3	20.22	20.20	19.91
2.5	15	4	16.74	16.96	16.99
3	5	2	74.91	73.41	72.41
3	5	3	59.89	58.65	61.02
3	5	4	49.85	49.32	48.88
3	10	2	37.49	37.35	36.90
3	10	3	29.87	30.10	30.38
3	10	4	24.97	24.78	24.90
3	15	2	24.97	25.14	24.65
3	15	3	20.13	19.88	19.90
3	15	4	16.79	16.45	16.66

ตารางผนวก 19 ผลการทดสอบความสามารถในการขึ้นผลส้ม

ระยะห่างชุดต้น (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	ความสามารถในการขึ้นผลส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	241.52	245.34	239.98
2	5	3	299.83	295.31	290.46
2	5	4	361.25	366.87	369.85
2	10	2	482.37	483.59	480.79
2	10	3	601.46	598.62	609.39
2	10	4	719.83	725.32	723.58
2	15	2	722.38	718.34	719.84
2	15	3	903.52	900.65	910.34
2	15	4	1055.71	1049.27	1050.23
2.5	5	2	240.33	246.42	238.25
2.5	5	3	302.56	309.64	298.31
2.5	5	4	359.68	362.32	355.64
2.5	10	2	480.98	485.98	487.13
2.5	10	3	601.36	594.31	603.54
2.5	10	4	722.97	718.64	729.77
2.5	15	2	720.03	723.91	725.85
2.5	15	3	901.23	900.87	908.34
2.5	15	4	1080.09	1072.19	1070.73
3	5	2	240.58	245.31	248.67
3	5	3	301.26	309.54	296.34
3	5	4	362.51	370.21	371.61
3	10	2	481.81	486.3	489.78
3	10	3	604.37	601.82	596.31
3	10	4	723.52	729.43	730.58
3	15	2	724.23	720.12	730.38
3	15	3	902.35	913.26	910.84
3	15	4	1086.94	1094.36	1090.92

ตารางผนวก 20 ผลการทดสอบความสามารถในการคั้นน้ำส้ม

ระยะห่างชุดคั้น (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลส้ม (เบอร์)	ความสามารถในการคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	109.52	112.33	107.77
2	5	3	133.51	133.90	129.51
2	5	4	162.56	166.82	168.64
2	10	2	212.24	214.24	216.87
2	10	3	271.86	261.87	273.28
2	10	4	326.23	323.23	319.49
2	15	2	325.96	328.13	323.95
2	15	3	410.74	410.80	413.68
2	15	4	474.68	482.29	479.35
2.5	5	2	108.71	111.20	105.55
2.5	5	3	136.69	140.07	134.28
2.5	5	4	164.99	166.27	157.56
2.5	10	2	218.23	213.99	223.17
2.5	10	3	266.68	267.36	272.21
2.5	10	4	326.77	322.61	328.45
2.5	15	2	318.16	328.59	327.55
2.5	15	3	404.59	399.14	401.66
2.5	15	4	490.03	481.55	485.01
3	5	2	109.94	108.13	114.24
3	5	3	135.56	139.24	130.98
3	5	4	161.41	167.75	162.86
3	10	2	218.59	215.52	223.58
3	10	3	273.61	274.69	273.68
3	10	4	319.23	333.58	330.44
3	15	2	323.97	326.31	335.69
3	15	3	412.30	410.99	411.71
3	15	4	487.73	480.65	496.60

ตารางผนวก 21 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการคัน

ระยะห่างชุดคัน (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาดผลัด (เบอร์)	ประสิทธิภาพการคัน (เปอร์เซ็นต์)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2	5	2	96.72	96.70	96.78
2	5	3	97.52	97.62	97.66
2	5	4	96.25	96.36	96.14
2	10	2	96.56	96.49	96.69
2	10	3	97.58	97.61	97.56
2	10	4	96.10	96.01	96.30
2	15	2	95.55	95.85	95.51
2	15	3	96.21	96.42	96.50
2	15	4	95.02	94.86	95.12
2.5	5	2	95.72	95.73	95.89
2.5	5	3	96.25	96.29	96.46
2.5	5	4	95.24	95.39	95.50
2.5	10	2	95.52	95.60	95.81
2.5	10	3	96.30	96.46	96.52
2.5	10	4	95.22	95.11	95.07
2.5	15	2	94.57	94.20	94.82
2.5	15	3	95.35	95.41	95.53
2.5	15	4	94.09	93.90	93.07
3	5	2	92.72	92.85	92.96
3	5	3	93.21	93.21	93.49
3	5	4	92.29	92.48	92.66
3	10	2	92.55	92.44	92.83
3	10	3	93.77	93.86	93.53
3	10	4	92.24	92.11	91.79
3	15	2	91.51	91.60	92.08
3	15	3	92.34	92.31	92.59
3	15	4	91.29	90.81	91.45

ตารางผนวก 22 ผลการทดสอบเครื่องคั้นน้ำส้มดันแบบ

ระยะห่างชุด คั้น (มิลลิเมตร)	ความเร็ว รอบ (รอบต่อ นาที)	ขนาด ผลส้ม (เบอร์)	ความสามารถใน การคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ความสามารถใน การคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพ การคั้น (เปอร์เซ็นต์)
2	5	2	242.28	109.87	96.73
2	5	3	295.20	132.31	97.60
2	5	4	365.99	166.01	96.25
2	10	2	482.25	214.45	96.58
2	10	3	603.16	269.00	97.58
2	10	4	722.91	322.98	96.14
2	15	2	720.19	326.01	95.64
2	15	3	904.84	411.74	96.38
2	15	4	1051.74	478.77	95.00
2.5	5	2	241.67	108.49	95.78
2.5	5	3	303.50	137.01	96.33
2.5	5	4	359.21	162.94	95.38
2.5	10	2	484.70	218.46	95.64
2.5	10	3	599.74	268.75	96.43
2.5	10	4	723.79	325.94	95.13
2.5	15	2	723.26	324.77	94.53
2.5	15	3	903.48	401.80	95.43
2.5	15	4	1074.34	485.53	93.69
3	5	2	244.85	110.77	92.84
3	5	3	302.38	135.26	93.30
3	5	4	368.11	164.01	92.48
3	10	2	485.96	219.23	92.61
3	10	3	600.83	273.99	93.72
3	10	4	727.84	327.75	92.05

ตารางผนวก 22 (ต่อ)

ระยะห่าง ชุดคัน (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ขนาด ผลส้ม (เบอร์)	ความสามารถใน การคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ความสามารถใน การคั้นน้ำส้ม (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพ การคั้น (เปอร์เซ็นต์)
3	15	2	724.91	328.66	91.73
3	15	3	908.82	411.67	92.41
3	15	4	1090.74	488.33	91.18

ตารางผนวก 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นผลส้มเบอร์ 2

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	43.414	21.707	1.958	.174
clearance	2	60.846	30.423	2.744	.094
rpm	2	1036178.996	518089.498	46728.796**	.000
clearance * rpm	4	12.174	3.043	.275	.890
Error	16	177.395	11.087(a)		

ตารางผนวก 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นผลส้มเบอร์ 3

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	2.672	1.336	.044	.957
clearance	2	39.573	19.787	.647	.537
rpm	2	1649038.109	824519.055	26963.327**	.000
clearance * rpm	4	146.644	36.661	1.199	.349
Error	16	489.268	30.579(a)		

ตารางผนวก 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นผลส้มเบอร์ 4

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	25.726	12.863	.703	.510
clearance	2	1087.251	543.625	29.696	.380
rpm	2	2254879.192	1127439.596	61586.348**	.000
clearance * rpm	4	1384.928	346.232	18.913	.277
Error	16	292.906	18.307(a)		

ตารางผนวก 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นน้ำส้มผลส้มเบอร์ 2

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	61.542	30.771	2.212	.142
clearance	2	39.763	19.882	1.429	.268
rpm	2	211452.433	105726.217	7600.437**	.000
clearance * rpm	4	88.819	4	7.848	.564
Error	16	222.569	13.911(a)		

ตารางผนวก 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั้นน้ำส้มผลส้มเบอร์ 3

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	3.157	1.578	.142	.868
clearance	2	90.189	45.094	4.066	.037
rpm	2	336717.922	168358.961	15179.436**	.000
clearance * rpm	4	192.509	48.127	4.339	.014
Error	16	177.460	11.091(a)		

ตารางผนวก 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการคั่นน้ำส้มผลส้มเบอร์ 4

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	13.153	6.576	.250	.782
clearance	2	76.051	38.026	1.446	.265
rpm	2	460499.714	230249.857	8753.132**	.000
clearance * rpm	4	117.978	29.494	1.121	.381
Error	16	420.878	26.305(a)		

ตารางผนวก 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการคั่นผลส้มเบอร์ 2

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	.276	.138	5.930	.012
clearance	2	74.828	37.414	1607.798**	.000
rpm	2	6.951	3.476	149.356**	.000
clearance * rpm	4	.050	.012	.534	.713
Error	16	.372	.023(a)		

ตารางผนวก 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการคั่นผลส้มเบอร์ 3

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	.095	.048	4.091	.037
clearance	2	78.318	39.159	3360.204**	.000
rpm	2	7.221	3.611	309.826**	.000
clearance * rpm	4	.223	.056	4.779	.010
Error	16	.186	.012(a)		

ตารางผนวก 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการคั่นผลส้มเบอร์ 4

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	.034	.017	.247	.784
clearance	2	72.893	36.446	529.723**	.000
rpm	2	10.140	5.070	73.688**	.000
clearance * rpm	4	.339	.085	1.230	.337
Error	16	1.101	.069(a)		

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ตารางผนวก 23-31)

ตารางผนวก 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารนารินจินจากเครื่องคั่นน้ำส้มแบบต่าง ๆ

Source	df	SS	MS	F	Sig.
block	2	2.9500	1.4750	0.14	5.14
naringin	3	4937.95	1645.983	56.45	.000
Error	6	63.1251	10.5208		

ตารางผนวก 33 ผลการทดสอบการหาปริมาณสารนารินจินจากเครื่องคั่นน้ำส้มแบบต่าง ๆ

วิธีการคั่น	ปริมาณสารนารินจิน			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เครื่องคั่นน้ำส้มดันแบบ	52.75	54.64	57.58	54.99±2.43 ^b
เครื่องคั่นน้ำส้มแบบโรตารี	66.45	60.21	59.76	62.14±3.74 ^a
เครื่องคั่นน้ำส้มแบบจานหมุน	40.21	46.96	44.10	43.76±3.39 ^c
การคั่นน้ำส้มด้วยมือ	8.02	9.27	10.59	9.29±1.28 ^d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายถิรวัฒน์ วงษาเทียม
เกิดเมื่อ	26 ธันวาคม 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2544 จบมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2549 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการฝึกงาน	พ.ศ. 2549 นักศึกษาฝึกงาน บริษัท เจวีอินคัสเดรียล จำกัด จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2550 วิศวกรเครื่องกล บริษัท กรีนไลฟ์เทคโนโลยี จำกัด จังหวัดเชียงใหม่
ผลงานทางวิชาการ	พ.ศ. 2549 การออกแบบและประเมินผลชุดกระเช้าช่วยเก็บเกี่ยวลำไย แบบติดตั้งบนรถกระบะ โครงการวิศวกรรมปริญญาดรี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	พ.ศ. 2553 ถิรวัฒน์ วงษาเทียม สุเนตร สืบคำ และเสมอขวัญ ดันติกุล การพัฒนาเครื่องคั้นน้ำส้มอัดโน้มดิแบบโรตารีหลายหัวคั้น ใน รายงานการประชุมงานสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 8 ระหว่างวันที่ 1-3 กันยายน 2553 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่