

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ จึงมีวิธีการศึกษาดังนี้ คือ การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลส้ม การออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบ การทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติ การหาปริมาณสารนารินจินจากน้ำส้มที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ และการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังการดำเนินงานดังภาพ 21 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### วัสดุอุปกรณ์

##### วัตถุดิบ

ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง 500 กิโลกรัม

##### เครื่องมือ

1. เครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบ
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. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง

##### อุปกรณ์

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

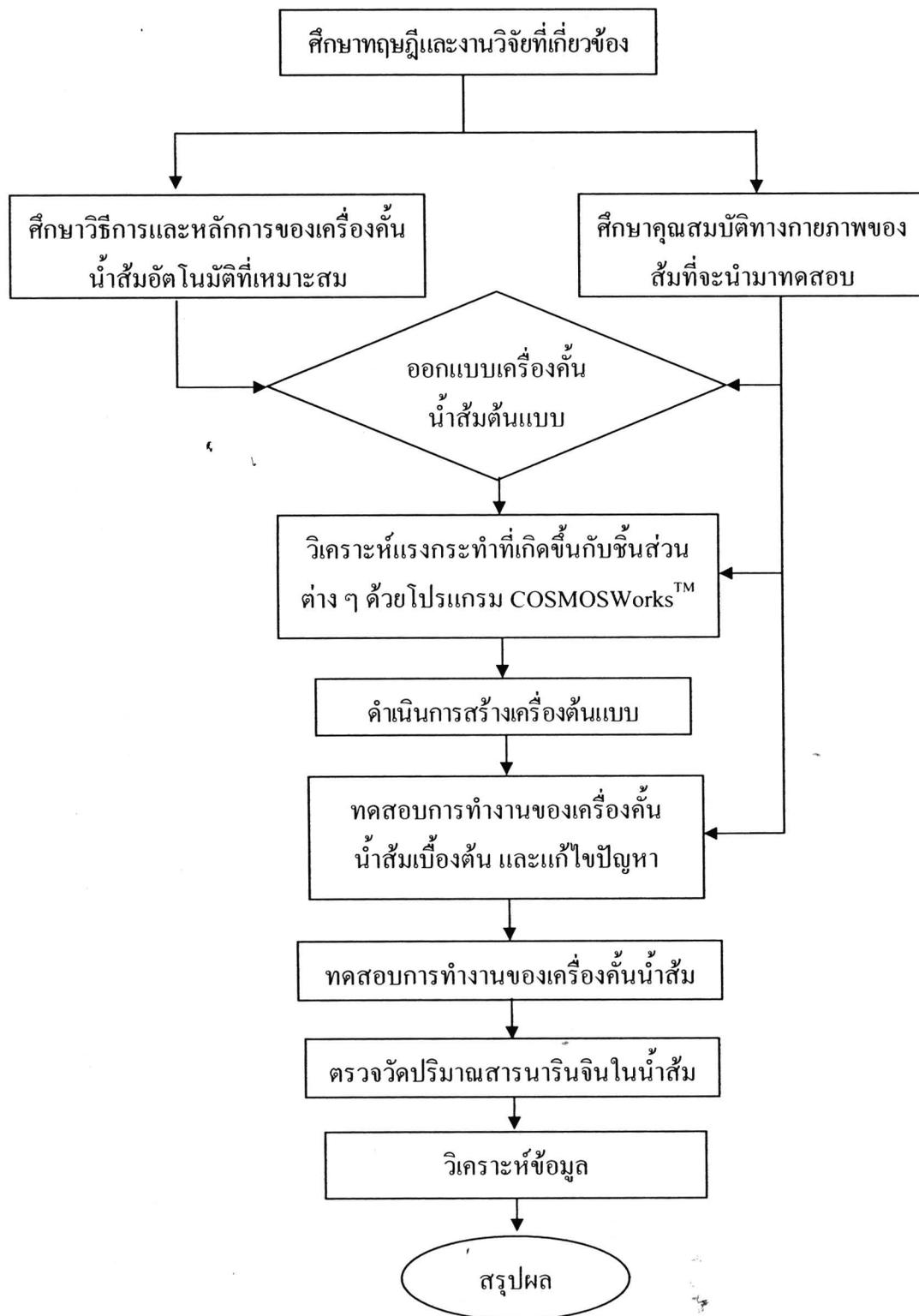
## สารเคมี

1. สารมาตรฐานนารินจีน
2. เมทิลแอลกอฮอล์
3. น้ำกลั่น
4. อะซีโตนไไตรต์

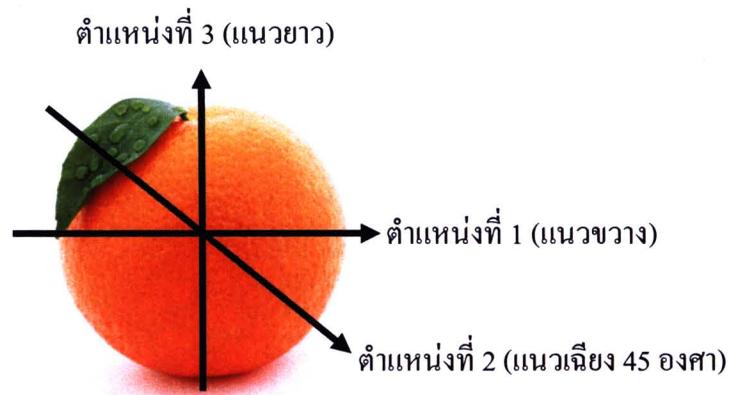
## วิธีดำเนินการวิจัย

### การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลส้ม

สมบัติทางกายภาพทำการศึกษาเน้นสมบัติที่มีผลต่อการคั้นน้ำส้ม ซึ่งได้แก่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลส้ม ความหนาของเปลือกส้ม มวลของผลส้ม แรงกดอัด และแรงผ่าผลส้ม โดยส้มที่ใช้ในการทดสอบเป็นส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง การวัดขนาดต่าง ๆ ของส้มใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ แบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง มวลของผลส้มใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง การทดสอบหาแรงกดอัดที่ใช้คั้นน้ำส้ม วัดโดยอุปกรณ์ทดสอบเอนกประสงค์ (universal testing machine) ที่ระยะห่างจุดหัวคั้นและหลุมคั้น 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร ทำการวัด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง) ตำแหน่งที่ 2 (แนวเฉียง 45 องศา) และตำแหน่งที่ 3 (แนวยาว) การทดสอบหาแรงเฉือนวัดโดยอุปกรณ์ทดสอบหาค่าแรงเฉือน (pendulum impact tester) ทำการวัด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 (แนวขวาง) ตำแหน่งที่ 2 (แนวเฉียง 45 องศา) และตำแหน่งที่ 3 (แนวยาว) ดึงภาพ 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



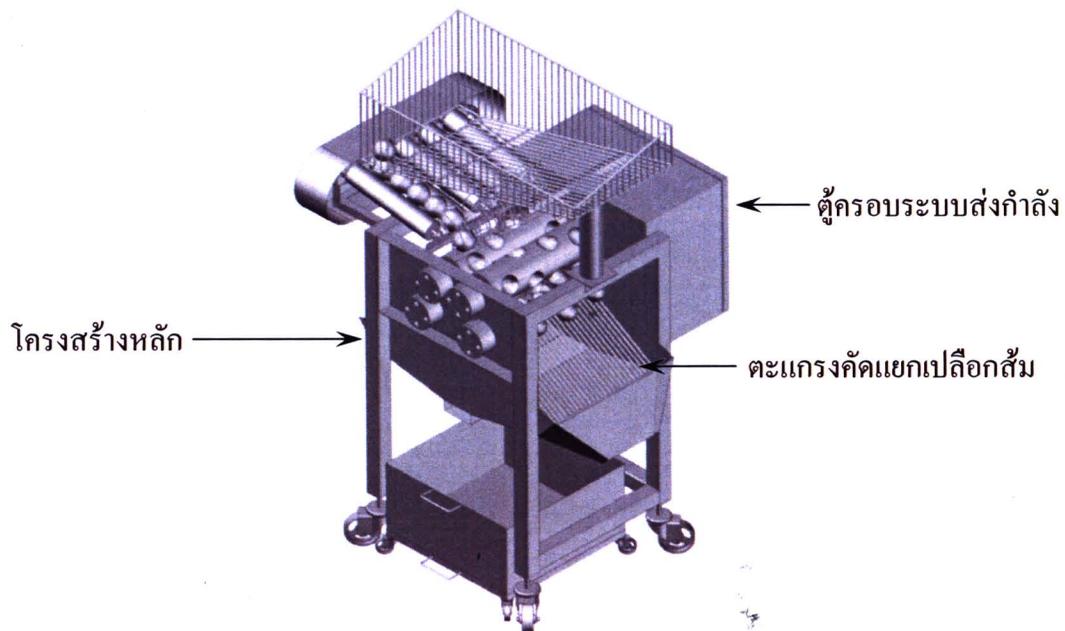
ภาพ 21 แผนผังการดำเนินงาน



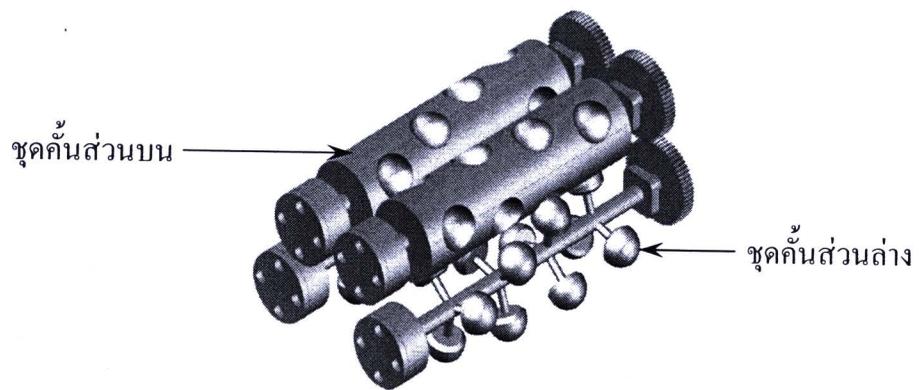
ภาพ 22 ตำแหน่งทดสอบหาแรงเฉือน

### การออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบ

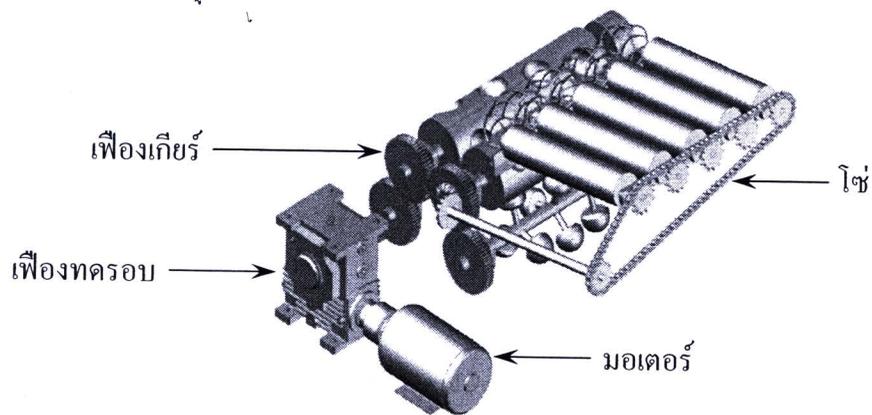
ใช้โปรแกรม SolidWorks™ ในการออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนต่างๆ อาทิ โครงสร้างหลัก ชุดคั้น ระบบส่งกำลัง ระบบลำเลียงผลส้ม ระบบคัดแยกเปลือกและน้ำส้ม เป็นต้น ดังแสดงในภาพ 23-26 โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของส้ม การทดสอบการทำงานเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง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



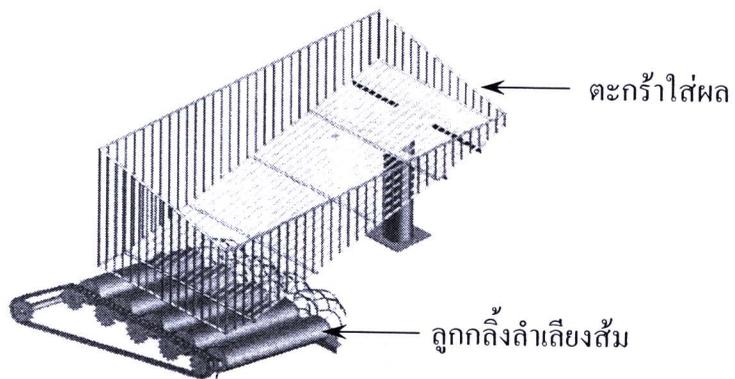
ภาพ 23 เครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ



ภาพ 24 ชุดคั่น



ภาพ 25 ระบบส่งกำลัง



ภาพ 26 ระบบลำเลียงผลส้ม

ในส่วนของคุณลักษณะเมื่อทำการออกแบบแล้วจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม COSMOSWorks™ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยกำหนดเงื่อนไขขอบและรายละเอียดการวิเคราะห์ในตาราง 3

ตาราง 3 เงื่อนไขขอบและรายละเอียดการวิเคราะห์

เงื่อนไขขอบและ รายละเอียดการวิเคราะห์	ก้านหัวค้ำ	หัวค้ำ	ชุดค้ำส่วนบน
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

#### การทดสอบการทำงานเครื่องค้ำน้ำส้มอัตโนมัติ

การทดสอบสมรรถนะในการทำงานอาศัยน้ำหนักของผลส้มและน้ำส้มเป็นเกณฑ์ ที่ความเร็วรอบของคุณลักษณะ 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที ระยะห่างของคุณลักษณะ 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) และใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริตเมนต์ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธีการทดสอบแบบจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test)

### การหาปริมาณสารนารินจินในน้ำส้ม

นารินจิน เป็นสารประกอบซึ่งทำให้เกิดรสขมในพืชตระกูลส้ม เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความขมที่เจือปนมาจากขั้นตอนในการคั้นน้ำส้มจากเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบ จึงมีการตรวจวัดปริมาณสารนารินจินด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography หรือ HPLC เพื่อหาปริมาณสารนารินจินที่เจือปนมาค้ำน้ำส้ม โดยใช้ตัวอย่างน้ำส้มจากการคั้น 4 วิธีคือ การคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ การคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารีทั่วไป การคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มแบบจานหมุน และการคั้นน้ำส้มด้วยมือ โดยขั้นตอนในการหาปริมาณสารนารินจินจกน้ำส้ม 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 จำเป็นต้องทราบว่าเมื่อปริมาณงานที่ทำเปลี่ยนแปลงไปต้นทุนจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ถ้าหากต้นทุนรายการนั้นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณงานเปลี่ยนไป ต้นทุนนั้นคือ ต้นทุนคงที่ ส่วนถ้าต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายรายการใดมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีปริมาณงานที่ทำเปลี่ยนไปจากเดิม ต้นทุนนั้นคือ ต้นทุนผันแปร สำหรับต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาและค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการใช้งาน ส่วนต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งแปรผันตามการใช้งานของเครื่อง (เพียงจันทร์, 2552) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลกำหนดให้

โดยที่	TC	= ค่าใช้จ่ายรวมจากการค้ำน้ำส้ม (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	= ค่าจ้างในการค้ำน้ำส้มต่อกิโลกรัม (บาท)
	L	= ค่าแรงงาน (บาทต่อคนต่อวัน)
	E	= อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อวัน)
	e	= อัตราค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

ดังนั้น

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

เมื่อ  $FC = D + I \quad (32)$

และ  $VC = L + E + R \& M \quad (33)$

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

- **ระยะเวลาคืนทุน** คือ ระยะเวลาจากการเริ่มลงทุนจนถึงที่เวลารายได้สุทธิเฉลี่ยต่อปีจากการใช้เครื่องคั้นน้ำส้มมีค่าเท่ากับต้นทุนซึ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการ

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

- **ผลตอบแทนในการทำงาน** ได้จากส่วนแตกต่างระหว่างรายได้จากการคั้นของเครื่องกับค่าใช้จ่ายจากการคั้นน้ำส้ม ซึ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ว่า

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

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

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

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