



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่นำด้วยระบบอัดเกลียว
THE DEVELOPMENT AND TEST OF OIL PHYSIC NUT EXTRACT MACHINE
BY SCREW PRESS

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2550
จำนวน 200,000 บาท

หัวหน้าโครงการ ว่าที่ร้อยตรีธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี
ผู้ร่วมโครงการ นางสาวธัญญรัตน์ เชื้อสะอาด

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

31/ส.ค./51

การพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว
THE DEVELOPMENT AND TEST OF OIL PHYSIC NUT EXTRACT
MACHINE BY SCREW PRESS

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และ ธัญญรัตน์ เชื้อสะอาด
TAMMASAK PUNSAENSRI AND THANYARAT CHUESAARD

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ –แพร่ เฉลิมพระเกียรติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสม ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน และพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว การทำงานแบ่งออกเป็นได้ 2 ส่วนคือ การทดสอบสมรรถนะของเครื่องสกัดน้ำมัน และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยเมล็ดสบูดำที่ใช้ในการทดสอบมีปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 18 %โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาวิจัย พบว่า เครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวที่ออกแบบและ พัฒนาขึ้น มีความสามารถในการบีบสกัดน้ำมันสบูดำเฉลี่ย 15.63% มีสมรรถนะในการทำงาน เฉลี่ย 10.75 กิโลกรัม/ชั่วโมง และความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 1.84 ลิตร/ชั่วโมง โดยใช้ ความเร็วที่เหมาะสมอยู่ที่ 30 รอบต่อนาที และมีต้นทุนการบีบสกัดที่ 4.30 บาทต่อลิตร

Abstract

The objective of this research study is the optimal of speed, efficiency of oil extraction and development of oil physic nut extract machine by screw press. The studies are divided into two parts; performance test and economic analysis. Using of Physic nut seed has oil average 18 % by weigh

The results of the study showed that oil physic nut extract machine by screw press at design and development. Has efficiency of oil physic nut extract average 15.63%, Performance of work average 10.75 kg/hr. and efficiency of work average 1.84 l/hr. The optimal of speed using at 30 rpm and the cost of the yield was 4.30 baht/lite.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินการวิจัย ขอแสดงความขอบคุณต่อสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการ การเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งได้ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัยในปีงบประมาณ 2550 ในหัวข้อ การพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่น้ำส้มด้วยระบบอัดเกลียว และพร้อมกันนี้คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่ได้อนุเคราะห์ด้านอาคารและสถานที่ ตลอดจนอนุเคราะห์การทดลองต่าง ๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี

ธัญญรัตน์ เชื้อสะอาด

วันที่ 1 กันยายน 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ปัญหาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	2
1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสบูดำ	11
2.1.1 การปลูกสบูดำในประเทศไทย	12
2.1.2 การปลูกสบูดำในต่างประเทศ	12
2.1.3 พันธุ์สบูดำในประเทศไทย	13
2.2 พฤกษศาสตร์ของสบูดำ	13
2.2.1 ใบ	14
2.2.2 ดอก	15
2.2.3 ผล	16
2.2.4 เมล็ด	16
2.3 การปลูกสบูดำ	17
2.3.1 สภาพพื้นที่ปลูกสบูดำ	17
2.3.2 การขยายพันธุ์	18

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี (ต่อ)	
2.4 การสกัดน้ำมันสบู่ดำ	29
2.4.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย	29
2.4.2 การสกัดน้ำมันด้วยระบบไฮดรอลิก	30
2.4.3 การสกัดน้ำมันด้วยระบบอัดเกลียวหรือสกรูเพรส	30
2.5 การออกแบบลักษณะเกลียวอัด	31
2.5.1 แบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพินเกลียวอัด	31
2.5.2 แบบลดระยะพิทช์โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพินคงที่	31
2.5.3 แบบเกลียวอัดภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพินคงที่ แต่กระบอกอัดมีเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง	32
2.5.4 แบบเกลียวอัดภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพินคงที่ แต่ระยะพิทช์และเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดลดลง	32
2.5.5 แบบระยะพิทช์ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดและเส้นผ่านศูนย์กลาง ของกระบอกอัดคงที่แต่มีห้องอัด	32
2.6 ทฤษฎีเกลียวอัด	33
2.6.1 ช่วงป้อน	33
2.6.2 ช่วงการอัด	33
2.6.3 ช่วงตวงวัดหรือช่วงวัด	34
2.7 องค์ประกอบของเครื่องสกัดน้ำมันด้วยระบบเกลียวอัด	34
2.7.1 ระบบส่งกำลัง	34
2.7.2 ช่องป้อนวัสดุ	34
2.7.3 กระบอกเกลียวอัด	35
2.7.4 เกลียวอัด	35
2.7.5 กระบอกไค (Die)	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี (ต่อ)	
2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	36
2.8.1 เพลลา	36
2.8.2 การออกแบบเพื่อหาแรงบิดที่เกิดกับเกลียวอัด	43
2.8.3 การเลือกใช้แบริ่งลูกกลิ้งกลม	46
2.8.4 การออกแบบสายพาน	49
2.8.5 อัตราขนถ่าย	53
2.8.6 การคำนวณกำลังขับ	54
2.8.7 การคำนวณหาโมเมนต์บิด	54
2.8.8 การคำนวณหาอัตราทดเกียร์	54
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	55
3.2 การดำเนินการสร้าง	59
3.3 การออกแบบและการทดสอบ	59
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือ	61
3.5 วิธีดำเนินการทดสอบ	65
3.6 สถานที่ทำการวิจัย	66
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การออกแบบ	67
4.2 ศึกษาเมล็ดสบู่ดำที่ใช้ในการทดสอบ	67
4.3 ศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	69
4.4 ศึกษาความสามารถในการสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	69
4.5 ศึกษาเปอร์เซ็นต์น้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้และเปอร์เซ็นต์น้ำมันสบู่ดำที่เหลือในกาก	71
4.6 การวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์	72
4.7 วิจารณ์ผลการทดลอง	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	77
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป	77
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ	83
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลการทดลอง	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลของความยาวกิ่งพันธุ์สบู่ดำ ที่มีต่อการตายของต้นพันธุ์สบู่ดำ ในสภาพไร่ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูกที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ในฤดูฝนปี 2529	19
2.2 สภาพพื้นที่ปลูกสบู่ดำระยะปลูก และอัตราจำนวนต้น	23
2.3 ศักยภาพผลผลิตสบู่ดำที่อายุ 1 ปี ในสภาพการดูแลรักษาต่างกัน	25
2.4 โรคสบู่ดำ สาเหตุและประเทศที่พบ	28
2.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก (มาตรฐาน ASTM)	38
2.6 ปัจจัยความไว้วางใจได้	40
2.7 ปัจจัยในการรับแรงในทิศทางตามแนวรัศมีเทียบเท่า	47
2.8 ขนาดและความสามารถในการรับแรงพื้นฐานของแบริ่งลูกกลิ้งกลมเบอร์ 0.2	48
4.1 ส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	67
4.2 ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักเฉลี่ยของสบู่ดำ 1 เมล็ด	68
4.3 ความชื้นของเมล็ดสบู่ดำ	68
4.4 เปอร์เซ็นต์น้ำมันสบู่ดำที่เหลือในกาก (ใช้ความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที)	71
4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	73
ก.1 ความยาวมาตรฐาน L_s และปัจจัยแก้ไขความยาว K_2 สำหรับสายพานตัว V ธรรมดา ใช้งานหนัก(ขนาดเป็นนิ้ว)	83
ก.2 ค่าการเปลี่ยนความยาวสำหรับสายพานธรรมดาใช้งานหนัก ขนาดเป็นนิ้ว	84
ก.3 มาตรฐานความยาวพิทช์ L_p และปัจจัยแก้ไขความยาว K_2 เป็นหน่วย SI unit	84
ก.4 ค่าคงที่ใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง	85
ก.5 ปัจจัยสัดส่วนความเร็วเพื่อใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง	85
ก.6 ปัจจัยการใช้งาน K_s ที่แนะนำให้ใช้สำหรับสายพานตัว V	85
ข.1 ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดสบู่ดำ	86
ข.2 น้ำหนักเมล็ดสบู่ดำ 100 เมล็ด	88
ข.3 เปอร์เซ็นต์เปลือกและเนื้อในของเมล็ดสบู่ดำ	89
ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันของเมล็ดสบู่ดำ	89
ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการสกัดน้ำมันสบู่ดำ	90

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กลุ่มใบของสนุ่นดำและลักษณะของใบสนุ่นดำ	14
2.2 ผล (ก) ช่อดอก (ข) ดอกตัวเมีย (ค) ดอกตัวผู้ (ง) ตัดตามยาวผลและตามขวางผลอ่อน(จ)และเมล็ดสนุ่นดำ (ฉ)	15
2.3 ช่อดอกสนุ่นดำ	16
2.4 ผลสนุ่นดำค่อนข้างกลมป้อม ผลอ่อนสีเขียว ผลแก่สีเหลือง ผลแก่แห้งสีดำ และเมล็ดสนุ่นดำ	16
2.5 เมล็ดจากผลแก่ (ก) เปลือกเมล็ดสีดำ (ข) เนื้อในเมล็ดสีขาว (ค)	17
2.6 การเพาะเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์งอกในถุงปลูก	19
2.7 ต้นกล้าพร้อมปลูกในแปลง	21
2.8 การเพาะกิ่งปักชำ (ก) กิ่งปักชำมีใบพร้อมปลูก (ข)	22
2.9 ลักษณะอาการโรคใบจุด (ก.) อาการผลเน่าแห้ง (ข.) ของสนุ่นดำ	27
2.10 เครื่องบีบน้ำมันด้วยระบบไฮดรอลิค	30
2.11 เครื่องบีบน้ำมันด้วยระบบอัดเกลียวหรือสกรูเพรส	31
2.12 การออกแบบลักษณะของเกลียวอัด	33
2.13 รูปแบบต่าง ๆ ของช่องป้อน	35
2.14 ตัวประกอบเพื่อแก้ไขความไม่เรียบ	39
2.15 ค่าความไวต่อร่องของเหล็กและอลูมิเนียมภายใต้การตัด	42
2.16 กราฟทางทฤษฎีของตัวประกอบความเค้นหนาแน่น K_t สำหรับเพลากลมมีป้ารับแรง ในทางบิด $\tau_0 = Tc/J$ เมื่อ $c = d/2$ และ $J = \pi d^4 / 32$	42
2.17 กราฟทางทฤษฎีของตัวประกอบความเค้นหนาแน่น, K_f สำหรับเพลากลมมีป้าภายใต้ การตัด $\sigma_0 = Mc/I$ เมื่อ $c = d/2$ และ $I = \pi d^4 / 64$	43
2.18 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดกับกระบอกอัดด้านใน	43
2.19 ชื่อเรียกชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม็กรังลูกกลิ้งกลม	46
2.20 สายพานแบบเปิดและแบบไขว้	50
2.21 ค่าปัจจัยแก้ไขสำหรับมุมสัมผัส	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.1 โครงเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	55
3.2 ลักษณะเกลียวอัด	56
3.3 ชุดกระบอกรับวัตถุดิบ	56
3.4 ชุดกระบอกอัดตัวนอก	57
3.5 ชุดกระบอกสำหรับรีดกากสบู่ดำ	57
3.6 แท่งเหล็กกล้าสำหรับใช้กรองสบู่ดำ	58
3.7 ระบบส่งกำลังของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	58
3.8 เครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	61
3.9 ชุดกระบอกอัดและชุดรีดกาก	62
3.10 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว	62
3.11 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์	63
3.12 มอเตอร์ไฟฟ้า	63
3.13 เฮกเซน	64
3.14 เมล็ดสบู่ดำ	64
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันที่ได้	69
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการสกัดน้ำมัน (มีหน่วยเป็น kg/hr.)	70
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการสกัดน้ำมัน (มีหน่วยเป็น l/hr.)	70

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
b	ความหนาของเกลียวอัด	m.
C	ระยะทางระหว่างศูนย์กลาง	m.
C	ปริมาณขนถ่ายวัสดุ	m ³ /hr.
Cap	ความสามารถในการทำงานของเครื่อง	-
C _B	แฟกเตอร์งาน (เครื่องกลทำงานด้วยไฟฟ้า C _B = 1.0 – 1.1)	-
C _C	เงินลงทุนรายปี	Baht/year
C _{C,PW}	มูลค่าเงินลงทุน ณ.ปี ปัจจุบัน	Baht
C _E	ค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้พลังงาน	Baht/year
C _{o&m}	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา	Baht/year
C _{PU}	ต้นทุนต่อหน่วยการผลิต	Baht/l
C _P	ต้นทุนรวมรายปี	Baht/year
C _R	ความสามารถในการรับแรงของแบริ่ง	N
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวหนอนอนสกรู	m.
D _P	เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูเลย์ตัวใหญ่	m.
D _p	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเฟลา	m.
D _s	เส้นผ่านศูนย์กลางใบเกลียว	m.
d _p	เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูเลย์ตัวเล็ก	m.
d _s	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฟลา	m.
d _s	เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัด	m.
F _a	แรงกระทำในแนวแกน	N
F _e	แรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแนวรัศมี	N
F _r	แรงกระทำในแนวรัศมี	N
F ₁	ความตึงของสายพานด้านตั้ง	N
F ₂	ความตึงสายพานด้านหย่อน	N
f	สัมประสิทธิ์ความฝืด	-
H	ระยะทางลำเลียงในแนวตั้ง	m
H _r	แรงม้าที่ใช้งาน	kW

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
h	ความสูงของสันเกลียวอัด	m.
I_v	อัตราการขนถ่ายเชิงปริมาตร	$m^3/hr.$
K	แฟคเตอร์ลดปริมาณขนถ่าย	-
K	สัมประสิทธิ์ปริมาณวัสดุในรางเกลียว	-
K_A	ปัจจัยสัดส่วนความเร็ว	-
K_f	ค่าน้อยแรงหนาแน่นสถิต	-
K_a	ปัจจัยของผิววัสดุ	-
K_b	ปัจจัยของขนาดวัสดุ	-
K_c	ปัจจัยของความไว้วางใจ	-
K_d	ปัจจัยของอุณหภูมิ	-
K_e	ปัจจัยเกี่ยวกับความเค้นที่เพิ่มขึ้นของผิวไม่ต่อเนื่อง	-
K_f	ปัจจัยอื่นๆ	-
k	ค่าน้อยแรงหนาแน่นเนื่องจากความล้า	-
L	ระยะทางลำเลียง	m.
L_D	อายุการใช้งานในการออกแบบ	hr.
L_p	ความยาวของพิทช์ของสายพาน	m.
L_R	ความเร็วรอบในการออกแบบ	rpm
M	โมเมนต์ดัด	N.m
M_B	โมเมนต์บิดขณะรับภาระ	N.m
M_t	โมเมนต์บิดระบุ	N.m
N	ความเร็วรอบของพูลีย์ตัวใหญ่	rpm
N	จำนวนฟันของเกลียวอัด	-
N	ความเร็วรอบเกลียวลำเลียง	rpm
$NC_{C,PW}$	มูลค่าเงินลงทุนที่หักมูลค่าซาก ณ.ปีปัจจุบัน	Bht
n	ความเร็วรอบของเกลียวหนอนสกรู	rpm
n	ความเร็วรอบเฟลา	rpm
n	ความเร็วรอบของพูลีย์ตัวเล็ก	rpm

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
n_s	ค่าความปลอดภัย หรือ safety factor	-
n_o	อายุการใช้งานอ้างอิงจากแคตตาล็อก	hr.
n_R	ความเร็วรอบอ้างอิงจากแคตตาล็อก	rpm
P	แรงดันที่เกิดขึ้นในเกลียวอัด	Pa.
P	กำลังงานระบุ	W
p	ระยะพิทช์ของเกลียวอัด	m.
q	ความไวต่อรอยเจาะ (Notch sensitivity)	-
R	ค่าความไววงใจ	-
r	จำนวนรอบต่อนาทีของเพลาลูกความเร็วสูงหารด้วย 1,000	-
S	ระยะพิทช์เกลียวหนอนสลกรู	m.
S_e	ขีดจำกัดความทนทานของชิ้นส่วนเครื่อง	MPa.
S_e	ความแข็งแรงโดยรับแรงไม่จำกัดครั้งของชิ้นงาน	MPa.
S_e	ความแข็งแรงโดยรับแรงไม่จำกัดครั้งของชิ้นส่วนทดสอบ	MPa.
S_x	มูลค่าซาก ณ.ปีที่ k	Bht
S_y	กำลังคลาก หรือ Yield strength	MPa.
T	แรงบิด	N.m
V	ความเร็วการลำเลียงวัสดุ	m/s
X	ปัจจัยในแนวรัศมี	-
Y	ปัจจัยในแนวแกน	-
μ	สัมประสิทธิ์ความผิดในร่องเกลียว	-
λ	มุมความลาดเอียงของเกลียวอัด	°
θ	มุมสัมผัส	°
ϕ	แฟคเตอร์ทางคุณสมบัติของวัสดุ	-
ρ	ความหนาแน่น	kg/m ³
η	ค่าคงที่ ตามวัสดุ	-

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและความสำคัญของการวิจัย

ปัญหาราคาน้ำมันแพง ได้ขยับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา จึงทำให้มีหลายฝ่ายออกมาทำนายล่วงหน้าว่าในอนาคตอันใกล้ประชาชนคนไทยจะต้องมีโอกาสเห็นราคาน้ำมันสูงถึงลิตรละกว่า 30 บาท ซึ่งก็มีทั้งเห็นด้วยและคัดค้าน แต่ว่าเป็นที่น่าสังเกตว่าประเทศไทยเป็นประเทศผู้บริโภคลังงานน้ำมันในแต่ละปีสูงมาก มีการนำเข้าน้ำมันในแต่ละปีหลายแสนล้านบาท “จากการคาดการณ์การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศไทย พบว่า มีการเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5.45 (รักษ์ พฤษชาติ, 2549)” ในปี พ.ศ. 2555 จะมีการใช้น้ำมันดีเซลจำนวน 31,000 ล้านลิตรต่อปีทำให้ประเทศไทยต้องใช้ เงินเป็นจำนวนมากเพื่อจัดซื้อน้ำมัน ซึ่งในขณะที่รัฐบาลกำหนดให้มีการรณรงค์ประหยัดพลังงานน้ำมัน แต่การบริโภคของประชาชนกลับมีตัวเลขสูงขึ้น ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าเป็นห่วง

ปัจจุบันได้มีนักวิชาการ นักวิจัย ต่างพากันคิดค้นหาพลังงานมาทดแทนพลังงานน้ำมัน มีทั้งไบโอดีเซล มีทั้งการคิดค้นหาพลังงานที่เหลือใช้พัฒนาเป็นน้ำมันใช้กับเครื่องยนต์ นำเอาพืชบางชนิดมาแปรรูปให้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในการผลิตน้ำมัน คือ แอลกอฮอล์ เอทานอล แต่มีพืชกึ่งยืนต้นชนิดหนึ่งที่ขึ้นอยู่มากมายตามพื้นที่ต่างๆ เกือบทั่วทุกภาคของประเทศไทย คือ ต้นสบู่ดำ ซึ่งน้ำมันของเมล็ดสบู่ดำนั้นเป็นประโยชน์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ คุณประโยชน์ของน้ำมันสบู่ดำมีประโยชน์ในหลายๆ ด้าน ที่สำคัญที่สุดเคยมีเกษตรกรนำเอาน้ำมันของเมล็ดสบู่ดำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงใช้กับเครื่องยนต์การเกษตร

รัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมให้มีการผลิตและใช้ไบโอดีเซลโดยมีการส่งเสริมให้มีการปลูกน้ำมันปาล์มมากขึ้น และส่งเสริมให้มีการปลูกสบู่ดำเพื่อสกัดน้ำมันมาทดแทนน้ำมันดีเซล ในเมล็ดสบู่ดำจะมีน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักเมล็ด “การสกัดน้ำมันสบู่ดำสามารถสกัดได้ 2 วิธีคือ การสกัดโดยใช้สารเคมีและการสกัดด้วยไฮดรอลิกหรือการสกัดด้วยระบบอัดเกลียว (ระพีพรรณ ภาสบุตร และ คณะ, 2525)” การสกัดน้ำมันโดยใช้สารเคมีมีวิธีที่ยังยากการสกัดด้วยไฮดรอลิกหรือการสกัดด้วยระบบอัดเกลียวเป็นวิธีที่ง่าย

แต่ในปัจจุบันเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำส่วนใหญ่ยังใช้แรงงานคนและยังไม่ได้รับการพัฒนา ทำให้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากเมล็ดมีเพียง 20 -25% และมีน้ำมันตกค้างอยู่กับกากอีก 10 – 15% นอกจากนั้น ในการสกัดแต่ละครั้งต้องใช้เวลาาน ทำให้ปริมาณการผลิตต่อวันน้อย ไม่พอกับความต้องการที่จะนำไปใช้

ดังนั้น แนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว ซึ่งการสกัดน้ำมันสบูดำด้วยวิธีอัดเกลียวจะช่วยให้ได้น้ำมันที่มีปริมาณมากกว่าวิธีอื่น ทำให้ปริมาณการผลิตต่อวันเพิ่มขึ้น และยังสามารถช่วยชาติประหยัดพลังงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1 เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว
- 2 เพื่อศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว
- 3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการสกัดของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว จะจำกัดการศึกษาให้อยู่ในขอบเขตดังนี้

1. ออกแบบ สร้าง และทดสอบสรรถนะของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว
2. ศึกษาความเร็วรอบของเกลียวอัดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว
3. เครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวที่พัฒนาแล้วสามารถสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสบูดำได้มากกว่าเดิม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการศึกษา

1. สามารถเป็นแนวทางสำหรับเกษตรกร ชุมชน ภาคเอกชน และรัฐบาลในการเพิ่มศักยภาพทางด้านพลังงานและปริมาณน้ำมันสบูดำที่สกัดได้
2. สามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ได้
3. สามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้กับประชาชนในชุมชนหรือท้องถิ่นได้

4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้กับภาคธุรกิจ ได้
5. ส่งเสริมพืชน้ำมันให้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและสามารถนำไปสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรม เชิงพาณิชย์ได้
6. เป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานที่จะนำพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลมาใช้ในภาคเกษตรกรรมและให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้

1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

รายงานผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้จะนำเสนอ ใน 3 ประเด็นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสกัดน้ำมันแบบต่าง ๆ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสกัดน้ำมันด้วยระบบอัดเกลียว และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำมันที่สกัดได้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์

1.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสกัดน้ำมันแบบต่าง ๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสกัดน้ำมันแบบต่าง ๆ มีการศึกษากันพอสมควร ดังนี้

กระวี (2547) ได้ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงาดิบด้วยวิธีการสกัดเย็น พบว่า สกหรับงาดำ การสกัดน้ำมันด้วยวิธีการพ่นบ้านซึ่งใช้ครกและแรงงานสัตว์มีประสิทธิภาพการสกัด 78.16% อัตราการสกัด 2.02 l/hr. การสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดน้ำมันที่พัฒนาขึ้นซึ่งใช้การอัดงาในกระบอกโลหะด้วยกำลังจากระบบไฮดรอลิกมีประสิทธิภาพการสกัดเฉลี่ย 66.60% อัตราการสกัด 0.35 l/hr. และการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดแบบสกรูมีประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน 19.62% อัตราการสกัด 1.62 l/hr. สำหรับงาขาว การสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดน้ำมันที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันเฉลี่ย 83.04% อัตราการสกัด 0.42 l/hr. ส่วนเครื่องสกัดแบบสกรูมีประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน 50.17% มีอัตราการสกัด 3.98 l/hr. ในส่วนคุณภาพของน้ำมันสำหรับงาดำ ค่า Acid Value ของน้ำมันงาดิบจากทั้ง 3 วิธีการสกัด มีค่าสูงกว่าเกณฑ์น้ำมันบริโภคทั่วไป ค่า Peroxide Value และค่า Iodine Value มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ของน้ำมันบริโภคทั่วไป สำหรับงาขาว ค่าคุณภาพทั้งสามค่า เป็นไปตามเกณฑ์น้ำมันบริโภคทั่วไป และองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันงาแต่ละชนิดที่สกัดได้ มีค่าใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า การสกัดน้ำมันงาดิบจากเครื่องสกัดน้ำมันที่พัฒนาขึ้นนั้น งาขาวมีประสิทธิภาพการสกัดเฉลี่ยสูงกว่างาดำ ($P < 0.01$) 16.44% ปริมาณบรรจุ ($P < 0.05$) งาดำ 500 g. และงาขาว 1,500 g. จะมีประสิทธิภาพการสกัดเฉลี่ยสูงสุดคือ 69.88 และ 83.57 % ตามลำดับ การเตรียมงา ($P < 0.05$) ด้วยการอบก่อนสกัดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันเฉลี่ยในงาดำและ

งาขาวให้สูงขึ้น 1.10 และ .26% ตามลำดับ ส่วนการอบเมล็ดงา ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันงาดิบที่ได้ คือ ทำให้ค่า Peroxide Value และ Iodine Value ลดลง สำหรับองค์ประกอบกรดไขมันพบว่า การอบเมล็ดงาก่อนสกัด มีผลให้ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลงเช่นกัน

ถาวร (2540) ได้ศึกษาการสกัดและสมบัติของน้ำมันจากตับปลาทูน่า ศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ คือ ทูน่าพันธุ์โอแถบ ทูน่าพันธุ์ครีบลีโง และทูน่าพันธุ์ครีบบยาว ที่สกัดด้วยทำละลายอินทรีย์โดยวิธีการใช้ ซอคเลต วิธี Bligh and Dyer และ วิธีการใช้ไอน้ำ พบว่า การสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต มี ชนิดตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในสกัด คือ อะซิโตน สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ การใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5 อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดน้ำมันจากตับ ปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 9 ชั่วโมง สำหรับตับ ปลาทูน่าพันธุ์ครีบลีโง และตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบบยาว คือ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 9 ชั่วโมง และผลผลิตของน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ ซอคเลต มีปริมาณสูง กว่าผลผลิตจากการสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer โดยน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตจาก ตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบลีโง และตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบบยาว มี ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 47.63 32.85 และ 26.33 (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และโดยวิธี Bligh and Dyer มีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 37.86 23.82 และ 20.67 (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ สำหรับการสกัดน้ำมันโดยการใช้ไอน้ำไม่สามารถสกัดน้ำมันได้ สมบัติของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ ซอคเลต มี ความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารสaponifiyไม่ได้ ค่า TBA และจุดหลอมเหลว สูง แต่ดัชนีหักเหแสง ค่าไอโอดีน ค่าสaponifiเคชัน และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิด EPA และ DHA มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer ส่วนสี ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธี มีสีค่อนข้างคล้ำ การประเมินต้นทุนการผลิตน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ตับปลาทูน่าพันธุ์ ครีบลีโงและตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบบยาว พบว่าการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต มีต้นทุนการผลิต เท่ากับ 2.13 3.23 และ 4.90 บาทต่อกรัม ตามลำดับ และวิธี Bligh and Dyer มีต้นทุนการผลิต เท่ากับ 9.51 15.06 และ 17.21 บาทต่อกรัม ตามลำดับ ดังนั้น น่าจะมีความเป็นไปได้ในการผลิต ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

ปัทมา (2542) ได้ทำการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาคั่ว พบว่า ที่การคั่ว อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้น ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมัน แต่จะมีผลทำให้ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเป็นกรด ค่าสaponifiเคชัน ค่าเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสว่าง ค่าไอโอดีนจะลดลง องค์ประกอบกรดไขมันกรดลอริก (C18:1) และปริมาณสารกันเหินเซรามอลเพิ่มขึ้น ส่วน

กรดลิโนเลอิก (C18:2) และปริมาณสารกันหืนวิตามินอีลดลง ดังนั้นเมื่อคั่วเมล็ดงาที่อุณหภูมิ ต่ำเวลานาน หรืออุณหภูมิสูงเวลาสั้นจะได้น้ำมันงาที่มีสีกลิ่นและคุณภาพดี และเมื่อประเมินผล ร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส จะได้สภาวะที่เหมาะสม คือ การคั่วที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 5 นาที เมื่อนำมาศึกษาสภาวะการสกัดน้ำมัน 3 วิธี คือ ใช้เครื่องบีบอัดไฮดรอลิก ใช้ตัว ทำละลาย และใช้เครื่องบีบอัดไฮดรอลิกร่วมกับการใช้ตัวทำละลาย พบว่า การสกัดน้ำมันด้วย เครื่องบีบอัดไฮดรอลิกร่วมกับการใช้ตัวทำละลาย จะได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด และเมื่อวิเคราะห์ คุณสมบัติและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย จะทำให้น้ำมันด้อย คุณภาพกว่าบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัดไฮดรอลิก

พิเชษฐ (2549) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมในการ สกัดน้ำมันกระบก คือ เฮกเซน และ บีโตรีเลียมอีเทอร์ ใช้เวลาสกัด 4 ชั่วโมง ปริมาณที่สกัดได้คือ 45.03 ± 0.86 และ 44.11 ± 0.74 กรัมต่อ 100 กรัมของเมล็ดกระบกแห้ง ตามลำดับ จุดหลอมเหลว 47.58 °C และจุดเดือด 180.27 °C ในน้ำมันกระบกประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ ไมริสติก 50.12 % ลอริก 40.11 % กรดปาล์มมิติก 4.52 % และกรดสเตียริก 0.55 % กรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้ แก่ กรดโอเลอิก 3.12 % กรดไลโนเลอิก 1.46 % และกรดปาล์มมิโตเลอิก 0.12 % ตามลำดับ

อาชัย และ คณะ (2545) ได้ศึกษาการประเมินศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจาก พืชน้ำมันท้องถิ่น พบว่า พลังงานที่ใช้ไปในแต่ละกระบวนการเพาะปลูก เริ่มตั้งแต่การเตรียมดิน จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต และการปรับสภาพให้เป็นน้ำมันดิบ สำหรับถั่วเหลือง คือ 1,320.44 MJ/ไร่ สำหรับถั่วลิสงคือ 1,428.96/ไร่ คิดเป็นอัตราส่วนเชิงพลังงานที่ได้ต่อพลังงานที่ใช้ของน้ำมัน พืชเฉลี่ยทั้งสองชนิดคือ 1.35 และ 2.27 ของถั่วเหลืองและถั่วลิสงตามลำดับ ส่วนการสกัดน้ำมัน พืชดิบได้ทำการทดสอบการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการบีบอัดด้วยสกรูและการใช้สารละลาย โดยการ เปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานและต้นทุนการผลิต จากประสิทธิภาพการผลิต พบว่าการสกัด น้ำมันถั่วเหลืองและถั่วลิสงด้วยการบีบอัดแบบสกรู มีประสิทธิภาพการสกัด คือ 49.06 เปอร์เซ็นต์ และ 69.64 เปอร์เซ็นต์ ที่ต้นทุนการผลิตในราคาเทียบเท่าน้ำมันดีเซลต่อลิตรคือ 19.31 บาท และ 24.67 บาท การใช้สารละลายสกัดมีประสิทธิภาพการสกัดคือ 5.76 เปอร์เซ็นต์ และ 14.92 เปอร์เซ็นต์ ที่ต้นทุนการผลิตในราคาเทียบเท่าน้ำมันดีเซลต่อลิตรคือ 87.63 บาท และ 71.13 บาท ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบอัดแบบสกรูดีกว่าการสกัดด้วยสารละลาย สกัด ทั้งประสิทธิภาพการสกัดและต้นทุนเนื่องจากการสกัดน้ำมันด้วยสารละลายสกัดเป็นอุปกรณ์ ที่ใช้ในห้องทดลอง ซึ่งในอุปกรณ์จริงของอุตสาหกรรม เปอร์เซ็นต์ การสกัดต้องมีค่าสูงกว่านี้จาก ผลการวิเคราะห์ข้างต้นเครื่องสกัดน้ำมันพืชแบบบีบอัดด้วยสกรูจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็น

เครื่องต้นแบบกับกลุ่มเกษตรกรในท้องถิ่นในการสร้างโรงสกัดน้ำมันพืชดิบขนาดเล็กในเชิงเทคนิค และจากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์การลงทุนสร้างโรงสกัดน้ำมันพืชดิบขนาดเล็ก โดยมีการพิจารณาเปรียบเทียบใช้เครื่องสกัดแบบบีบอัดด้วยสกรู 4 รุ่น ที่ความสามารถสูงสุดที่เครื่องจะทำได้ และจาก 4 รุ่น ได้บทสรุปรุ่นที่อาจจะเหมาะสมที่สุดที่จะใช้กับกลุ่มเกษตรกรตามขอบเขตการศึกษา พบว่า จาก 4 รุ่น มีเพียงรุ่นเดียวที่ให้อัตราผลตอบแทนสูงสุด ทั้งในกรณีลงทุนเองและกู้เงินมาลงทุน คือ ถ้ำลงทุนเองมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 845,910 บาท และ 11,426,110 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 47 เปอร์เซ็นต์ และ 490 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาคืนทุน (PBP) 2.1 ปี และ 0.204 ปี สำหรับตัวเหลืองและตัวลิสตามลำดับ แนวทางดังกล่าวเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร และให้เกษตรกรสามารถพึ่งตน

อธยา และมณู (2538) ได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากเศษเหลือจากโรงงานผลิตปลาหูนากะปองได้แก่ หัว และไส้พุงของปลา เพื่อที่จะได้ทราบถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำน้ำมันดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ต่อไป ได้นำตัวอย่างปลาหูนากะ skipjack จากโรงงานมาใช้ในการสกัดน้ำมันโดย วิธีของ Bligh and Dyer คือใช้คลอโรฟอร์มและเมทธิลแอลกอฮอล์ (2:1) นำน้ำมันที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบของไขมันอิสระโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (packed column PT 10% DEGS polyester on 80/100 chromosorb W-AW, 6 mm x 6 ft) พบว่า ได้ผลผลิตน้ำมันจากหัวปลาหูนากะเฉลี่ย 9.5% และจากไส้พุงปลาประมาณ 8.3% และผลของแก๊สโครมาโตกราฟีแสดงให้เห็นว่าน้ำมันของหัวปลาหูนากะ มีองค์ประกอบของ eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) ในอัตราส่วน 1:4 และจากไส้มีอัตราส่วน 1:4 และจากไส้มีอัตราส่วน 2:5 ตามลำดับ

1.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสกัดน้ำมันด้วยระบบอัดเกลียว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสกัดน้ำมันด้วยระบบอัดเกลียว มีรายงานการศึกษาพอสมควรดังนี้

จีราพงศ์(2550) ได้ทำการศึกษาเครื่องบีบน้ำมันสบูดำแบบสกรูเพชร พบว่า การถอดชิ้นส่วนออกมาทำความสะอาดมีความยุ่งยาก โดยเฉพาะชิ้นส่วนสกรูและเสื้อ ทางผู้จัดทำจึงได้ออกแบบ และสร้างเครื่องบีบน้ำมันสบูดำแบบสกรูเพชรชนิดพิเศษขึ้นเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ การสร้างเครื่องบีบน้ำมันสบูดำเริ่มจากการศึกษาข้อมูล ดูงาน และสอบถามจากผู้ที่ใช้เครื่องบีบน้ำมันสบูดำถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่อง แล้วนำข้อมูลที่ได้มากำหนดรูปแบบของเครื่อง เมื่อได้รูปแบบที่ต้องการแล้ว จึงเขียนแบบในการสร้างชิ้นงาน ชิ้นส่วนส่วนใหญ่ของเครื่องทำจาก

เหล็กกล้าจำนวนมากถึงและใส่ให้ได้ตามแบบ การทดสอบเดินเครื่องบีบน้ำมันสนุ่ดำสามารถบีบน้ำมันสนุ่ดำได้ประมาณ 12 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้ ส่วนการถอดชิ้นส่วนเพื่อทำความสะอาดก็สามารถทำได้ง่าย โดยสามารถถอดสกรูเพรสออกได้ทางด้านหน้าเครื่อง จากการทดสอบการป้อนเมล็ดสนุ่ดำถ้าป้อนไม่ต่อเนื่องหรือมากเกินไป ก็อาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลง ดังนั้นควรมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการป้อนเมล็ดสนุ่ดำให้เข้าไปในเครื่องอย่างสม่ำเสมอ เช่นสกรูลำเลียง ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต

ประทีป (2546) ได้ทำการศึกษาพัฒนาเครื่องหีบน้ำมันมะพร้าวขึ้นมา พบว่าต้องออกแบบเกลียวอัด (screw press) ให้เหมาะสมโดยเฉพาะกับการอัดเนื้อมะพร้าวแห้ง และได้มีการสร้างเกลียวอัดให้ขับเคลื่อนไปพร้อมกับการบีบอัดเนื้อมะพร้าวไปด้วย ซึ่งน้ำมันมะพร้าวจะไหลออกที่ช่วงกลางของเครื่องหีบน้ำมันมะพร้าวโดยมีที่รองน้ำมันอยู่ข้างล่าง ส่วนกากมะพร้าวจะไหลออกที่ส่วนปลายของตัวเครื่อง เครื่องหีบน้ำมันมะพร้าวใช้มอเตอร์ (Driving Motor) 3 แรงม้า ในการขับเคลื่อนสายพานไปยังเพื่องทดและต่อไปที่เกลียวอัดเพื่อทำการทดรอบให้ต่ำลง จากการทดลองเครื่องหีบน้ำมันมะพร้าวพบว่าสามารถผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากเนื้อมะพร้าวแห้ง 10 กิโลกรัม จะมีปริมาณน้ำมัน 4 กิโลกรัม เครื่องหีบน้ำมันมะพร้าวได้ออกแบบให้มีความปลอดภัยในการทำงาน ระบบการทำงานไม่ซับซ้อน มีขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องต้นแบบ สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เพราะมีล้อช่วยในการเคลื่อนย้าย การถอยประกอบและการบำรุงสามารถทำได้ง่าย โครงสร้างไม่สลับซับซ้อน ทำการควบคุมง่าย

ปัญญา (2549) ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการบีบน้ำมันปาล์มด้วยวิธีเย็นเพื่อให้ยังคงวิตามินอีไว้ให้มากที่สุด และได้ออกแบบเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตให้เหมาะสมต่อเกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรสามารถนำไปบีบน้ำมันปาล์มดิบได้ด้วยตนเอง โดยโครงการนี้ได้นำเสนอการสร้างและการทดลองเครื่องหีบน้ำมันปาล์มแบบสายพานจะเป็นการใช้สายพานผ้าในการบีบอัดเนื้อปาล์มโดยแยกเนื้อปาล์มกับของเหลว สายพานสองเส้นจะประกบกันโดยที่มีเนื้อปาล์มอยู่ระหว่างสายพานเส้นที่หนึ่งและสองแล้วดึงผ่านลูกกลิ้งโดยที่แรงที่ใช้ในการบีบเนื้อปาล์มจะเป็นแรงที่เกิดจากแรงดึงของสายพาน โดยใช้ในการทดลองที่มุมสายพาน 80, 90, 100 องศา และที่ความเร็ว 30, 55, 80 rpm ผลการทดลองพบว่าน้ำมันสามารถถูกหีบออกปริมาณมากที่สุดที่มุม 80 องศาภายใต้การป้อนเนื้อปาล์ม 2 กิโลกรัม

พิสิษฐ์และอริยาภรณ์ (2549) ได้ศึกษาเครื่องสกัดน้ำมันงา พบว่า สามารถสกัดน้ำมันงา ได้ประมาณ 49 cc. จากงา 130 g. โดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที 40 วินาที สิ้นเปลืองพลังงาน ไฟฟ้าน้อย คิดเป็นค่าไฟฟ้าในการสกัดน้ำมันงา 1 ลิตร เพียง 3.7 บาท

สมนึก (2550) ได้ศึกษาพัฒนาต้นแบบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำ โดยพัฒนาจากเครื่องคั้น กะทิให้เป็นเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำ พบว่า ค่า yield ของน้ำมันที่ได้ เพิ่มจาก 21% เป็น 25% ความแข็งแรงของชิ้นส่วน สามารถทำงานได้โดยไม่มีปัญหา คุณภาพน้ำมันที่ได้ดีขึ้น (ใสขึ้นและมี สารแขวนลอยน้อยกว่าเดิม)

สุทธิพงษ์ (2550) ได้ทำการสร้างเครื่องบีบน้ำมันถั่วลิสงซึ่งมีขนาด 300 x 600 x 1000 มม. โดยประมาณ มีการทำงานคือส่วนหัวเป็นแบบ เกลียวอัด ทำการอัดถั่วลิสงในระบบอก และส่วน ด้านล่าง มีแม่แรง 2 ต้น ด้านฐานทรงกระบอกเพื่อเป็น การเสริมแรงอัด บริเวณฐานกระบอกมีขอบ กั้นน้ำมันให้น้ำมันไหลลงรูในส่วนที่ติดตั้งเป็นวาล์วระบายน้ำมันจากท่อลงภาชนะ จากการ ทดสอบเครื่องบีบเมล็ดถั่วลิสงพบว่าสามารถผลิตน้ำมันเมล็ดถั่วลิสงที่ได้จากเมล็ดถั่วลิสงแบบถั่ว และกระเพาะเปลือก 1 กิโลกรัม จะมีปริมาณน้ำมันที่ได้ 66 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่ดีที่สุดที่ได้ เครื่องบีบน้ำมันเมล็ดถั่วลิสง ได้ออกแบบให้มีความปลอดภัยในการทำงานระบบการทำงานไม่ ซับซ้อน มีขนาดกะทัดรัดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก การถอด ประกอบและการบำรุงรักษาทำได้ง่ายโครงสร้างไม่สลับซับซ้อน ทำการควบคุมง่าย

1.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันที่สกัดได้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันที่สกัดได้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ มีรายงานการศึกษา พอสมควรดังนี้

Stumpf และ Muhlbaue (2002) ได้รายงานว่ามหาวิทยาลัย Hohenheim ในประเทศ เยอรมันได้มีการนำน้ำมันสบู่ดำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาหุงต้ม โดยมีการพัฒนาเตาเรียกว่า Hohenheim plant oil stove พบว่ามีประสิทธิภาพดีเทียบเท่าการใช้เตาหุงต้มที่ใช้น้ำมันก๊าด

พิชัย สราญรมย์ (2549) จากศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท (จักรกลเกษตร) ได้ทำการสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำ 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 ทำโดยการ สกัดในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีบดให้ละเอียดแล้วสกัดด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ จะได้ น้ำมันร้อยละ 34.96 จากเมล็ดรวมเปลือก และร้อยละ 54.68 จากเนื้อเมล็ด วิธีที่ 2 การสกัดด้วย ระบบไฮดรอลิคจะได้น้ำมันประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 และวิธีที่ 3 การสกัดด้วยระบบอัดเกลียว จะ

ได้น้ำมันประมาณร้อยละ 25 ถึง -๑ มีน้ำมันตกค้างในภากร้อยละ 10 ถึง 15 น้ำมันที่ได้จากการสกัดเมล็ดสบู่ดำ สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่เกษตรกรใช้อยู่ได้เลย โดยไม่ต้องใช้น้ำมันชนิดอื่นผสมอีก ส่วนการนำน้ำมันสบู่ดำมาทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กคูโบต้า ET 70 ปรากฏว่าเครื่องยนต์เดินเรียบสม่ำเสมอ ไม่มีการน็อค สามารถเร่งเครื่องยนต์ได้ตามปกติและการใช้น้ำมันสบู่ดำสิ้นเปลืองน้อยกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย จากการทดสอบและวิเคราะห์ไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำ และที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำเฉลี่ยร้อยละ 13.42 ส่วนค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณร้อยละ 13.67 ส่วนคาร์บอนมอนนอกไซด์จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำเฉลี่ย 587 ppm. ดีเซล 583 ppm. ผลกระทบต่อเครื่องยนต์เมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันสบู่ดำครบ 1,000 ชั่วโมง ได้ถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ออกมาตรวจสอบ เสื้อสูบ ลูกสูบ แหวน ลิน หัวฉีด และอื่น ๆ ไม่พบยางเหนียวจับ ทุกชิ้นยังคงสภาพดีเหมือนเดิม แสดงว่าน้ำมันสบู่ดำสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อการเกษตรได้

ระพีพันธุ์และคณะ (2525) ได้มีการนำน้ำมันสบู่ดำมาทดลองกับเครื่องยนต์ โดยนำน้ำมันสบู่ดำมาทดลองเดินเครื่องยนต์คูโบต้าดีเซล 1 สูบ แบบลูกสูบนอนระบบ 4 จังหวะ ปริมาตรกระบอกสูบ 400 ซีซี 7 แรงม้า/2200 รอบต่อนาที พบว่า เครื่องยนต์เดินเป็นปกติสม่ำเสมอไม่มีการน็อค ความสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย และนำน้ำมันสบู่ดำทดสอบร่วมกับแก๊สซุงต้ม ทดลองเดินเครื่องกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าเมื่อใช้แก๊สซุงต้มด้วยจะช่วยให้เครื่องยนต์ประหยัดน้ำมันสบู่ดำได้เฉลี่ย 77.1% พร้อมทั้งได้วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันสบู่ดำในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

ระพีพันธุ์ และ สุขสันต์ (2533) นำพืชที่พบน้ำมัน 18 ชนิด อาทิ ถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันละหุ่ง มาทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลควบคู่กับก๊าซชีวภาพ ปรากฏว่าสามารถเดินเครื่องได้ แต่ทิ้งไว้ 2-3 วัน จะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก จึงได้ทดลองสกัดน้ำมันจากสบู่ดำใช้เป็นพลังงานในเครื่องยนต์ดีเซล ผลปรากฏว่าได้ผลดีนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ใช้วิธีสกัดน้ำมันจากเมล็ดตากแห้งโดยไม่ต้องปรุงแต่ง น้ำมันจากสบู่ดำหรือปรับเครื่องยนต์แต่อย่างใด ทดลองใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า 1 สูบ แบบลูกสูบนอนระบบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ปริมาตรกระบอกสูบ 400 ซีซี 7 แรงม้า/2200 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลด้วยการทำงานรอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ เพื่อดูความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ ได้ผลออกมาว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำ ไม่ว่าจะเดินเครื่องปกติหรือเร่งเครื่องก็ตาม เดินสม่ำเสมอตลอดเวลาไม่มีการน็อคแต่อย่างใด อัตราการเร่งเท่ากับควมสิ้นเปลืองน้ำมันสบู่ดำที่ใช้น้อยกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย การทำงานของเครื่องยนต์ 1500-2300 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันสบู่ดำเฉลี่ยชั่วโมงละ 634.1 ซีซี ส่วนน้ำมันดีเซล

ใช้เฉลี่ย 653.3 ซีซี นอกจากนี้ ยังได้รับการทดสอบจากกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ในเครื่องยนต์คูโบต้า 7 แรงม้า และเครื่องย่นมาร์ 18 แรงม้า คำนวณค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบูดำมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 13.42 ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ย 13.67 ส่วนประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้ทดลองถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ออกมาตรวจสอบสภาพเสื้อสูบ ลูกสูบ แนวน ลั่นชัก และอื่น ๆ ปรากฏว่าการสึกหรอชิ้นส่วนดังกล่าว อยู่ในเกณฑ์ปกติมาตรฐาน รวมทั้งไม่มียางเหนียวจับอีกด้วย

วิจัย และอุดมชัย (2547) ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงโดยในการทดสอบได้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเล็กมิตรูบิชิ ชนิด 1 สูบ รุ่น D 1200 โดยทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลการทดลองคือ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคน้อยกว่าการใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงในทุกๆ ภาระโหลด และจากการคำนวณถ้าใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงจะทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.14 โดยเฉลี่ยทุกภาระ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะมีแรงบิดกำลังม้าเบรค และความดันเฉลี่ยเบรค ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงทุกๆ ภาระโหลด และจากการคำนวณถ้าใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงจะทำให้แรงบิด กำลังม้าเบรค และความดันเฉลี่ยเบรคของเครื่องยนต์ลดลงร้อยละ 1.04 โดยเฉลี่ยทุกภาระ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงทุกๆ ภาระโหลดจนถึง 4,000 วัตต์ และหากให้ภาระโหลดจนถึง 4,000 วัตต์ ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการคำนวณถ้าใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงช่วง 0 ถึง 4,000 วัตต์จะทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ลดลงร้อยละ 13.22 โดยเฉลี่ยทุกภาระ จากผลการทดสอบจะพบว่า การใช้น้ำมันสบูดำเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กนั้นจะใช้ได้ดีที่ภาระโหลด 3,000 วัตต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที เนื่องจากจะให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคน้อยที่สุด และให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงที่สุด

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ

สบู่ดำ (Physic nut หรือ Purging nut) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae เช่นเดียวกับยางพารา สบู่แดงหรือสบู่เลือด บัตตาเวีย หนุมานนั่งแท่น บีบียเซียน ละหุ่ง มันท่าปะหลัง มะยม มะขามป้อม ผักหวานบ้าน ฯลฯ ซึ่งมีความหลากหลายค่อนข้างมากทั้งในลักษณะต้น ใบ ช่อดอก ตลอดจนผล และเมล็ด สบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกากลางและใต้ ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาในช่วงปลายกรุงศรีอยุธยาเพื่อรับซื้อเมล็ดไปบีบอัดเอาน้ำมันสำหรับทำสบู่เพราะมีฟองอันเป็นลักษณะพิเศษ พืชนี้เป็นไม้พุ่มขนาดกลางสูงประมาณ 2 - 7 เมตร อายุยืนประมาณ 50 - 60 ปี ลำต้นและยอดคล้ายละหุ่งแต่ไม่มีขน ลำต้น เกลี้ยงเกลารอบอ้วนแต่อ่อน ใช้มือหักออกได้ง่าย เพราะเนื้อไม้ไม่มีแก่น ใบคล้ายใบฝ้าย ใบพุดตาน แต่หนากว่า ใบหยักคล้ายใบละหุ่ง แต่หยักตื้นกว่ามี 4 แฉก ใบที่งามเต็มที่ใหญ่เท่าขนาดฝ่ามือ ก้านใบยาว ต้นสบู่ดำออกดอกเป็นช่อ ขนาดดอกเล็กสีเหลืองกลิ่นหอมอ่อน มีดอกตัวผู้มากและดอกตัวเมียน้อยอยู่บนต้นเดียวกัน เมื่อติดผลแล้วมีสีเขียวอ่อน เกลี้ยงเงา เวลาสุกสีเหลืองคล้ายลูกจันทร์ ส่วนมากผลหนึ่งมี 3 พู ส่วน 2 พู และ 4 พู มีน้อย โดยแต่ละพูทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ เมล็ดสีดำเล็กกว่าเมล็ดละหุ่งพันธุ์ลายขาวดำเล็กน้อย น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 70 กรัม สายพันธุ์จาก อ. ปากช่อง 100 กรัม มี 143 เมล็ด ที่ความชื้น 9.60 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ D1 จากประเทศอินเดีย 100 กรัม มี 166 เมล็ด ที่ความชื้น 9.55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแกะเปลือกออกจะเห็นเนื้อในสีขาว

สบู่ดำ เป็นชื่อเรียกในภาคกลาง ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกเมล็ดสีดำและในสมัยก่อนใช้ทำสบู่ ภาคเหนือเรียก มะหุ้งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียก มะเยา ชาวบ้านทางจังหวัดนครราชสีมาเรียก สีหลอด ภาคใต้เรียก หงเทศ ภาษาชาววิทองถิ่นทางภาคใต้เรียก ยาเคาะ ต้น ใบ ผล และเมล็ด มีสารกรดไฮโดรไซยานิค เหมือนกับมันสำปะหลัง มีกลิ่นเหม็นเขียว สัตว์เลี้ยงต่าง ๆ ได้แก่ โค กระบือ ม้า ฯลฯ ไม่อยากเข้าใกล้และกัดกินต้นสบู่ดำ ดังนั้น จึงนำมาใช้ประโยชน์ปลูกเป็นรั้วธรรมชาติตามบ้านเรือนและแปลงปลูกพืช นอกจากนี้เมล็ดสบู่ดำยังมีสารที่เรียกว่า เคอซิน (curcine) หากบริโภคแล้วทำให้ท้องเดินเหมือนสลอด

2.1.1 การปลูกสบู่ดำในประเทศไทย

การปลูกสบู่ดำในประเทศไทยนั้น ในอดีตส่วนใหญ่ปลูกตามหัวไร่ปลายนา หรือปลูกไว้กับสัตว์อื่นเข้ามาทำลายเรือกสวนไร่นา แต่ในปัจจุบันมีปัญหาทางด้านวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันหลายหน่วยงานหาพลังงานอื่น ๆ เพื่อมาทดแทนน้ำมัน สบู่ดำซึ่งเป็นพืชที่ปลูกง่ายและสามารถสกัดน้ำมันออกมาใช้กับเครื่องยนตร์รอบตัวได้โดยตรง จึงได้รับความสนใจปลูกกันมากขึ้น สถาบันวิจัยพืชไร่ (2544) รายงานผลผลิตของน้ำหนักรวมเมล็ดสบู่ดำพันธุ์ต่าง ๆ เช่น พันธุ์สตูลได้น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 102 กิโลกรัมต่อไร่ พันธุ์มุกดาหาร ในปีแรกให้ผลผลิตประมาณกิโลกรัมต่อไร่ปีที่ 2 ให้ผลผลิตประมาณ 139 กิโลกรัมต่อไร่ และปีที่ 3 ให้ผลผลิตประมาณ 303 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนพันธุ์กาฬสินธุ์ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 3 ปีแรก ประมาณ 116 กิโลกรัมต่อไร่ การเพาะปลูกไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชที่ขึ้นง่าย เมื่อดินมีความอุดมสมบูรณ์และสภาพแวดล้อมเหมาะสม แต่ถ้าจะให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นก็จำเป็นต้องมีการจัดการที่ดี เช่น มีการตัดแต่งกิ่ง ใส่ปุ๋ย และให้น้ำอย่างพอเพียง (ชำนาญ, 2547)

สำหรับประเทศไทย มีต้นทุนการผลิตเมล็ดสบู่ดำรวม 2,500 บาทต่อไร่ โดยได้ผลผลิต 800 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้น ต้นทุนการผลิตเมล็ดสบู่ดำประมาณกิโลกรัมละ 3.1 บาท (สุรพงษ์, 2548) ส่วนดาเรศร์ (2548) รายงานต้นทุนการผลิตสบู่ดำในปีที่ 10 และ 25 เท่ากับ 2,640 บาทต่อไร่ต่อปี รายได้ต่อไร่ต่อปีเท่ากับ 3,594 และ 4,183 บาท ในปีที่ 10 และ 25 ตามลำดับ ในปี 2546 วรรณวิภา (2546) รายงาน ต้นทุนการผลิตเมล็ดสบู่ดำต่อไร่ต่อปี ในปีที่ 1 และ 2 เท่ากับ 3,232 และ 1,018 บาท ตามลำดับ

2.1.2 การปลูกสบู่ดำในต่างประเทศ

เนื่องจากประสบปัญหาด้านวิกฤตการณ์น้ำมันแพงไปทั่วโลก ภูมิภาคต่าง ๆ จึงตระหนักในเรื่องของพลังงานทดแทนมากขึ้น และสบู่ดำเป็นพืชน้ำมันที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ขณะนี้ต่างประเทศต้องการขยายการผลิตเข้ามายังภูมิภาคต่าง ๆ และประเทศไทยก็เป็นเป้าหมาย สำหรับประเทศที่มีการปลูกสบู่ดำ เช่น

1. อินเดีย มีการปลูกในพื้นที่ 250 ไร่ เพื่อวิจัยทดสอบกับรถยนต์
2. มาลี แอฟริกาตะวันตกปลูกเป็นแนวรั้วรวม 10,000 กิโลเมตร มีอัตราปลูกเพิ่มปีละ 2,000 กิโลเมตร ซึ่งสามารถผลิตน้ำมันได้ 5,000,000 ลิตรต่อปี

3. นิคารากัว พื้นที่ปลูกประมาณ 6,250 ไร่ ในปี 2540 เพื่อผลิตไบโอดีเซลในอัตรา 426,800 แกลลอนต่อปี
4. แทนซาเนีย มีการผลิตใช้ในระดับชุมชน
5. บริษัท D1 Plc ประเทศอินเดีย ประกอบด้วย Supplier Countries, Buyer Countries และ Refining locations

ในแคว้นราชสถาน ประเทศอินเดีย ได้ผลิตเมล็ดสูงสุด 320 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และผลิตน้ำมันสูงสุดได้ 110 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ที่ระดับความชื้นสนาม 75 เปอร์เซ็นต์ (field capacity) และให้ผลผลิตเมล็ด 304 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ผลผลิตน้ำมัน 101 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ที่ระดับความชื้นสนาม 40 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนสปูดำสามารถให้ผลผลิตเมล็ดได้ 202 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และน้ำมัน 65 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ผลการศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าสปูดำไม่ได้ต้องการน้ำชลประทานมากสำหรับผลผลิตที่สูง (Jones and Miller, 1991) Münch และ Kiefer (1989) รายงานว่า จากการศึกษาที่เมือง Cape Verde ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ดีมาก สปูดำสามารถให้ผลผลิตเป็นเมล็ดได้ 1,280 กิโลกรัมต่อไร่ ถ้าสภาวะแวดล้อมไม่ดี จะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เพียง 32 – 320 กิโลกรัมต่อไร่ งานส่งเสริมจากอูไดปุ (Udaipur) ในแคว้นราชสถาน (Rajasthan) ประเทศอินเดีย ได้ชี้ให้เห็นผลผลิตเฉลี่ยเมล็ดสปูดำที่ผลิตได้ตามลำดับ ดังนี้ 20, 40, 88 และ 120 กิโลกรัมต่อไร่ ในสภาพอาศัยน้ำฝนกับต้นสปูดำที่มีอายุ 2, 4, 6 และ 8 ปี และภายใต้สภาพการให้น้ำชลประทานได้ผลผลิต 48, 96, 144 และ 168 กิโลกรัมต่อไร่ (Henning, 1995)

2.1.3 พันธุ์สปูดำในประเทศไทย

สปูดำเป็นไม้ยืนต้น อายุยืนประมาณ 50 - 60 ปี ทนต่อความแห้งแล้ง มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น เช่น ภาคกลางเรียก สปูดำ ภาคเหนือเรียก มะหุ้งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียก มะเยา หรือหมากเยาภาคใต้เรียก สีนลอด ภาษายาวีเรียก ยาเคาะ พันธุ์สปูดำยังเป็นพันธุ์พื้นบ้านที่เรียกกันตามแหล่งปลูก เช่น พันธุ์สตูล มุกดาหาร น่าน บุรีรัมย์ โคราซ กอฟสินธุ์ ชัยนาท เป็นต้น (ชำนาญ, 2547)

2.2 พฤกษศาสตร์ของสปูดำ

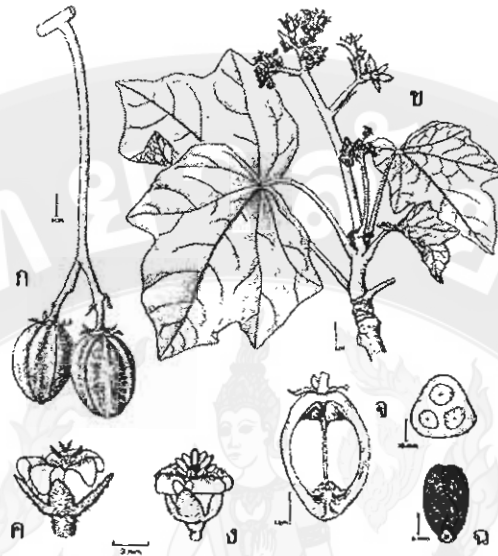
สปูดำเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางเจริญเติบโตได้สูงประมาณ 6 เมตร เป็นไม้ยืนต้นมีอายุไม้น้อยกว่า 50 ปี ทรงพุ่มมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เมตร ยอดและใบอ่อนมีสีม่วง

แกมเขียว ลำต้นส่วนที่อายุน้อยอยู่มีสีเขียว ผิวเรียบ อวบน้ำ เพราะหักได้เพราะเป็นไม้เนื้ออ่อน ไม่มีแก่น เมื่อสปูดำมีอายุมากขึ้น โคนต้นมีสีน้ำตาล อมเทา และเริ่มแตกทรงพุ่มเมื่อลำต้นมีความสูงจากระดับพื้นดินประมาณ 12 เซนติเมตร โดยมีกิ่งแขนงเจริญออกทางด้านข้าง เป็นพืชที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี ขึ้นได้ในที่ดอนและดินลูกรัง แต่ไม่ทนสภาพน้ำท่วมขัง

2.2.1 ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปหัวใจกว้างถึงรูปโล่ คล้าย ๆ ใบฝ้าย ใบพุดตาน หรือ ใบละหุ่ง แต่หนากว่า เพราะมีไข (cutin) เคลือบอยู่ที่ผิวใบ ขอบใบเรียบ มีรอยหยักเว้าเป็นพู 5 พู พูข้างปลายมน พูปลายหรือพูกกลางรูปหัวใจปลายแหลม การจัดเรียงตัวของเส้นใบเป็นแบบร่างแห (palmately netted venation) ขนาดของใบมีความกว้างประมาณ 18 เซนติเมตร มีความยาวประมาณ 16 เซนติเมตร ก้านใบยาวประมาณ 24 เซนติเมตร (ภาพที่ 2.1 และ 2.2) สปูดำมักทิ้งใบในช่วงฤดูร้อน ถ้าแห้งแล้งมากจะทิ้งใบทั้งต้น



ภาพที่ 2.1 กลุ่มใบของสปูดำและลักษณะของใบสปูดำ (<http://www.ku-alumni.org/>)



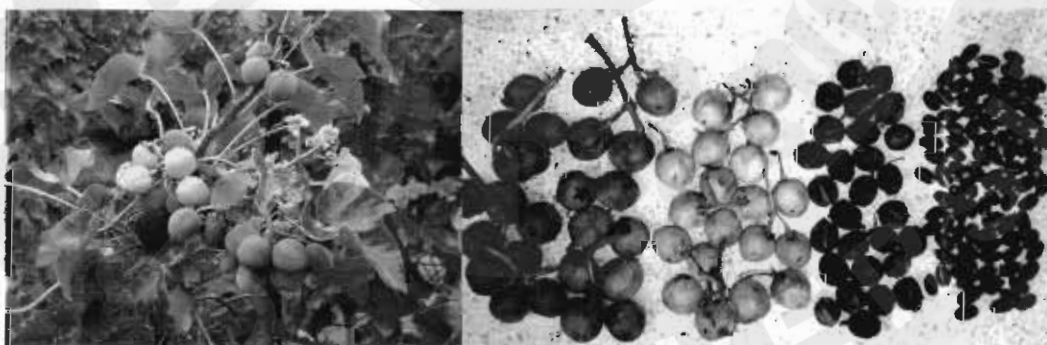
ภาพที่ 2.2 ผล(ก) ช่อดอก(ข) ดอกตัวเมีย(ค) ดอกตัวผู้(ง) ตัดตามยาวผลและตามขวางผลอ่อน(จ) และเมล็ดสนับดำ (ฉ) (Heller, J. 1996)

2.2.2 ดอก สนับดำออกดอกบริเวณซอกใบใกล้ปลายกิ่ง ลักษณะเป็นช่อคล้ายช่อเชิง
 หลั่น มักออกเป็นคู่ ๆ ช่อยาวได้ถึง 12 เซนติเมตร ก้านช่อยาวประมาณ 6 เซนติเมตร ใบ
 ประดับแกมใบหอก ขอบเรียบ ปลายแหลมยาว 5-10 มิลลิเมตร ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้
 และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ภายในช่อเดียวกัน เป็นดอกไม้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้มีกลีบ
 เลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉก รูปไข่ แกมขอบขนาน สีเหลืองแกมเขียว กว้าง 1.5
 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตรโดยประมาณ ปลายกลม ด้านในมีขนยาวห่าง มีต่อมน้ำหวานที่โคน
 กลีบด้านใน เกสรตัวผู้มี 10 อัน แบ่งออกเป็น 2 วง วงนอกแยกจากกัน วงในเชื่อมติดกัน อับเรณู
 ยาว 1.5 มิลลิเมตร สีเหลือง ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ อยู่กลางของช่อย่อย กลีบ
 เลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉกยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร ลักษณะอื่นคล้ายดอกตัวผู้
 กลีบดอกรูปขอบขนานแกมรี สีเขียวอ่อน มีเกสรตัวผู้ที่เป็นหมัน 10 อัน สีขาว รั้งไข่อุปกระสวยมี
 3 พู ปลายก้านมียอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2 แฉก อัตราส่วนดอกตัวผู้ : ดอกตัวเมีย ประมาณ
 7 : 1 ปริมาณดอกย่อยประมาณ 70-100 ดอกต่อช่อ แต่จะติดผล 7-15 ผลเท่านั้น (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ช่อดอกสบู่ดำ (<http://www.ku-alumni.org/>)

2.2.3 ผล ค่อนข้างป้อมหรือรูปกระสวย กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 2.5-3.5 เซนติเมตร ลักษณะเป็นแบบเปลือกแข็ง (nut) มี 3 พู (lobes) ผลอ่อนสีเขียว ผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเมื่อแก่จัดเปลือกนอกที่เป็นสีเหลืองจะเปลี่ยนเป็นสีดำ (ภาพที่ 2.4) ผลสดหนึ่งผลมีน้ำหนักประมาณ 15 กรัม ผลแห้งน้ำหนักจะลดลงเหลือ 2.6 กรัม ผลเมื่อแกะผนังด้านนอก (exocarp) และผนังชั้นกลาง (mesocarp) ออก จะพบผนังชั้นใน (endocarp) สานกันเป็นชั้นหุ้มเมล็ดไว้ภายใน หนึ่งผลมีจำนวนเมล็ด 2-3 เมล็ด แต่ส่วนมากพบว่า มีจำนวน 3 เมล็ด



ภาพที่ 2.4 ผลสบู่ดำค่อนข้างกลมป้อม ผลอ่อนสีเขียว ผลแก่สีเหลือง ผลแก่แห้งสีดำ และเมล็ดสบู่ดำ (<http://www.ku-alumni.org/>)

2.2.4 เมล็ด รูปร่างป้อมยาว (oblong) รูปกระสวยแกมขอบขนาน แบนข้าง กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1.7 เซนติเมตรโดยประมาณ เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ จัดเป็นพวกมีเยื่อหุ้มเมล็ด (albuminous seed) โดยเยื่อ (albumin) นูอยู่ภายในเป็นที่เก็บสะสมน้ำมัน (oil) และสารเคอร์ซิน

(curcin) ส่วนของเนื้อใน (endosperm) และคัพภะ (embryo) มีสีขาว แต่ละเมล็ดมีน้ำหนักประมาณ 0.6 กรัม (ภาพที่ 2.5)



ก. ข. ค.
ภาพที่ 2.5 เมล็ดจากผลแก่ (ก) เปลือกเมล็ดสีดำ (ข) เนื้อในเมล็ดสีขาว (ค)
(<http://www.ku-alumni.org/>)

2.3 การปลูกสบู่ดำ

2.3.1 **สภาพพื้นที่ปลูกสบู่ดำ** สภาพพื้นที่ที่เหมาะสม ควรเป็นดินร่วน มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ มีความเป็นกรดเล็กน้อย เช่นเดียวกับพืชไร่ทั่วไป แต่มีข้อควรระวัง คือ สบู่ดำเป็นพืชที่ไม่ทนต่อดินมีน้ำขัง ดังนั้น พื้นที่ที่เหมาะสมจึงต้องเป็นที่ลาดเทมีการระบายน้ำดี อาจเป็นที่ราบเชิงเขา ถ้าเป็นที่ราบลุ่ม ควรทำทางระบายน้ำ แต่จะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต หรือในกรณีที่นาดอน เมื่อปรับที่นำมาใช้เป็นที่ไร่สำหรับปลูกสบู่ดำ ต้องมีการทะลายคันนาออก ให้ระบายน้ำได้เป็นอย่างดี

ในสภาพดินอุดมสมบูรณ์ และมีปริมาณฝนมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี หรือมีแหล่งน้ำให้กับพืชได้อย่างเพียงพอ การปลูกพืชผักและไม้ผลเศรษฐกิจ จะให้ผลตอบแทนดีกว่า สำหรับสภาพดินปลูกพืชไร่ทั่วไปที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และมีปริมาณฝนน้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี พืชแข่งขันที่สำคัญ คือ มันสำปะหลัง ดังนั้นผลตอบแทนจากการปลูกสบู่ดำเปรียบเทียบกับ การปลูกมันสำปะหลัง จึงเป็นตัวชี้วัดสำคัญ ที่เกษตรกรจะเลือกปลูกพืชใด ผลผลิตมันสำปะหลังเฉลี่ยของประเทศได้ 2.8 ตันต่อไร่ และราคาที่เกษตรกรขายได้ 1.31 บาทต่อกิโลกรัมหัวสด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) คิดเป็นรายได้ประมาณ 3,670 บาทต่อไร่ ดังนั้นถ้าเกษตรกรขายสบู่ดำเมล็ดแห้งได้กิโลกรัมละ 7 บาท (คิดจากฐานราคาน้ำมันดีเซลปัจจุบันลิตรละประมาณ 25 บาท เมล็ดแห้งสบู่ดำ 4 กิโลกรัม บีบน้ำมันได้ 1 ลิตร รวมค่าจัดการ

ผลิตไบโอดีเซลและค่าการตลาดลิตรละ 5 บาท) จึงควรปลูกสบู่ดำให้ได้ผลผลิตอย่างน้อย 524 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ได้รายได้ 3,670 บาท โดยที่ยังไม่ได้คิดต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบระหว่าง 2 พืช ซึ่งสบู่ดำจะมีปัญหาต้นทุนการผลิตจากค่าเก็บเกี่ยว ต้องทยอยเก็บปีละ 12 - 24 ครั้ง และการกะเทาะเมล็ด แต่สบู่ดำก็ยังมีผลพลอยได้จากกากเมล็ดที่บีบน้ำมันแล้วเอาไปทำปุ๋ยหมัก และซากของต้นและกิ่งสบู่ดำจากการตัดแต่งกิ่ง เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ ดังนั้น สภาพพื้นที่ปลูกสบู่ดำ จึงควรเลี่ยงไปปลูกแบบ หัวไร่ปลายนา ที่ไม่ได้ปลูกพืชเศรษฐกิจอื่น หรือปลูกบนพื้นที่ลาดเทเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ปลูกเป็นสวนป่า แล้วใช้แรงงานว่างจากสมาชิกในชุมชน เก็บเกี่ยวผลผลิตสบู่ดำมา บีบน้ำมันไว้ใช้เองในชุมชน จะเหมาะสมกว่า

ในสภาพพื้นที่ดิน ที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช เลล (2005) ได้รายงานว่ สบู่ดำ สามารถเจริญเติบโตอยู่รอดได้ เช่น ดินด่าง (alkaline soil) ดินเค็ม (saline soil) ดินทราย (sandy soil) หรือดินที่มีหินมาก (stony soil) หรือแม้แต่ในสภาพพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกน้อยปีละ 200 มิลลิเมตร ส่วน Joker และ Jepen (2003) ได้สรุปว่า สบู่ดำถูกนำไปปลูกในที่ต่าง ๆ ทั่วโลก แต่ที่พบมีการปรับตัวได้ดีมักอยู่ในเขตร้อน (tropics) ที่มีฝนตกระหว่าง 300-1,000 มิลลิเมตรต่อปี ในพื้นที่ดินที่มีการระบายน้ำและอากาศดี ในแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ แต่ถ้าเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีปริมาณฝนตกมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี เกษตรกรในประเทศต่าง ๆ จะใช้พื้นที่ไปปลูกพืชเศรษฐกิจที่มีผลตอบแทนดีกว่า ดังนั้น ในประเทศไทย ถ้าราคาน้ำมันดีเซลยังคงอยู่ระหว่างลิตรละ 25-30 บาท การปลูกสบู่ดำคงจะต้องปลูกแบบหัวไร่ปลายนา หรือในแหล่งดินด่างภาคกลาง ดินเค็มทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคใต้ หรือที่ลาดเทบนภูเขา ซึ่งจากการสำรวจในปี พ. ศ. 2525 ชดาคร ได้รายงานว่ สบู่ดำสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้บนที่สูง 1,130 เมตร จากระดับน้ำทะเลที่อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่

2.3.2 การขยายพันธุ์ สามารถขยายพันธุ์ได้ 2 วิธีการหลัก คือ ปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ และ ท่อนพันธุ์

1). เมล็ดสบู่ดำที่เก็บเกี่ยวจากผลแก่ (ผลมีสีเหลืองถึงน้ำตาลดำ) นำมาเพาะให้ต้นกล้าแข็งแรง (ภาพที่ 2.6) ควรมีอายุอย่างน้อย 1 เดือน จึงย้ายไปปลูกสภาพไร่ สำหรับการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์โดยตรงในไร่ ควรเป็นช่วงที่มีฝนตกสม่ำเสมอเพื่อความอยู่รอดของต้นกล้า



ภาพที่ 2.6 การเพาะเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์งอกในถาดปลูก (<http://www.ku-alumni.org/>)

2). ในกรณีท่อนพันธุ์ จากการศึกษาความยาวของท่อนพันธุ์ตั้งแต่ 15-60 เซนติเมตร ปลูกในสภาพไร่ ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ปี พ.ศ. 2529 ตรวจสอบต้นตายหลังจากปลูก 1 เดือน (วันที่ 1 กรกฎาคม) พบว่า ควรใช้กิ่งปักชำยาว 30-60 เซนติเมตร โดยมีต้นตาย 0-6.2 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.1) เปรียบเทียบกับการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์มีต้นตาย 5.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการให้ผลผลิตในสภาพอาศัยน้ำฝน ต้นสบูดำจากแปลงทดลองนี้ ที่อายุ 2 ปี 9 เดือน ใช้ท่อนพันธุ์ยาว 30-60 เซนติเมตร ให้ผลผลิตเมล็ดแห้งใกล้เคียงกัน ระหว่าง 107-132 กิโลกรัมต่อไร่ มากกว่าผลผลิตจากแปลงการใช้ท่อนพันธุ์ยาว 15 เซนติเมตร ซึ่งได้ 78 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับแปลงที่ปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ให้ผลผลิตต่ำเพียง 64 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการเปรียบเทียบผลผลิตสบูดำระหว่างการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์และท่อนพันธุ์ อีกการทดลองหนึ่งที่สถานีทดลองพืชไร่มุกดาหาร ในปี พ.ศ. 2527 พบว่าการปลูกด้วยท่อนพันธุ์ ให้ผลผลิต 46 และ 263 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ 25 และ 29 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุ 1 ปี และ 2 ปี ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้สูงกว่า ทำให้มีโอกาสผลิตเมล็ดพันธุ์ได้มากกว่าสำหรับใช้ในการขยายพันธุ์

ตารางที่ 2.1 ผลของความยาวกิ่งพันธุ์สบูดำ ที่มีต่อการตายของต้นพันธุ์สบูดำ ในสภาพไร่ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูกที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ในฤดูฝนปี 2529

ความยาวของกิ่งพันธุ์ (ซม.)	ต้นตาย (%)
60	0
45	6.2
30	6.2
15	33.0

ที่มา: วิมลรัตน์ และคณะ (2530)

3). การเตรียมดิน การปลูกสับุดำควรมีการเตรียมดิน โดยการไถพรวนในสภาพไร่ เพื่อให้ดินโปร่งมีการระบายน้ำและอากาศได้ดี และเป็นการกำจัดวัชพืชไม่ให้มาแข่งขัน แย่งน้ำ อากาศ ธาตุอาหาร และแสงแดด เมื่อดันสับุดำยังเล็กอยู่ สำหรับในพื้นที่ลาดเอียง หรือที่ตาม ภูเขาที่มีหินมากไม่สามารถไถ-พรวน ได้ตามปกติ การขุดหลุมปลูก มีปริมาตร 30 x 30 x 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ก็เพียงพอต่อการย้ายกล้าสับุดำมาปลูก ทั้ง 2 วิธีการของการเตรียมดิน ดังกล่าวควรมีการพรวนดินกำจัดวัชพืชรอบ ๆ ดันสับุดำเสมอ โดยเฉพาะในฤดูฝน

เนื่องจากสับุดำเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง มีอายุยาวนานกว่า 25 ปี (ข้อมูลจากการปลูกที่ศูนย์ปฏิบัติการเกษตรวิศวกรรมนครสวรรค์ กรมวิชาการเกษตร ปลูกเมื่อปี 2524) การเตรียมดินก่อน ปลูกจึงควรมีการวางแผน โดยในระยะแรก ควรหว่านปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการไถพรวน หรือ ใส่รองก้นหลุมในกรณีขุดหลุมปลูก เพื่อให้ต้นสับุดำมีโอกาสเจริญเติบโตในช่วงปีแรก ในปีต่อ ๆ มา อาจมีการไถพรวนดินระหว่างแถวเพื่อกำจัดวัชพืช ตามความเหมาะสมต่อไป

4). วิธีการปลูก หลังการไถ และการพรวนดินให้ละเอียดเพียงพอสำหรับการปลูกสับุดำ หรือการเตรียมการปลูกโดยไม่ไถพรวนเสร็จสิ้นแล้ว วางแนวปลูกและระยะปลูกโดยใช้ไม้ และเชือก วัดระยะ และทำแนวปลูกตามขนาดระยะที่กำหนด สามารถดำเนินแนวปลูก ได้ดังนี้

ก. การใช้เมล็ดลงปลูกโดยตรง การปลูกโดยการหยอดเมล็ดในหลุมปลูกโดยตรงนั้น ขึ้นอยู่กับความพร้อมในการเตรียมแปลงปลูก กล่าวคือ หากเตรียมแปลงปลูกอยู่ในสภาพพร้อม ทุกด้าน สามารถหยอดเมล็ดลงในแปลงปลูกโดยตรงได้ เวลาปลูกที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงฤดูฝน ประมาณต้นเดือนพฤษภาคม ถึงต้นเดือนกันยายน เป็นช่วงที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสมต่อการงอกของ เมล็ด จากนั้นจะหว่านหลุมปลูกตามระยะที่กำหนดไว้ นำเมล็ดหยอดลงในหลุมหลุมละ 1-2 เมล็ด หยอดลึกประมาณ 2-5 เซนติเมตร และกลบดินให้แน่น ในดินที่มีความชื้นพอสับุดำจะงอกภายใน 5-7 วัน ถ้าไม่งอกให้ทำการปลูกซ่อมโดยใช้เมล็ดหรือต้นกล้าที่เพาะเตรียมไว้ หลังจากงอก 25 วัน ถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้นในพื้นที่ 1 ไร่จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 500 กรัม หรือ 700 เมล็ด เมื่อหยอดเมล็ดแล้วไม่ควรปล่อยให้ดินแห้งเกินไปควรให้ดินมีความชื้นอย่างสม่ำเสมอ เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ควรมีความงอกไม่ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และเป็นเมล็ดพันธุ์ที่เก็บในสภาพอุณหภูมิห้องไม่เกิน 2 เดือน เนื่องจากการเก็บเกิน 2 เดือน จะทำให้เปอร์เซ็นต์ ความงอกลดต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ควรเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มาจากแหล่งที่เชื่อถือได้

ข. การใช้ต้นกล้าจากถุงเพาะเมล็ดปลูก ปลูกต้นกล้าที่มีอายุ 25-30 วัน(มีใบจริง 1-2 ใบ) ที่มีความสมบูรณ์แข็งแรงปราศจากโรคและแมลงศัตรูพืช (ภาพที่ 2.7) ก่อนย้ายต้นกล้าปลูก

ประมาณ 5-7 วัน ควรเพิ่มความแข็งแรงของต้นกล้าโดยลดการให้น้ำ และใช้น้ำตาลทราย 10 ส่วน/น้ำ 90 ส่วน พ่นทุก ๆ วัน แล้วจึงนำไปปลูกในแปลงที่เตรียมไว้ การปลูกนำต้นกล้าสบูดำไปไว้ในระยะในหลุมที่เตรียมไว้ โดยวัดให้รอยต่อระหว่างลำต้น และรากอยู่บริเวณปากหลุม นำถุงกล้าสบูดำมาตัดหรือฉีกจนก้นถุงออกประมาณ 1 นิ้ว แล้วนำไปวางไว้ในหลุม โดยตั้งต้นให้ตรง แล้วกรีดข้างถุงโดยกรีดตั้งแต่ก้นถุงถึงปากถุง แล้วกลบดินเกือบเต็มปากถุงดึงพลาสติกออก วิธีนี้จะไม่ทำให้ดินที่หุ้มรากหลุดออก จึงทำให้รากไม่กระเทือน กดดินรอบ ๆ ต้นให้แน่นพอสมควร บริเวณโคนต้นควรมีดินกลบพูน หรือสูงกว่าระดับปากหลุมเล็กน้อยเพื่อป้องกันการซังของน้ำ

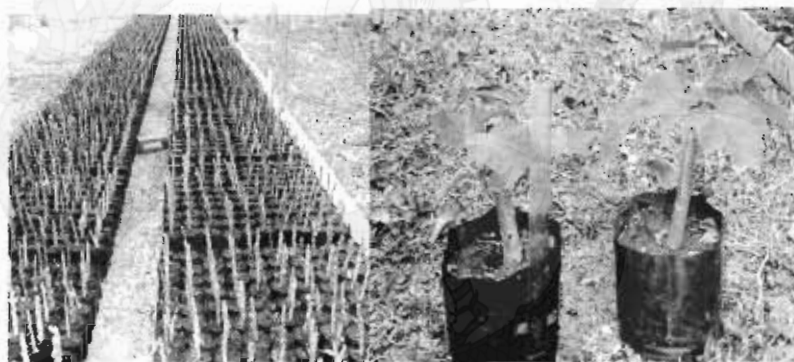


ภาพที่ 2.7 ต้นกล้าพร้อมปลูกในแปลง (<http://www.ku-alumni.org/>)

ค. การใช้ต้นกล้าจากการเปลือยราก (bare root) การย้ายปลูกแบบรากเปลือย ต้นกล้าต้องมีความสมบูรณ์ แข็งแรงเพียงพอที่จะไปช่วยการเจริญ และการเกิดของรากใหม่แทนรากเก่าที่ถูกตัด และต้องมีอาหารที่จะช่วยให้ตาเจริญเป็นยอด หรือกิ่ง และแตกใบได้ ช่วงการย้ายปลูกควรทำการปลูกต้นฤดูฝน ซึ่งมีความชื้นในอากาศสูงพอ ทั้งนี้เนื่องจากหลังปลูกสบูดำได้ระยะหนึ่งตามากิ่ง และต้นจะแตกยอดอ่อน เพื่อให้ต้นมีการระเหยน้ำออกจากต้นมาก แต่รากยังเจริญไม่ทันการดูดน้ำก็ยังดูดน้ำได้น้อยอยู่ ถ้าอากาศแห้งแล้ง การสูญเสียน้ำจะเพิ่มมากขึ้นจนเสียสมดุลระหว่างการดูดและการคายความชื้นจากต้นได้ ซึ่งจะทำให้แห้งตายได้ง่าย ดังนั้นในการย้ายแบบนี้จึงควรทำในระยะที่ต้นกล้าแข็งแรง ความชื้นในอากาศสูงพอ การปลูกต้องเลือกต้น และทำให้ต้นแข็งแรงเช่นเดียวกับการปลูกต้นกล้าจากถุงเพาะ ก่อนปลูกใช้ไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ปักนำเป็นรูตรงกลางหลุม แล้วจึงนำต้นกล้ารากเปลือยปักลงรูจัดต้นตั้งตรงกดดินให้ทับรากและแน่นพอสมควรก่อนกลบดินลงในหลุม จัดกล้าให้รอยต่อระหว่างลำต้นกับรากอยู่แนวระดับปากหลุมกดดินรอบ ๆ ต้นให้แน่นพอสมควร และกดดินลงในหลุมให้เสมอกับระดับปากหลุม บริเวณโคนต้นควรมีดินกลบพูน หรือสูงกว่าระดับปากหลุมเล็กน้อยเพื่อป้องกันการซังของน้ำ

ง. การปลูกโดยการใช้กิ่งปักชำ ปลูกต้นปักชำที่มีอายุ 30-40 วันที่มีความสมบูรณ์ ก่อนย้ายปลูก และการย้ายปลูกทำเช่นเดียวกับการปลูกโดยการใช้ต้นกล้าจากถุงเพาะเมล็ด และปลูกโดยใช้ต้นกล้าจากการเปลือยราก

จ. การใช้ท่อนพันธุ์ ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกควรเลือกท่อนพันธุ์ที่มีสีเขียวปนน้ำตาลเล็กน้อย ไม่อ่อนหรือแก่เกินไป มีความยาว 45-50 เซนติเมตร (ภาพที่ 2.8) ก่อนปลูกควรชุบท่อนพันธุ์ด้วยสารเคมีควบคุมราสาเหตุโรคพืชโดยใช้ไซแรม หรือเบนเลท อัตรา 20 กรัม/น้ำ 20 ลิตร สำหรับวิธีปลูก และช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสมปฏิบัติเช่นเดียวกับการปลูกโดยการใช้ต้นกล้าจากการเปลือยราก การปลูกไม่ว่าจะปลูกด้วยวิธีใดจะต้องรีบปลูกทันทีเมื่อฤดูฝนมาถึง หรือเห็นว่ามีน้ำขึ้นในดินพอ และควรปลูกให้เสร็จภายในช่วงระหว่างต้นเดือนพฤษภาคม ถึงต้นเดือนกันยายน



ก.

ข.

ภาพที่ 2.8 การเพาะกิ่งปักชำ (ก) กิ่งปักชำมีใบพร้อมปลูก (ข) (<http://www.ku-alumni.org/>)

5). สภาพพื้นที่ ระยะปลูก และจำนวนต้น ในสภาพแปลงปลูกที่ต้นสบูดำขึ้นเดี่ยวๆ หรืออยู่ห่างกัน ใบของสบูดำจะได้รับแสงอย่างทั่วถึง ในทางตรงข้ามต้นสบูดำที่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นทำให้ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index) สูงเกินไปใบสบูดำจะบังแสงซึ่งกันและกัน ทำให้การสังเคราะห์แสงเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ และใบที่ไม่ได้รับแสงมีการหายใจนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปใช้ทำให้ผลผลิตของสบูดำลดลง ดังนั้นการปลูกสบูดำจึงควรจัดระยะปลูก ระหว่างแถว และหลุม ให้มีอัตราปลูกที่เหมาะสมเพื่อสบูดำจะได้สร้างผลผลิตต่อพื้นที่ได้มากขึ้น อัตราปลูกที่เหมาะสมดังกล่าวจะต้องขึ้นกับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ และระบบชลประทาน

อัตราปลูกจะแตกต่างกันไปตามความสมบูรณ์ของพื้นที่ และวัตถุประสงค์ของการปลูกในปัจจุบันยังไม่มีผลการทดลองที่แนะนำลงไปว่าระยะปลูกเท่าใดที่ให้ผลผลิตสูงสุดในประเทศไทยจึงแนะนำให้ใช้คือระยะ 2 X 2 เมตรจำนวน 400 ต้น/ไร่ ภายใต้สภาพพื้นที่ชลประทานหรืออัตราอื่น (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 สภาพพื้นที่ปลูกสับดำระยะปลูก และอัตราจำนวนต้น

สภาพพื้นที่	ระยะปลูก (เมตร)	จำนวนต้น/ไร่
ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ/ น้ำฝน	1 x 1	1,600
ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง/ น้ำฝน	2 x 1	800
ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง/ ชลประทาน	1.5 x 1.5	711
ความอุดมสมบูรณ์สูง/ ชลประทาน	2 x 1.5	533
ความอุดมสมบูรณ์สูง/ ชลประทาน	2 x 2	400
ความอุดมสมบูรณ์สูง/ ชลประทาน	2.5 x 2.5	256
ความอุดมสมบูรณ์สูง/ ชลประทาน	3 x 2	266
ความอุดมสมบูรณ์สูง/ ชลประทาน	3 x 3	177

ที่มา : ชำนาญ และคณะ (2548)

แต่ทั้งนี้การเลือกระยะปลูก อัตราปลูกขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการปลูกด้วย ถ้าปลูกเชิงพาณิชย์ควรเลือกระยะปลูก อย่างน้อย 2 x 2 เมตร เพื่อความสะดวกในการจัดการแปลง ส่วนการปลูกระดับท้องถิ่น (พอเพียง) อาจใช้ระยะปลูกที่ต่ำกว่า 2 x 2 เมตร ได้ เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องจักรเข้าทำงานภายในแปลง

การปลูกสับดำ ควรมีการปลูกพืชคลุมดิน หรือพืชแซม โดยพืชที่ปลูกแซมควรจะเป็นพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง เป็นต้น โดยปลูกพืชเหล่านี้ในอัตรา 5-6 กิโลกรัมต่อไร่ การปลูกพืชแซมจะปลูกแบบโรยเป็นแถวในระหว่างแถวยาวโดยปลูกให้แถวปลูกห่างจากแถวสับดำด้านละ 50 เซนติเมตร การปลูกพืชแซมจะปลูกก่อนปลูกพร้อม หรือหลัง การปลูกสับดำก็ได้แต่การปลูกหลังการเตรียมดินวางแนวระยะเสร็จเป็นวิธีที่ดีที่สุดเพราะสะดวกและง่ายต่อการกำจัดวัชพืช

การบำรุงรักษาพืชแซมจะต้องมีการดูแลกำจัดวัชพืชในพืชแซมอย่างสม่ำเสมอการปลูกพืชแซมมีประโยชน์หลายประการ เช่น เสริมรายได้ สามารถควบคุมความชื้นในดิน ควบคุมและยับยั้งไม่ให้วัชพืชเจริญ เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในดิน เป็นต้น

6). การปฏิบัติดูแลบำรุงรักษา การบำรุงสับดำในช่วง 1-3 เดือนแรกหลังปลูก มีความสำคัญมาก วิธีการปฏิบัติในการดูแลบำรุงรักษา มีดังนี้

ก. การให้น้ำ สับดำต้องการน้ำต้นละ 5-10 ลิตรทุก ๆ 15 วัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำโดยการใช้ระบบน้ำหยดเข้ามาใช้ในการผลิตเป็นการค้า ในช่วงเวลาดังกล่าวต้องให้น้ำ

เพียงพอเพื่อให้ต้นมีความแข็งแรงโดยสามารถให้น้ำในช่วงแห้งทุก 7-15 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพความชื้น และฤดูกาล

ข. การกำจัดวัชพืช หมั่นกำจัดวัชพืชในแถวสบู่ดำอยู่เสมอ ในพื้นที่ห่างจากแถวข้างละ 50 เซนติเมตร โดยใช้แรงงานคน หรือสารเคมี ในระหว่างปฏิบัติงานควรระวังอย่าให้ต้นได้รับความเสียหาย เพราะจะทำให้ต้นชะงักการเจริญ และในระหว่างแถวที่เหลืออาจใช้การปลูกพืชแซมหรือ ฝ้ายหญ้า หรือใช้รถไถเข้าไถพรวน

ค. การใช้ปุ๋ยบำรุงดิน ควรให้ปุ๋ยรอบ ๆ โคนต้น และใช้จอบสับหรือคลุกแต่ไม่ควรสับลึกเกินไปเพราะอาจเกิดอันตรายกับราก

ง. การคลุมดิน ก่อนเข้าฤดูแล้งประมาณ 1 เดือน จะต้องมีการคลุมดินเพื่อรักษาความชื้นในดินให้เพียงพอตามความต้องการ วัสดุที่ใช้คลุมดิน เช่น หญ้า ฟางข้าว หรือวัสดุอื่น ๆ คลุมบริเวณโคนต้นห่างประมาณ 5 เซนติเมตร หนาประมาณ 5-10 เซนติเมตร หรืออาจใช้วิธีคลุมตลอดแถวโดยคลุมออกไปข้างละ 50 เซนติเมตร วิธีแบบนี้จะดี เพราะสามารถรักษาความชื้นไว้ได้ตลอดฤดูกาล และยังช่วยควบคุมวัชพืชไม่ให้ขึ้นในระหว่างแถว

จ. การตัดแต่งกิ่ง ปัจจุบันไม่มีผลการทดลองที่แนะนำได้ว่าควรจะตัดแต่งเมื่อไร ในขั้นต้นจึงขอแนะนำการตัดแต่งกิ่ง ควรตัดเมื่อต้นมีอายุ 3-5 ปีแรก และควรตัดทุกๆ 3-5 ปี ตัดให้สูงจากพื้น 40-60 เซนติเมตร ควรตัดแต่งก่อนฤดูฝนจะมาถึง หลังตัดแต่งควรพ่นด้วย ปุ๋ย 0-0-52 อัตราความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้แตกยอดใหม่ เบนเลท ที่ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันราเข้าทำลายทางแผล และคัดเลือกกิ่งที่สมบูรณ์สม่ำเสมอประมาณ 5 กิ่ง เพื่อไม่ให้แตกพุ่มมากเกินไป การตัดแต่งกิ่งจำเป็นต้องตัดทุก ๆ 3-5 ปี เนื่องจากต้นจะสูงเกินไปทำให้ยากต่อการดูแล และเก็บเกี่ยว และเป็นการนำกิ่งที่ตาย และเสียหายออกจากต้น

7). การเก็บเกี่ยว สบู่ดำที่ปลูกต้นเดือนมิถุนายน ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ปี พ. ศ. 2530 โดยใช้ท่อนพันธุ์ออกดอก เมื่ออายุประมาณ 4 เดือน ปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ออกดอกเมื่ออายุประมาณ 6 เดือน ในกรณีที่ปลูกต้นเดือนกันยายน ปี พ. ศ. 2546 ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม สบู่ดำเริ่มออกดอกประมาณ 2 เดือน และใช้เวลาอีกประมาณ 2 เดือน ผลสบู่ดำจึงเริ่มแก่กลายเป็นสีเหลือง เนื่องจากสบู่ดำทยอยออกดอกตลอดปี จึงต้องทยอยเก็บเกี่ยว อาจเก็บเกี่ยวทุก 2-3 สัปดาห์ ในแต่ละช่อมี 4-14 ผล ทยอยแก่ไม่พร้อมกัน จากแปลงรวบรวมพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา พบสบู่ดำบางต้นในช่อเดียวกัน ผลแก่ไล่ร่วงในขณะที่ผลอื่นในช่อยังเขียวอยู่ จึงต้องทยอยเก็บผล แต่บางต้นมีขั้วผลเหนียว ผลแก่ร่วงยาก ร่อนผลร่อนอ่อนให้แก่ตาม การเก็บเกี่ยวจะกระทำได้ง่ายโดยเก็บทั้งช่อผล เปลือกผลที่เปลี่ยนเป็นสี

เหลือทิ้งที่เมล็ดแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ หรืออีกกรณีที่ผลแก่แล้ว เปลือกผลเริ่มอ้า แสดงว่า เมล็ดภายในแก่พร้อมเก็บเกี่ยวได้

8). ผลผลิตและการเก็บรักษา ผลผลิตสับุดำ มีความแตกต่างกันไป ขึ้นกับการดูแลรักษา และอายุของสับุดำ เมื่อสับุดำมีอายุ 1 ปี ผลผลิตอาจแตกต่างกันระหว่าง 100-500 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 2.3) หลังจากเก็บผลสับุดำมาแล้ว นำมาตากแดดให้แห้ง กะเทาะเมล็ดออกจากเปลือกฝัก การนำเมล็ดไปตากแดดเพื่อให้เมล็ดแห้งอาจมีผลต่อความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ จึงควรฝังไว้ในที่ร่ม ถ้าต้องการผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์ให้ลดความชื้นต่ำถึง 5-7 เปอร์เซ็นต์ และเก็บเมล็ดไว้ในภาชนะที่ปิดไม่ให้อากาศถ่ายเทในสภาพอุณหภูมิห้อง ที่ประเทศเดนมาร์ก จะสามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีชีวิตอยู่ได้อย่างน้อย 1 ปี สำหรับสภาพแวดล้อม ประเทศไทยที่มีสภาพอากาศร้อนชื้น น่าจะรักษาความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ได้น้อยกว่า 1 ปี

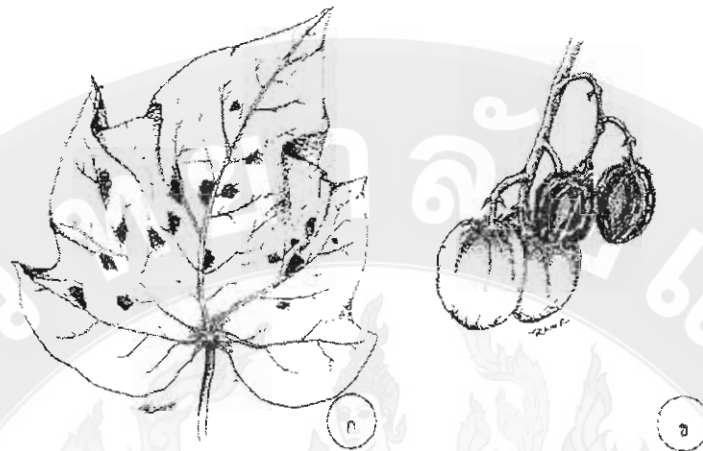
ตารางที่ 2.3 ศักยภาพผลผลิตสับุดำที่อายุ 1 ปี ในสภาพการดูแลรักษาต่างกัน

สภาพการดูแลรักษา	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	ที่มาข้อมูล
Low input ปลูกด้วยกิ่งพันธุ์ (ระยะปลูก 1 x 1 เมตร) ไม่ใส่ปุ๋ย ไม่พ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช สภาพอาศัยน้ำฝน	100	สรศักดิ์ และคณะ (2529)
Medium input ปลูกด้วยกิ่งพันธุ์ (ระยะปลูก 2 x 2 เมตร) ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ หลังปลูก 2 เดือน พ่นสารป้องกันกำจัด โรคขาว สภาพอาศัยน้ำฝน (แต่ให้น้ำช่วงแรกของการปลูก - อายุ 2 เดือน)	270 - 310	ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา (2548)
High input ปลูกด้วยกิ่งพันธุ์ (ระยะปลูก 2 x 1 เมตร) ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ หลังปลูก 3 เดือน พ่นสารป้องกันกำจัดโรค แมลง และวัชพืช ให้น้ำระบบน้ำหยดทุกสัปดาห์ในช่วงไม่มีฝน	450 - 500	แอนนาและคณะ (2548)

ที่มา : ชำนาญ และคณะ (2548)

9). โรคและแมลงที่มีผลกระทบต่อสับดูต้า สับดูต้า เป็นพืชน้ำมันที่ทนแล้ง เจริญเติบโตได้ง่ายในท้องที่ที่แห้งแล้ง ปัจจุบันมีการปลูกกระจายไปทั่วอาฟริกา และเอเชีย ความมีศักยภาพของสับดูต้าในด้านความต้องการพลังงานในเวลาที่พักพลังงานจากใต้ดินกำลังจะลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ และมีราคาเพิ่มขึ้นตลอดเวลา อาจนำสับดูต้ามาใช้ทดแทนพลังงานเหล่านี้ได้ สำหรับประเทศไทยมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่องสับดูต้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 แต่เมื่อการตรวจเอกสารรายงานผลการวิจัยค้นคว้าเรื่องสับดูต้าในประเทศไทยพบว่าไม่มีการกล่าวถึงหรือให้ความสนใจเรื่องโรคและแมลงศัตรูของสับดูต้า ทั้งนี้อาจเพราะสับดูต้าเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเพียงระดับท้องถิ่น มีปลูกทั่วไปในสภาพธรรมชาติ พืชทุกชนิดจะต้องมีศัตรูเข้าทำลายไม่มากนัก ความเสียหายอาจถึงระดับเศรษฐกิจได้ในบางโอกาสเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม ถ้าปลูกสับดูต้าเป็นพืชพื้นบ้าน ปลูกเป็นแนวรั้วบ้าน รั้วสวน คงไม่มีความสำคัญมากนักแต่หากปลูกเป็นสวนป่า หรือเป็นไร่หลายพัน หลายหมื่นไร่ ย่อมมีปัญหาต่าง ๆ เกิดขึ้นอย่างแน่นอน โดยเฉพาะโรคและแมลง

ก. โรคสับดูต้าที่พบในประเทศไทย ในการศึกษาเบื้องต้นจากแปลงทดสอบพันธุ์สับดูต้า โครงการ “ปลูกสวนป่า “สับดูต้า” เพื่อพัฒนาพลังงานทดแทน : โครงการเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา สมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ” ที่คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เมื่อเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2547 พบโรคใบจุด (ภาพที่ 2.9 ก.) เกิดขึ้นบนใบสับดูต้าประปรายไม่รุนแรง มีสาเหตุคือ รา *Alternaria* sp. และพบอาการผลเน่า ซึ่งเกิดในระยะที่ผลยังไม่แก่ ทำให้ได้เมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ เมล็ดที่ได้จากผลเน่าดังกล่าว น้ำหนักน้อยกว่าเมล็ดที่สมบูรณ์ประมาณ 15% สาเหตุการเน่าของผลอ่อนยังไม่ทราบแน่ชัด จึงต้องมีการศึกษาการเจริญเติบโตของผลสับดูต้าตลอดเวลาจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ลักษณะอาการดังกล่าวอาจเกิดจากการเข้าทำลายของแมลงปากดูดหรือปากกัดบางชนิด ทำให้เกิดแผลที่ผลอ่อน ราบางพวกที่ชอบเข้าทำลายตามรอยแผล เช่น รา *Fusarium*, *Botryodiplodia* และ/หรือแบคทีเรียบางชนิดเข้าทำลายซ้ำเติมทำให้ผลมีอาการเน่าแห้ง สีดำ (ภาพที่ 2.9 ข.) ปะปนอยู่ในพวงของผลสับดูต้าเห็นเด่นชัดพวงหนึ่งอาจมี 3-6 ผล มีทั้งที่แห้งเป็นมัมมีติดอยู่บนต้นและร่วงไปในที่สุด ทำให้ได้เมล็ดที่ไม่สมบูรณ์และน้ำหนักเบา ลักษณะการเน่าของผลดังกล่าว น่าจะเป็นปัญหาที่สำคัญที่จะต้องได้รับการศึกษาวิจัยโดยเร่งด่วน เพื่อหาสาเหตุที่แน่นอน ถูกต้องและศึกษานาแนวทางการควบคุมสาเหตุโรคอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป



ภาพที่ 2.9 ลักษณะอาการโรคใบจุด (ก.) อาการผลเน่าแห้ง (ข.) ของสบู่ดำ
(<http://www.ku-alumni.org/>)

ข. โรคสบู่ดำที่พบในต่างประเทศ พบการระบาดเข้าทำลายของเชื้อโรคหลายชนิดในพืชสบู่ดำ ทั้งรา แบคทีเรีย และไวรัส ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ค. แมลงศัตรูที่สำคัญ แมลงและสัตว์ในเครือแมลง (arthropods) เป็นสัตว์ที่มีความหลากหลายในชนิดพันธุ์ในระบบนิเวศน์ของป่าธรรมชาติ (natural forest ecosystem) และแปลงเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ (agro ecosystem) แมลงเหล่านี้จะมีโทษเป็นศัตรูหรือมีประโยชน์ต่อพืชน้ำมัน เช่น สบู่ดำ (phtsic nut, *Jatropha curcus* Linn., Euphorbiaceae) โดยเป็นแมลงช่วยผสมเกสร (pollinator) นั้น ในการผลิตพืชสบู่ดำในพื้นที่กว้าง และผลิตในปริมาณมาก (mass production) เพื่อเก็บเกี่ยวเมล็ดนำมาบีบน้ำมันเป็นพลังงานชีวภาพทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ในภาวะวิกฤตนั้น ในทางวิชาการเกี่ยวกับแมลงศัตรูสบู่ดำ (insect pest) และแมลงช่วยผสมเกสร (insect pollinator) มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษา เพราะแมลงเป็นปัจจัยในการเพิ่มผลผลิต (potential yield) ของสบู่ดำในสภาพแปลงปลูก ในช่วงระยะเก็บเกี่ยว (preharvest stage) และหลังเก็บเกี่ยว (postharvest stage) ในสภาพโรงเก็บเมล็ด (storage warehouse) ภายหลังจากเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 2.4 โรคสับดำ สาเหตุและประเทศที่พบ

ชื่อโรค	เชื้อสาเหตุ	แหล่งที่พบ
เน่าระดับดินและรากเน่า (damping-off and root rot)	รา <i>Pythium</i> spp. รา <i>Phytophthora</i> spp. รา <i>Fusarium</i> spp.	เซเนกอล
รากเน่า (root rot)	รา <i>Clitocybe babescens</i> คล้าย <i>Armillaria</i> sp.	สหรัฐอเมริกา
ใบจุด (leaf spot)	รา <i>Helminthosporium tetramera</i> รา <i>Pestalotiopsis paraguayensis</i> Seng. รา <i>P. versicolor</i> รา <i>Cercospora jatrophae-curces</i>	สหรัฐอเมริกา
ใบจุดตากบ (frog eye)	รา <i>Cercospora</i> spp.	ซิมบับเว
ใบจุด (leaf spot)	รา <i>Dothiorella</i> sp. รา <i>Diplodia</i> sp. รา <i>Alternaria</i> sp.	นิคารากัว
ราแป้ง (powdery mildew)	รา <i>Oidium</i> sp.	นิคารากัว
แอนแทรกโนส (anthracnose)	รา <i>Collectrichum gloeosporioides</i> รา <i>Collectotrichum</i> sp.	สหรัฐอเมริกา นิคารากัว
ราสนิม (rust)	รา <i>Phakopsora jatrophaicola</i>	สหรัฐอเมริกา
ใบไหม้ (bacterial blight)	แบคทีเรีย <i>Xanthomonas</i> sp.	สหรัฐอเมริกา
ใบด่าง (mosaic)	ไวรัส <i>Jatropha mosaic</i> ไวรัส <i>Bigeminivirus</i>	สหรัฐอเมริกา
แอนแทรกโนส (anthracnose)	รา <i>Collectrichum gloeosporioides</i>	สหรัฐอเมริกา

ที่มา : ชำนาญ และคณะ (2549)

ง. แมลงศัตรูที่สำคัญของสับดำในประเทศไทย เนื่องจากพืชสับดำ เป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดดั้งเดิมในแถบทวีปอเมริกาใต้ และถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทย โดยชาวโปรตุเกส ในช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา เพื่อปลูกและนำเอาเมล็ดบีบน้ำมันมาทำสบู่ในสมัยนั้น และต่อมามีการแพร่กระจายและเพาะปลูกในพื้นที่ทุกภูมิภาคของการผลิต หรือเพาะปลูกเป็นพื้นที่

กว้างเป็นพืชอุตสาหกรรมน้ำมันยังไม่มีปรากฏแพร่หลาย นอกจากแปลงปลูกงานวิจัยของหน่วยงานราชการ เช่น หน่วยงานในสังกัดกรมวิชาการเกษตร และกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานทดแทนในอนาคต จากรายงานของกรมส่งเสริมการเกษตร ในปี พ. ศ. 2547 พบว่า แมลงศัตรูที่พบในแปลงปลูกสบู่ดำในประเทศไทยที่สำคัญ คือ ไรพืช สัตว์ในเครือแมลงไรขาว (Acarina : Tarsonemidae) เป็นศัตรูที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงในช่วงแทงช่อดอก นอกจากนี้ยังมีรายงานพบแมลงศัตรู ที่สำคัญชนิดอื่น เช่น เพลี้ยไฟ (thrips) เพลี้ยหอย (scale insect) เพลี้ยแป้ง (mealy bugs) และเพลี้ยจักจั่น (Jassids) เป็นต้น ดูดกินน้ำเลี้ยงตามบริเวณช่อดอกและผลอ่อน

อย่างไรก็ตาม ผลงานวิจัยในด้านงานอนุกรมวิธาน (Taxonomy) ของแมลงและสัตว์ในเครือแมลงของพืชน้ำมันสบู่ดำยังไม่มีรายงานผลงานวิจัยปรากฏให้เห็นเป็นหลักฐานข้อมูล นอกจากนั้น การศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับความเสียหายของผลผลิตสบู่ดำที่เกิดจากการทำลายของแมลงศัตรูในสภาพแปลงปลูก (crop loss assessment) ยังขาดข้อมูลจากผลงานวิจัยทางกีฏวิทยา สำหรับผลิตพืชสบู่ดำเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในประเทศ

2.4 การสกัดน้ำมันสบู่ดำ

เมล็ดสบู่ดำมีความหนาแน่น 606 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลสบู่ดำ 1 ผล จะมี 3 เมล็ด ผลสบู่ดำ 1 กิโลกรัมมีประมาณ 85-90 ผล 1 ผลสดหนักประมาณ 11.37 กรัม ผลสด 1 กิโลกรัม เมื่อนำมาแกะเทาะเปลือกออกแล้ว จะได้เมล็ดสบู่ดำประมาณ 260-270 เมล็ด สบู่ดำ 1 เมล็ดหนัก 1.1 กรัม น้ำมันในเมล็ดสบู่ดำมีอยู่ประมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งเมล็ดสบู่ดำจำนวน 4 กิโลกรัม จะสามารถสกัดน้ำมันได้ 1 กิโลกรัม หรือประมาณ 1 ลิตร และเหลือเป็นกากสบู่ดำ 3 กิโลกรัม น้ำมันที่ได้ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 2-3 วัน สามารถนำไปใช้แทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลของเกษตรกรได้ โดยไม่ต้องผสมส่วนผสมใด ๆ ซึ่งการสกัดน้ำมันสบู่ดำสามารถสกัดได้ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นการสกัดในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีบดให้ละเอียด แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จะได้น้ำมัน 34.96% จากเมล็ดรวมเปลือกและ 54.68% จากเนื้อเมล็ด

2.4.2 การสกัดน้ำมันด้วยระบบไฮดรอลิก

การสกัดน้ำมันด้วยระบบไฮดรอลิก จะได้น้ำมันประมาณ 25-30% และมีน้ำมันตกค้างในกาก 10-15% เครื่องบีบน้ำมันแบบไฮดรอลิกเป็นเครื่องขนาดเล็กแบบง่าย ๆ ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ประสิทธิภาพในการบีบตีที่สำคัญคือราคาไม่แพง เครื่องบีบแบบไฮดรอลิกนี้จะใช้แรงอัดจากแม่แรงโดยใช้แรงงานคน ตัวเครื่องประกอบด้วยกระบอกอัดน้ำมันที่เจาะรูขนาดเล็กไว้โดยรอบเพื่อให้ น้ำมันไหลออกมา เมล็ดพืชจะถูกอัดด้วยแผ่นอัดน้ำมันที่ยึดติดกับเกลียวบังคับและก้านเกลียวบังคับกระบอกอัดจะวางอยู่บนแท่นรองอัด น้ำมันซึ่งแท่นรองอัดน้ำมันนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ โคนแรงยกของแม่แรงที่วางอยู่ใต้แท่นรองอัดน้ำมันนี้ ดังภาพที่ 2.10



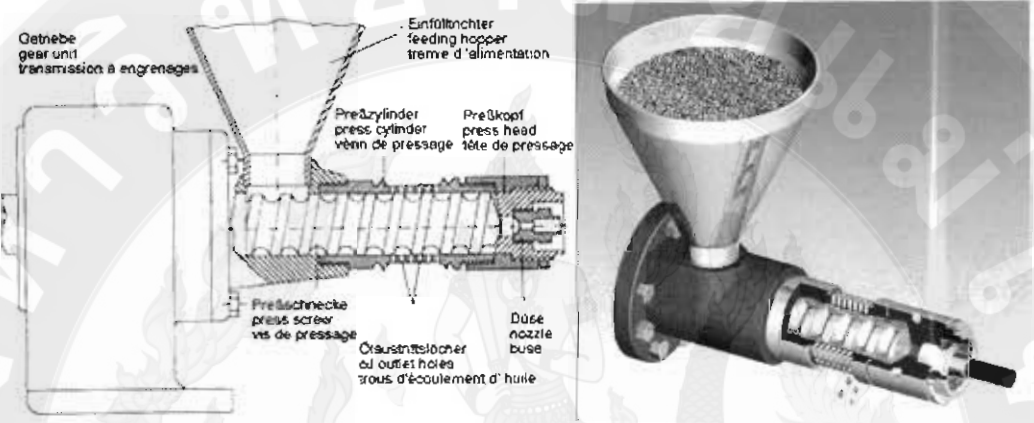
ภาพที่ 2.10 เครื่องบีบน้ำมันด้วยระบบไฮดรอลิก

2.4.3 การสกัดน้ำมันด้วยระบบอัดเกลียวหรือสกรูเพรส

การสกัดด้วยระบบอัดเกลียวหรือสกรูเพรส จะได้น้ำมันประมาณ 25-30% และมีน้ำมันตกค้างในกาก 10-15% เครื่องบีบน้ำมันแบบนี้จะประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ สองส่วนคือ ส่วนบีบอัดน้ำมัน และส่วนที่ให้กำลังแก่เครื่อง โดยส่วนที่บีบอัดน้ำมันจะประกอบด้วยเกลียวอัดที่มีลักษณะเป็นลูกสกรูสวมอยู่ในเสื้อ หรือปลอกอัดสกรูซึ่งจะทำหน้าที่พาเอาวัตถุบีบเข้าไปในปลอกอัด ส่วนที่ให้กำลังแก่เครื่องสามารถใช้ได้จากเครื่องยนต์หรือจากมอเตอร์ไฟฟ้า

หลักการบีบน้ำมันสบูดำด้วยเครื่องสกรูเพรส คือ เมื่อเริ่มเดินเครื่องตัวส่งกำลังจะส่งกำลังไปยังลูกสกรูทำให้สกรูหมุน แล้วจึงเริ่มใส่เมล็ดสบูดำที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้ว ลงทางช่องใส่เมล็ดของเครื่อง เกลียวของลูกสกรูก็จะพาเอาเมล็ดสบูดำเข้าไปในเครื่องเนื่องจากแกนของสกรู

จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อลดขนาดของช่องว่างภายในทำให้เมล็ดสับดำถูกอัดกับผนังเสื้อ น้ำมันก็จะเริ่มถูกบีบออกจากเมล็ดและถูกส่งไปยังปลายด้านในของสกรู ซึ่งจะมีลักษณะเรียบและลาดทำมุมกับผนังของเสื้อ ซึ่งจะทำให้กากที่ถูกบีบผ่านออกมาทางช่องนี้ แบบเรียบเป็นแผ่นบาง ๆ ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 เครื่องบีบน้ำมันด้วยระบบอัดเกลียวหรือสกรูเพรส (www.ag.ndsu.nodak.edu)

2.5 การออกแบบลักษณะเกลียวอัด

2.5.1 แบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันเกลียวอัด (Increasing root diameter)

ลักษณะแบบนี้จะเป็นการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันให้มากขึ้นตามลำดับ แต่การออกแบบโดยเกลียวแบบนี้ จะมีระยะพิทช์คงที่ และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเกลียวอัดจะมีค่าคงที่ จึงทำให้กระบอกอัดควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ หรือจะเป็นแบบไม่คงที่ก็ได้ ถ้าแบบไม่คงที่เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดจะต้องลดลงเรื่อย ๆ โดยแบบเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ที่มีลักษณะดังภาพที่ 2.12 ก

2.5.2 แบบลดระยะพิทช์โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันคงที่ (Decrease pitch, constant root diameter)

ลักษณะแบบนี้จะเป็นการลดระยะห่างระหว่างฟันให้น้อยลงเรื่อย ๆ แล้วแต่การออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.12 ข จะสังเกตเห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดและเส้นผ่านศูนย์กลางของโคนฟันจะมีค่าคงที่

2.5.3 แบบเกลียวอัดภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพื้นคงที่ แต่กระบอกอัดมีเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง (Constant root diameter screw in barrel with decreasing diameter)

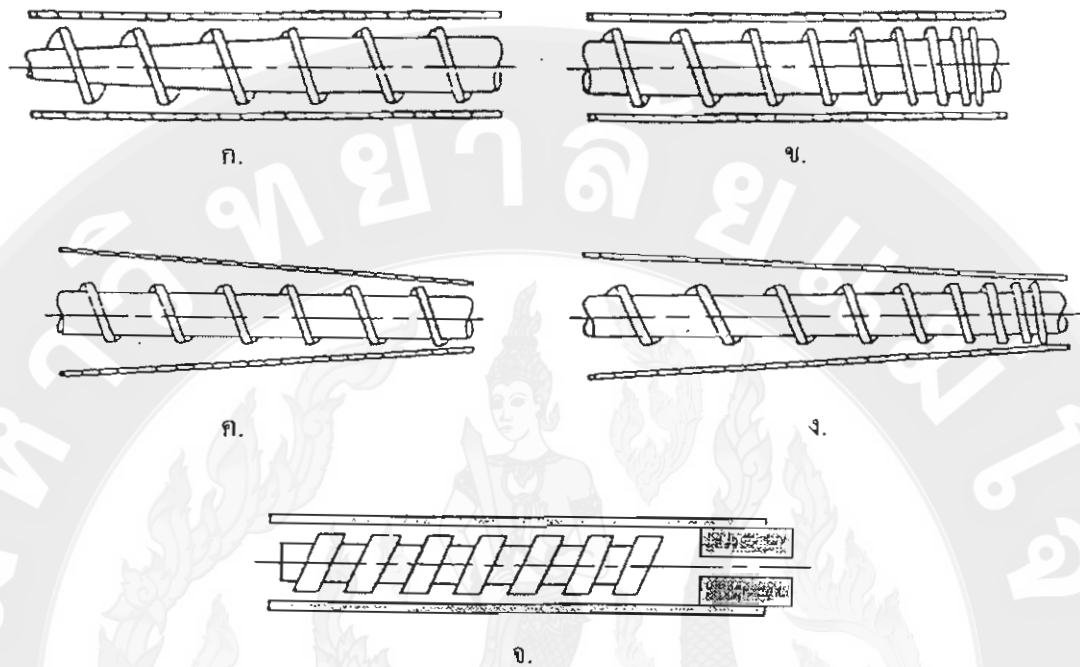
ลักษณะแบบนี้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดมีขนาดลดลงแล้วแต่การออกแบบโดยที่ระยะพิทช์ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพื้นของเกลียวอัดมีค่าคงที่ ดังภาพที่ 2.12 ค

2.5.4 แบบเกลียวอัดภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพื้นคงที่ แต่ระยะพิทช์และเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดลดลง (Constant root diameter, decreasing pitch screw in barrel with decreasing diameter)

ลักษณะแบบนี้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดและระยะพิทช์ มีขนาดลดลงเรื่อยๆ แล้วแต่การออกแบบ แต่เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพื้นของเกลียวอัดมีขนาดคงที่ ดังภาพที่ 2.12 ง

2.5.5 แบบระยะพิทช์ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดและเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดคงที่แต่มีห้องอัด (Constant pitch and diameter of screw and constant diameter barrel with compression chamber)

ลักษณะแบบนี้ทุกชิ้นส่วนของกระบอกอัดและเกลียวอัดจะคงที่ แต่จะมีห้องอัดอยู่ที่ปลายของเกลียวอัดดังแสดงในภาพที่ 2.12 จ จะสังเกตเห็นว่าแบบที่ ก - ง จะไม่มีห้องอัด เพราะในระหว่างเกลียวมีการอัดปริมาตรลงอยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีห้องอัด



ภาพที่ 2.12 การออกแบบลักษณะของเกลียวอัด (Judson M. Harper, 1981)

2.6 ทฤษฎีเกลียวอัด

เครื่องอัดแห้งด้วยเกลียวอัด ซึ่งมีเกลียวเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดทำหน้าที่รับส่วนผสมที่ป้อนเข้ามาและอัดส่วนผสมดังกล่าว เราแบ่งเกลียวอัดออกเป็น 3 ช่วง คือ

2.6.1 ช่วงป้อน (Feeder section) เป็นส่วนของเกลียวที่รับส่วนผสมของวัตถุดิบมาจากช่องป้อน ปกติแล้วช่วงป้อนจะมีลักษณะร่องเกลียวลึก เพื่อให้วัตถุดิบตกลงสู่เกลียวได้โดยง่าย หน้าที่ของช่องป้อนก็คือ ลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่เกลียวอัดอย่างเพียงพอไปตามแกนของเกลียวและบรรจุร่องเกลียวด้วยวัตถุดิบจนเต็ม เมื่อเกลียวทำงานขณะที่มีวัตถุดิบบรรจุอยู่ในร่องเกลียวเพียงบางส่วนของปริมาตรในร่อง เราจะเรียกสภาวะนี้ว่า "Starved feeding" หรือวัตถุดิบขาดช่วงนั่นเอง ปกติแล้วความยาวของเกลียวในช่วงป้อนจะประมาณ 10% ถึง 25% ของความยาวทั้งหมดของเกลียว

2.6.2 ช่วงการอัด (Compression section) เป็นส่วนของเกลียวระหว่างช่วงป้อนและช่วงตวงวัดบางครั้งช่วงอัดอาจเรียกว่า ช่วงเปลี่ยนแปลง (Transition section) กระบวนการในช่วงการอัดอาจทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันมากที่สุดคือ การลดความสูงของเกลียวลงไปตามทิศของการอัด และอีกวิธีคือการลดลงของระยะพิทซ์ในช่วงเปลี่ยนแปลง ปกติแล้ววัตถุดิบจะถูกทำให้ร้อนขึ้น

เมื่อถูกเกลียวดันให้เคลื่อนที่ผ่านช่วงนี้ และความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวทั้งหมดของเกลียว

2.6.3 ช่วงตรวจวัดหรือช่วงวัด (Metering section) คือ ส่วนของเกลียวที่ใกล้กับปลายกระบอกไดของเกลียวอัด ซึ่งมักจะมีลักษณะเกลียวที่ตื้น เกลียวที่มีลักษณะตื้นนี้เป็นส่วนที่ทำให้อัตราการเฉือน (Shearing rate) เพิ่มขึ้นในช่องเกลียว (Channel) จนถึงค่าสูงสุดของเกลียว การเปลี่ยนพลังงานกลของชุดขับเกลียวเป็นความร้อนที่ได้จากความหนืดจะเกิดขึ้นมากในช่วงนี้ ซึ่งทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.7 องค์ประกอบของเครื่องสกัดน้ำมันด้วยระบบเกลียวอัด

เครื่องสกัดน้ำมันด้วยระบบเกลียวอัด ประกอบด้วยเกลียวอัดซึ่งหมุนในปลอกทรงกระบอก (กระบอกเกลียว) ทำหน้าที่อัดวัตถุดิบเข้าช่องป้อนของเกลียวอัด หน้าสัมผัสของเกลียวจะผลัดกันให้วัตถุดิบเคลื่อนไปยังข้างหน้าผ่านกระบอกได ทำให้เกิดการอัดตัวของวัตถุดิบและบีบน้ำมันออกมา

2.7.1 ระบบส่งกำลัง

โดยปกติจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังขับ โดยระบบส่งกำลังถูกใช้เพื่อลดความเร็วซึ่งจะเป็นการเพิ่มแรงบิดไปด้วย โดยทั่วไประบบสายพานหรือโซ่มักจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบ

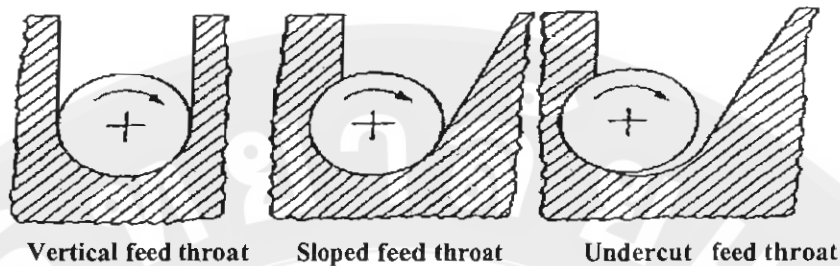
2.7.2 ช่องป้อนวัสดุ

เป็นช่องเปิดสำหรับป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เกลียว รูปร่างของช่องเปิดมีลักษณะแตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งแบ่งเป็น (สุริยา, 2537)

ก. ช่องเปิดที่มีแนวของช่องตั้งลงมา (Vertical feed throat) สัมผัสกับเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอก เกลียว

ข. ช่องเปิดที่มีด้านข้างของช่องเปิดเอียงทำมุมกับแนวตั้ง (Sloped feed throat) มาสัมผัสกับเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอก การออกแบบลักษณะนี้จะช่วยทำให้การป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เกลียวอัดได้ดีกว่า

ค. ช่องเปิดที่กว้างลงต่ำจนถึงด้านล่างของเกลียวอัด (Undercut feed throat) เพื่อช่วยให้การป้อนวัตถุดิบที่มีลักษณะอ่อนเข้าสู่เกลียวได้ดี



ภาพที่ 2.13 รูปแบบต่าง ๆ ของช่องป้อน (Judson M. Harper, 1981)

2.7.3 ครอบเกลียวอัด (Extruder barrel)

ครอบเกลียวอัดคือ ชิ้นส่วนทรงกระบอกที่หุ้มเกลียวอัดอย่างพอดี ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกกลม ผิวด้านในของครอบเกลียวอัดจะมีลักษณะเป็นร่องที่เกิดจากการซ้อนกันของแผ่นเหล็ก โดยร่องนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวลดการสิ้นเปลืองของวัสดุบริเวณสันเกลียว

2.7.4 เกลียวอัด

เกลียวอัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสกัดน้ำมันด้วยระบบเกลียวอัด ซึ่งจะทำหน้าที่รับวัตถุดิบที่ป้อนเข้ามาลำเลียงไปยังด้านหน้าเพื่อบีบให้น้ำมันออกมา และขับดันออกสู่กระบอกได สำหรับเกลียวอัดที่ใช้ออกแบบในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เกลียวอัดแบบลดระยะพิทช์โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพื้นคงที่ และแบบเกลียวอัดภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพื้นคงที่ แต่ระยะพิทช์และเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดลดลง เนื่องจากต้องการลดปริมาตรของวัสดุลง โดยร่องเกลียวจะมีลักษณะโค้ง เพื่อไม่ให้วัสดุที่ป้อนเข้าไปเกิดการติดในร่องเกลียว แรงที่เกิดขึ้นในเกลียวอัด สามารถหาได้จากความดันที่เกิดขึ้นในร่องเกลียว (สุชาติ และ สุรินทร์, 2537) จะได้ว่า

$$\text{แรงบิด } T = \mu(d_s - h)NP\sqrt{p^2 + \pi^2(d_s - h)^2} \left\{ \frac{(p - b)}{2} + h \right\} \cos \lambda \quad (2.1)$$

- เมื่อ T = แรงบิดที่เกิดขึ้นในเกลียว μ = สัมประสิทธิ์ความฝืดในร่องเกลียว
 d_s = เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัด h = ความสูงของสันเกลียวอัด
 b = ความหนาของเกลียวอัด p = ระยะพิทช์ของเกลียวอัด
 λ = มุมความลาดเอียงของเกลียวอัด = $\tan^{-1}(1/\pi d_s)$
 P = แรงดันที่เกิดขึ้นในเกลียวอัด N = จำนวนฟันของเกลียวอัด

2.7.5 ครอบงวด (Die)

เป็นช่องทางเปิดให้วัตถุบับออกมาเป็นแห่งเชื้อเพลิง รูปร่างของครอบงวดจะแตกต่างกันออกไปตามรูปร่างของผลผลิตที่ต้องการ รูปแบบที่ง่ายคือ เป็นรูปทรงครอบงวดกลม

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะเน้นถึงชิ้นส่วนและระบบส่งถ่ายกำลัง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.8.1 เพลลา

ในการคำนวณออกแบบเพลลานิยมใช้ทฤษฎีของ Soderberg approach สำหรับการใช้งานทั่วไปเมื่อมีแรงบิดคงที่ (Shigley, 1989) สมการของ Soderberg approach และทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$d_s = \left[\frac{32n_s}{\pi} \left\{ \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.2)$$

เมื่อ d_s = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (เมตร)

n_s = ค่าความปลอดภัย หรือ safety factor

M = โมเมนต์ดัด (นิวตัน-เมตร)

T = แรงบิด (นิวตัน-เมตร)

S_y = กำลังคลาก หรือ Yield strength (เมกะปาสคาล) จากตารางที่ 2.5

S_e = ซีดจำกัดความทนทานของชิ้นส่วนเครื่อง หรือ

Endurance limit of mechanical element (เมกะปาสคาล)

ก. ความแข็งแรงต่อการล้าไม่จำกัดครั้ง

เรามักจะพบว่าชิ้นส่วนที่เสียหาย ภายใต้ความเค้นที่เปลี่ยนแปลง หลังจากคำนวณจะพบว่าแรงที่ทำนั้นจะทำให้เกิดความเค้นต่ำกว่าความแข็งแรงสุดยอด (Ultimate strength) ของวัสดุ ลักษณะของการเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อชิ้นส่วนรับแรงจำนวนมากครั้งนี้เรียกว่า การล้า (Fatigue failure) ค่าความแข็งแรงต่อการล้าไม่จำกัดครั้งหรือจุดจำกัดความทนทาน (Endurance

limit) ใช้ตัวอักษรย่อ S_u และในการประมาณค่า S'_u ของเหล็ก สามารถใช้สมการความสัมพันธ์ดังนี้ (Shigley, 1989)

$$\begin{aligned} S'_u &= 0.5S_{ut} && \text{โดย } S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa. (200 kpsi.)} \\ S'_u &= 700 \text{ MPa. (100 kpsi.)} && \text{โดย } S_{ut} > 1400 \text{ MPa. (200 kpsi.)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

ข. ปัจจัยเปลี่ยนแปลงความคงทน

สมการต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างจุดจำกัดความทนทานของชิ้นงานจริง (S_o) และจุดจำกัดความทนทานของชิ้นงานทดสอบ โดยคำนึงปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานนั้น

$$S_o = k_a k_b k_c k_d k_e k_f (S'_u) \quad (2.4)$$

เมื่อ S_o = ความแข็งแรงโดยรับแรงไม่จำกัดครั้งของชิ้นงาน

S'_u = ความแข็งแรงโดยรับแรงไม่จำกัดครั้งของชิ้นส่วนทดสอบแบบคายนุ่ม

k_a = ปัจจัยของผิววัสดุ

k_b = ปัจจัยของขนาดวัสดุ

k_c = ปัจจัยของความไว้วางใจ

k_d = ปัจจัยของอุณหภูมิ

k_e = ปัจจัยเกี่ยวกับความเค้นที่เพิ่มขึ้นของผิวไม่ต่อเนื่อง

k_f = ปัจจัยอื่น ๆ

ค. ตัวประกอบผิววัสดุ (Surface factor, k_a)

ผิวของชิ้นส่วนที่ตรวจสอบแบบคายนุ่ม (การตรวจหาความล้าโดยใช้เครื่องมือชิ้นส่วนความเร็วสูง ซึ่งทำให้ชิ้นตัวอย่างรับแรง Bending แต่เพียงอย่างเดียวโดยใช้น้ำหนักเป็นตัวตั้ง) จะได้รับการขัดอย่างประณีต โดยการขัดครั้งสุดท้ายจะขัดตามแนวยาว เพื่อไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนในทิศทางตามเส้นรอบวง แต่ชิ้นงานจริงไม่สามารถทำได้เหมือนชิ้นส่วนทดสอบ โดยมีปัจจัยความเรียบ k_a ดังภาพที่ 2.14

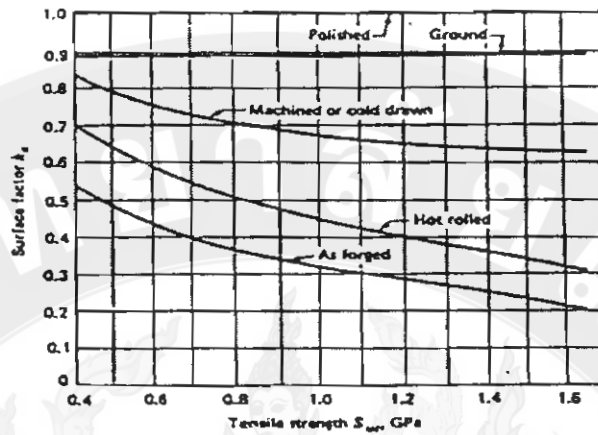
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก (มาตรฐาน ASTM)

UNS NO.	SAE And/or AISI NO.	Processing	Tensile Strength (S_{ut}), KPa (kpsi)	Yield Strength (S_y), KPa (kpsi)	Elongation In 2 in, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
G10060	1006	HR	300(43)	170(24)	30	55	86
		CD	330(48)	280(41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320(47)	180(26)	28	50	95
		CD	370(53)	300(44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340(50)	190(27.5)	28	50	101
		CD	390(56)	320(47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400(58)	220(32)	25	50	116
		CD	440(64)	370(54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380(55)	210(30)	25	50	111
		CD	470(68)	390(57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470(68)	260(37.5)	20	42	137
		CD	520(76)	440(64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500(72)	270(39.5)	18	40	143
		CD	550(80)	460(67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520(76)	290(42)	18	40	149
		CD	590(85)	490(71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570(82)	310(45)	16	40	163
		CD	630(91)	530(77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620(90)	340(49.5)	15	35	179
		CD	690(100)	580(84)	10	30	197
G10600	1060	HR	80(98)	370(54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770(112)	420(61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	30(120)	460(66)	10	25	248

* HR : Hot Rolled

**CD : Cold Drawn

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.



ภาพที่ 2.14 ตัวประกอบเพื่อแก้ไขความไม่เรียบ (Shigley, J. E., 1986)

ง. ตัวประกอบขนาดวัสดุ (Size factor, k_b)

ผลการทดสอบแบบคานหมุนได้จากการทดสอบชิ้นส่วนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 นิ้ว และการทดสอบตามหน่วย SI ก็จะใช้ชิ้นส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5, 10 หรือ 12.5 มิลลิเมตร นั่นคือค่าความแข็งแรงไม่จำกัดครั้งของงาน จะต้องถูกปรับด้วยปัจจัยการแก้ไขด้านขนาด

1. การรับแรงในลักษณะแรงดัดและแรงบิด

จากการตรวจสอบโดยใช้ตัวอย่างขนาด 0.3 นิ้ว ค่า k_b จะลดลงตามความสัมพันธ์ของ Kuguel ดังสมการที่ 2.5, 2.6 และ 2.7 เพื่อใช้กับแท่งทรงกระบอกภายใต้แรงดัดและแรงบิด

$$k_b = 0.869 \cdot d^{-0.097} \quad \text{เมื่อ } 0.3 \text{ นิ้ว} < d \leq 10 \text{ นิ้ว} \quad (2.5)$$

$$k_b = 1 \quad \text{เมื่อ } d \leq 0.3 \text{ นิ้ว หรือ } d \leq 8 \text{ มิลลิเมตร} \quad (2.6)$$

$$k_b = 1.189 \cdot d^{-0.097} \quad \text{เมื่อ } 8 \text{ มิลลิเมตร} < d \leq 280 \text{ มิลลิเมตร} \quad (2.7)$$

2. การรับแรงในทางยาว (Axial loading)

การรับแรงในทางยาวไม่มีผลต่อขนาดชิ้นงานเมื่อถูกดึงหรือกดในแนวยาว ซึ่งก็หมายความว่า ความแข็งแรงที่รับแรงไม่จำกัดครั้งของชิ้นงานขนาด 6.35 มิลลิเมตร จะมีค่าเท่ากับชิ้นงานขนาด 50.8 มิลลิเมตร ซึ่งต่อมา R.W. Landgraf รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความทนทานในแกนยาว ได้ดังนี้

$$S'_0 = 19.2 + 0.314S_{uc} \quad \text{เมื่อ } S_{uc} \geq 60 \text{ kpsi.} \quad (2.8)$$

ถ้าหากเราใช้ค่า S_e จากสมการนี้ ก็หมายความว่า จะใช้ $k_b = 1$ ในการหาค่าความแข็งแรงโดยรับแรงไม่จำกัดครั้งของชิ้นงาน ซึ่งสมการนี้ให้ความแข็งแรงที่ทนต่อแรงไม่จำกัดครั้งประมาณร้อยละ 50% ของความแข็งแรงประลัยสำหรับเหล็กอ่อน และน้อยกว่านั้นสำหรับเหล็กแข็ง ส่วนนักวิชาการคนอื่น ๆ พบว่าค่าความแข็งแรงโดยทนทานได้ไม่จำกัดครั้งนี้น้อยกว่าความแข็งแรงของตัวอย่างคานหมุน (Rotating-beam) ที่มีความแข็งแรงประลัยประมาณ 378 เมกกะปาสคาล ถึง 1,190 เมกกะปาสคาล แต่ข้อมูลกระจายมากโดยค่า k_b จะมีค่าจาก 0.58 ถึง 0.78 ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ k_b สองค่าดังนี้

$$k_b = 0.60 \text{ เมื่อไม่มีการตรวจสอบชิ้นงานที่นำมาใช้}$$

$$k_b = 0.71 \text{ เมื่อมีการตรวจสอบชิ้นงานที่นำมาใช้}$$

จ. ตัวประกอบความไว้วางใจ (Reliability factor, k_c)

ในตอนนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการคำนวณ เพื่อออกแบบเครื่องจักรกลให้ทนทานต่อความล้าโดยให้มีความไว้วางใจได้ค่าหนึ่ง ซึ่งในหลายกรณีอายุการใช้งานและความไว้วางใจได้จะเป็นวิธีที่ดีกว่าการใช้ค่าความปลอดภัย เนื่องจากอายุและความไว้วางใจได้เป็นสิ่งที่วัดกันได้โดยตรง โดยการทดลองกับชิ้นงานและนำผลการตรวจสอบมานำเสนอข้อมูลทางสถิติ โดยการออกแบบขึ้นอยู่กับชิ้นงานว่าต้องการอายุการใช้งานและความไว้วางใจได้มากแค่ไหนและเลือกใช้ค่า k_c ให้เหมาะสมจากตารางที่ 2.2 ซึ่งใช้ความเชื่อมั่นตั้งแต่ 50% ถึง 99.999999%

ตารางที่ 2.6 ปัจจัยความไว้วางใจได้

Reliability R	Standardized variable Z_r	Reliability factor k_c
0.5	0.000	1.000
0.9	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.090	0.753
0.999 9	3.719	0.702
0.999 99	4.265	0.659
0.999 999	4.753	0.620
0.999 999 9	5.199	0.584
0.999 999 99	5.612	0.551
0.999 999 999	5.997	0.520

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.

จ. ผลของอุณหภูมิ (Temperature, k_D)

ความสำคัญของปัจจัย k_D ก็เพื่อให้ผู้ออกแบบได้คำนึงถึงความสำคัญของอุณหภูมิต่อชิ้นส่วนถึงแม้จะมีการทดสอบกันอย่างมากมาย แต่ว่าค่า k_D ก็ยังไม่สามารถที่จะหาให้ได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้เมื่อมีการออกแบบชิ้นส่วนที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ก็จะต้องทำการทดสอบในห้องทดลองก่อนเสมอเพราะอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดการเคลื่อนตำแหน่ง (Dislocation) ได้ง่าย ทำให้ความต้านทานต่อการล้าของวัสดุลดลงและทำให้เกิดปัญหาการคืบ (Creep) เนื่องจากความเค้นคงที่ แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถประมาณ k_D ได้ดังนี้

$$k_D = 1.0 \quad \text{เมื่อ } T \leq 450^\circ \text{C (840}^\circ \text{F)} \quad (2.9)$$

$$k_D = 1 - 5.8 \cdot 10^{-3} (T - 450) \quad \text{เมื่อ } 450^\circ \text{C} < T < 550^\circ \text{C} \quad (2.10)$$

$$k_D = 1 - 3.2 \cdot 10^{-3} (T - 840) \quad \text{เมื่อ } 840^\circ \text{F} < T < 1020^\circ \text{F} \quad (2.11)$$

ข. ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (Stress concentration factor, k_s)

ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลมักจะมีรู ร่อง รอยบาก หรือความไม่ต่อเนื่องอื่น ๆ ทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจุดที่ทำให้เกิดความเค้นสูงเหล่านี้ จะเรียกว่า Stress Riser และบริเวณที่ทำให้เกิดความเค้นสูงสุดทางทฤษฎี

$$\sigma_{\max} = K_t \sigma_0 \quad \text{และ} \quad \tau_{\max} = K_s \tau_0 \quad (2.12)$$

โดย σ_0, τ_0 เป็นความเค้นที่คำนวณได้โดยใช้สมการความเค้นพื้นฐาน แต่เมื่อพิจารณาจุดความเค้นสูงของชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุเปราะ หรือเมื่อชิ้นส่วนถูกแรงกระทำซ้ำซ้อนกลับพบว่าวัสดุบางชนิดที่ไม่ไวต่อจุดความเค้นสูงและไม่ต้องใช้ค่าเต็มของปัจจัยจุดความเค้นทางทฤษฎี สำหรับวัสดุประเภทนี้จะใช้ปัจจัย K_t ที่ลดลงโดยคำนวณได้จากสมการ

$$K_t = \frac{\text{Endurance limit of notch free specimens}}{\text{Endurance limit of notched specimens}} \quad (2.13)$$

ปัจจัย K_t เป็นปัจจัยที่วัดความแข็งแรงต่อการล้าของวัสดุ ซึ่งหมายความว่าสามารถเชื่อมโยงปัจจัย k_e และ K_t ได้ดังนี้

$$k_e = \frac{1}{K_t} \quad (2.14)$$

ค่าความไวต่อร่อง (Notch sensitivity), q สามารถจะนิยามได้โดยใช้สมการ

$$q = \frac{K_t - 1}{K_t} \quad (2.15)$$

ดังนั้น

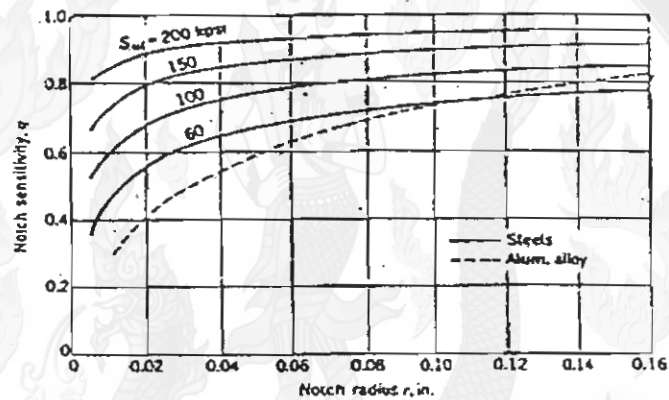
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (2.16)$$

โดย K_f = ค่าหน่วยแรงหนาแน่นเนื่องจากความล้า (Fatigue stress concentration factor)

K_t = ค่าหน่วยแรงหนาแน่นสถิตย์

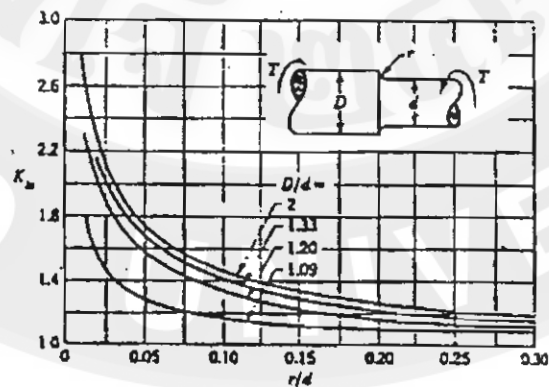
q = ความไวต่อรอยเจาะ (Notch sensitivity)

ความไวต่อร่องของวัสดุที่รับแรงในหารบิด สำหรับรัศมีร่องที่ใหญ่กว่า 0.16 นิ้ว ให้ใช้ค่า q ของร่องที่มีขนาดเท่ากับ 0.16 นิ้ว ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ค่าความไวต่อร่องของเหล็กและอลูมิเนียมภายใต้การดัด (Shigley, J.E., 1989)

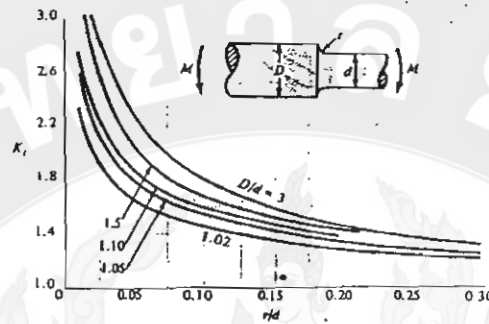
หาค่า K_t ได้โดยทราบค่า r/d และ D/d โดย r เป็นรัศมีของ Fillet และ d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเพลาสวนเล็ก ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 กราฟทางทฤษฎีของตัวประกอบความเค้นหนาแน่น K_t สำหรับเพลากลมมีบ่ารับแรง

ในทางบิด $\tau_0 = Tc/J$ เมื่อ $c = d/2$ และ $J = \pi d^4 / 32$ (Shigley, J.E., 1989)

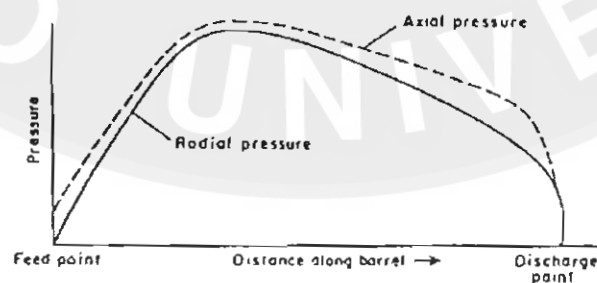
การหาค่า K_t ได้โดยทราบค่า r/d และ D/d โดย r เป็นรัศมีของ Fillet ของรอยต่อ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาใหญ่ และ d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาเล็ก ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 กราฟทางทฤษฎีของตัวประกอบความเค้นหนาแน่น, K_t สำหรับเพลลากลมมีป่าภายใต้การดัด $\sigma_o = Mc/I$ เมื่อ $c = d/2$ และ $I = \pi d^4 / 64$ (Shigley, J.E., 1989)

2.8.2 การออกแบบเพื่อหาแรงบิดที่เกิดกับเกลียวอัด

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความดัน ที่เกิดกับกระบอกอัดด้านในมีลักษณะดังภาพที่ 2.18 จากรูปเราสามารถประมาณความดันที่เกิดในร่องเกลียวอัด โดยความดันบนที่ผิวด้านในของกระบอกอัดนั้นมีอยู่สองแนว คือแนวรัศมีและแนวตามแกนเกลียวอัด ในการวัดความดันที่เกิดทั้งสองแนวนั้นสามารถวัดได้โดยการใช้ Strain gauge แล้วนำค่าความเครียดที่วัดได้จาก Strain gauge มาคำนวณย้อนกลับเป็นความดันที่เกิดบนผิวด้านในของกระบอกอัด จากความดันที่คำนวณได้นำมาหาความดันเฉลี่ย โดยความดันเฉลี่ยที่ได้จะมีอยู่สองแนวด้วยกัน ต่อมาคิดเสมือนว่าบนเกลียวอัดเกิดความดันในร่องเกลียวอย่างสม่ำเสมอและมีค่าเท่ากับความดันเฉลี่ยที่หาได้ แล้วนำมาพิจารณาเพื่อหาแรงบิดที่ต้องการ โดยอาศัยหลักความเสียดทานระหว่างส่วนผสมกับร่องเกลียวในการหาแรงบิดนั้นจะแยกการพิจารณาเป็น 4 ด้าน ดังนี้



ภาพที่ 2.18 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดกับกระบอกอัดด้านใน (Judson M. Harper.)

ก. ด้านสันเกลียวด้านซ้าย

จากการพิจารณาความดันที่เกิดบนสันเกลียวด้านซ้ายจะสังเกตเห็นว่ามีทิศตั้งฉากกับผิวของสันเกลียว ดังนั้นก็จะได้แรงปฏิกิริยาบนผิวสันเกลียวได้ ดังนั้นจึงสามารถหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดบนสันเกลียวได้ โดยพิจารณาทีละครั้ง Lead ดังสมการ 2.17 และ 2.18

$$\text{แกน Z จะพบว่า} \quad \Sigma F_z = N = \bar{P}A = \frac{\bar{P}h}{2} \sqrt{p^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \quad (2.17)$$

$$\text{แกน X จะพบว่า} \quad \Sigma F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P}h}{2} \sqrt{p^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \quad (2.18)$$

ข. ด้านสันเกลียวด้านขวา

พิจารณาความดันที่เกิดบนสันเกลียวด้านขวาพบว่า ความดันมีทิศตั้งฉากกับพื้นที่ผิวของสันเกลียวด้านขวา ดังนั้นจึงสามารถหาแรงปฏิกิริยาที่เกิดบนสันเกลียวได้และหาแรงเสียดทานบนเส้นเกลียวด้านขวาได้ โดยพิจารณาทีละครั้ง Lead ดังสมการ 2.19 และ 2.20

$$\text{แกน Z จะพบว่า} \quad \Sigma F_z = -N = \bar{P}A = \frac{\bar{P}h}{2} \sqrt{p^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \quad (2.19)$$

$$\text{แกน X จะพบว่า} \quad \Sigma F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P}h}{2} \sqrt{p^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \quad (2.20)$$

ค. ท้องร่องของเกลียว

พิจารณาความดันที่เกิดบนท้องร่องของเกลียวพบว่า ความดันมีทิศตั้งฉากกับพื้นที่ผิวของท้องร่องเกลียว ดังนั้นจึงสามารถหาแรงปฏิกิริยาที่เกิดบนท้องร่องเกลียวได้ และหาแรงเสียดทานบนท้องร่องเกลียวได้ โดยพิจารณาทีละครั้ง Lead ดังสมการ 2.21 และ 2.22

$$\text{แกน Y จะพบว่า} \quad \Sigma F_y = N = \bar{P}A = \frac{\bar{P}(p-b)}{4} \sqrt{p^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \quad (2.21)$$

$$\text{แกน X จะพบว่า} \quad \Sigma F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P}(p-b)}{4} \sqrt{p^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \quad (2.22)$$

ง. ผนังด้านในของกระบอกอัด (Casing)

พิจารณาความดันที่เกิดบนผิวด้านในของกระบอกอัด (Casing) พบว่าความดันมีทิศตั้งฉากกับพื้นที่ผิวของผิวด้านในของกระบอกอัดเกลียว ดังนั้นจึงสามารถหาแรงปฏิกิริยาที่เกิดบนผิว

ด้านในของกระบอกอัดได้และหาแรงเสียดทานบนผิวด้านในของกระบอกอัดได้ โดยพิจารณาทีละครั้ง Lead ดังสมการ 2.23 และ 2.24

$$\text{แกน Y จะพบว่า} \quad \Sigma F_y = -N = \bar{P}A = \frac{\bar{P}(p-b)}{4} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - b)^2} \quad (2.23)$$

$$\text{แกน X จะพบว่า} \quad \Sigma F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P}(p-b)}{4} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - b)^2} \quad (2.24)$$

ต่อมาพิจารณาแรงรวมในแกน X, Y และ Z โดยพิจารณาทีละครั้ง Lead ดังนี้
แกน X เมื่อรวมแรงในแกน X ทั้งหมดพบว่า

$$\Sigma F_x = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - b)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \quad (2.25)$$

แกน Y เมื่อรวมแรงในแกน Y ทั้งหมดพบว่า

$$\Sigma F_y = 0 \quad (2.26)$$

แกน Z เมื่อรวมแรงในแกน Z ทั้งหมดพบว่า

$$\Sigma F_z = 0 \quad (2.27)$$

จะเห็นว่าผลรวมแรงในแกน X ก็คือแรงเสียดทานรวมในร่องเกลียวในครั้ง Lead นั้นเอง
ดังนั้นกำหนดให้ F_t เป็นแรงเสียดทานรวมในครั้ง Lead ดังนั้นจะได้ว่า

$$F_t = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - b)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \quad (2.28)$$

เมื่อแตกแรงให้อยู่ในแนวสัมผัสกับรัศมีของเพลลา (F_t) และขนานกับเพลลา (F_a) จะได้

$$F_a = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - b)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \sin \lambda \quad (2.29)$$

$$F_t = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - b)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \cos \lambda \quad (2.30)$$

จะเห็นว่าแรง F_s และ F_t เป็นแรงของครึ่ง Lead แต่เราต้องหาในหนึ่ง Lead เมื่อพิจารณาในลักษณะของเวกเตอร์พบว่า

$$\begin{aligned} \text{แรงบิด (T)} &= F_t(d_s - h) \\ &= \mu(d_s - h)NP\sqrt{P^2 + \pi^2(d_s - h)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \cos \lambda \quad (2.31) \end{aligned}$$

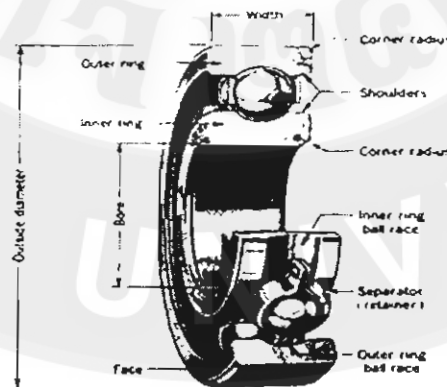
แรง Thrust ที่รับโดยแบริ่งแบบลูกกลิ้งเฉียง (F_{Tr})

$$F_{Tr} = \frac{\pi d_s^2 P}{4} \mu NP \sqrt{P^2 + \pi^2(d_s - h)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \sin \lambda \quad (2.32)$$

โดยมีทิศพุ่งไปทางด้านตรงข้ามกับทิศทางการไหลของวัสดุ

2.8.3 การเลือกใช้แบริ่งลูกกลิ้งกลม

แบริ่งลูกกลิ้งกลม (Rolling contact bearing) คือ แบริ่งชนิดที่รับแรงผ่านชิ้นส่วนที่เลื่อนผ่านกัน โดยที่ความผิดตอนเริ่มหมุนจะมีค่าประมาณสองเท่าของความผิดตอนหลังจากหมุนไปแล้ว แต่ความผิดในขณะนี้จะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบริ่งแบบ Sleeve แบริ่งต่าง ๆ จะผลิตขึ้นมาเพื่อทำการรับแรงในทิศทางแนวรัศมี (Radial) แรงในทิศทางแกนยาวของเพลา (Thrust) หรือแรงรวมระหว่างสองทิศทางนี้ ชื่อเรียกชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแบริ่งลูกกลิ้งกลมดังได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 ชื่อเรียกชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแบริ่งลูกกลิ้งกลม (Shigley, 1989)

แบริ่งลูกกลิ้งกลมขนาดมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปมักจะต้องรับแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนไปพร้อม ๆ กัน ความสามารถในการรับแรงที่ดูจากแคตตาล็อกมักจะบอกความสามารถ

ในการรับแรงในแวนร็คมีเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเราจึงใช้แรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแวนร็คมี (Equivalent radial load, F_e) ซึ่งมีผลกับอายุการใช้งานเหมือนกับแรงที่กระทำจริง สมการของ Anti-friction bearing manufacturers association (AFBMA) สำหรับแรงกระทำเทียบเท่าแบบแรงในแวนร็คมี สำหรับแบริ่งลูกกลิ้งกลมจะเป็นค่าสูงสุดระหว่างสองสมการดังต่อไปนี้

$$F_e = VF_r \quad (2.33)$$

$$F_e = XVF_r + YF_a \quad (2.34)$$

โดยที่ F_e = แรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแวนร็คมี (นิวตัน)

F_r = แรงกระทำในแวนร็คมี (นิวตัน)

F_a = แรงกระทำในแนวแกน (นิวตัน)

$V = 1$; วงแหวนในการหมุน และ 1.2 ; วงแหวนนอกการหมุน

X = ปัจจัยในแวนร็คมี จากตารางที่ 2.7

Y = ปัจจัยในแนวแกน จากตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ปัจจัยในการรับแรงในทิศทางตามแวนร็คมีเทียบเท่า

Bearing type	X_1	Y_1	X_2	Y_2
Radial – contact ball bearing	1	0	0.50	1.40
Angular – contact ball bearing with shallow angle	1	1.25	0.45	1.20
Angular – contact ball bearing with steep angle	1	0.75	0.40	0.75
Double – row and duplex ball bearing (type DB or DF)	1	0.75	0.63	0.40

ที่มา : Shigley. 1986: 400.

AFBMA ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับความสามารถรับแรงของแบริ่ง โดยไม่คำนึงถึงความเร็ว ซึ่งเรียกว่า ความสามารถในการรับแรงพื้นฐาน (Basic load rating, C_r) เป็นความสามารถของแบริ่งที่รับแรงคงที่ในแวนร็คมีได้โดยหมุนแหวนวงในหนึ่งล้านรอบ ซึ่งอาจเรียกได้ว่า Dynamic load rating, Basic load capacity หรือ Specific dynamic capacity ความสามารถในการรับแรงพื้นฐานนี้จะคำนวณได้จากสมการ

$$C_R = F_c \left[\left(\frac{L_D}{L_R} \right) \left(\frac{n_D}{n_R} \right) \left(\frac{1}{6.84} \right) \right]^{\frac{1}{a}} \left[\frac{1}{\left(\ln \left(\frac{1}{R} \right) \right)^{\frac{1}{1.17a}}} \right] \quad (2.35)$$

โดยที่ C_R = ความสามารถในการรับแรงของแปรง (นิวตัน)
 $a = 3$; แปรงลูกกลิ้งกลม
 $= 10/3$; แปรงลูกกลิ้งตรง
 R = ค่าความไว้วางใจ
 L_D = อายุการใช้งานในการออกแบบ (ชั่วโมง)
 L_R = ความเร็วรอบในการออกแบบ (รอบต่อนาที)
 n_D = อายุการใช้งานอ้างอิงจากแคตตาล็อก (ชั่วโมง)
 n_R = ความเร็วรอบอ้างอิงจากแคตตาล็อก (รอบต่อนาที)

สำหรับการเลือกขนาดแปรงจะพิจารณาจากค่าแรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแนวรัศมี (F_o) และความสามารถในการรับแรง (C_R) ที่คำนวณได้ โดยเลือกเอาค่าที่มากที่สุดแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า Load rating ในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ขนาดและความสามารถในการรับแรงพื้นฐานของแปรงลูกกลิ้งกลมเบอร์ 0.2

Bore, Mm	OD, Mm	Width, Mm	Fillet radius, Mm	Shoulder radius, m	Diameter, m D_H	Load rating, kN
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	25.0	41	9.43
25	52	15	1.0	30.0	47	10.8
30	62	16	1.0	35.0	55	14.9

ที่มา : Shigley. 1986 : 401.

2.8.4 การออกแบบสายพาน

สายพานเป็นชิ้นส่วนที่อ่อนตัวได้ประเภทหนึ่ง ตามปกติแล้วสายพานใช้ในการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกันสองอัน และเพลาสองอันจะต้องห่างกันเป็นระยะอย่างน้อยค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสายพานที่ใช้ สายพานมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ใช้ได้เมื่อระยะระหว่างศูนย์กลางยาวมาก
2. เนื่องจากสายพานลื่นและยืดได้ สัดส่วนความเร็วระหว่างเพลาสองอันจะไม่เป็นค่าคงที่ และจะไม่เท่ากับสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลีย์พอดี
3. เมื่อใช้สายพานแบน เราสามารถทำให้เกิดการทำงานเหมือนคลัทช์ได้ โดยการเลื่อนพูลีย์หรือเลื่อนสายพาน
4. เมื่อใช้สายพานตัว V เราสามารถจะเปลี่ยนสัดส่วนความเร็วได้โดยการใช้พูลีย์ที่ใช้สปริงกดด้านทั้งสองเข้าหากัน และเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลีย์จะเป็นฟังก์ชันของความตึงสายพานและเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนระยะศูนย์กลาง
5. เมื่อใช้สายพานมักจะต้องมีการปรับระยะศูนย์กลาง
6. ถ้าใช้พูลีย์หลายชั้นเราสามารถจะเปลี่ยนสัดส่วนความเร็วได้ในราคาถูกกว่าพูลีย์ชั้นเดียว

ก. สายพานตัว V

ทำจากเส้นเชือกและวัสดุประเภทผ้าซึ่งมักจะเป็นฝ้าย เรยอน หรือไนลอน แล้วฝังด้วยยาง สายพานตัว V มักจะใช้พูลีย์เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าและระยะระหว่างศูนย์กลางสั้นกว่าสายพานแบน สายพานตัว V มีประสิทธิภาพต่ำกว่าสายพานแบนเล็กน้อย แต่เราสามารถใช้งานได้หลายเส้นบนพูลีย์อันเดียว ซึ่งก็ทำให้สามารถขับชิ้นส่วนอื่นได้มาก สายพานตัว V ไม่มีการต่อเหมือนกับสายพานแบน เราจะสมมติว่าความผิดของสายพานเป็นค่าคงที่ตลอดโค้งของการสัมผัส และจะไม่คำนึงถึงแรงหนีศูนย์กลางของสายพาน สัดส่วนระหว่างความตึงทางด้านตึง F_1 และความตึงทางด้านหย่อน F_2 เหมือนกับเบรคแบบ Band นั่นก็คือ

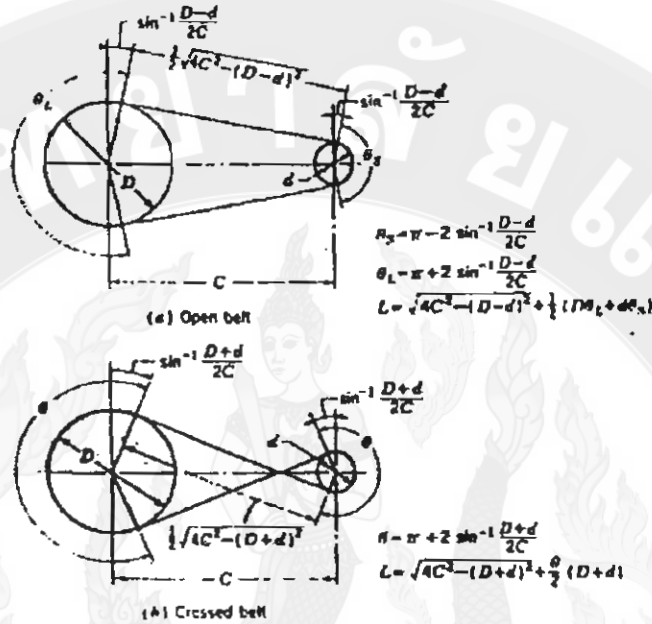
$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\theta} \quad (2.36)$$

เมื่อ F_1 = ความตึงของสายพานด้านตึง

F_2 = ความตึงสายพานด้านหย่อน

f = สัมประสิทธิ์ความผิด

θ = มุมสัมผัส



ภาพที่ 2.20 สายพานแบบเปิดและแบบไขว้ (Shigley, J.E, 1989)

สมการสำหรับมุมสัมผัส θ_s , θ_L และความยาวของสายพาน L

$$\theta_s = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2c} \right) \quad (2.37)$$

$$\theta_L = \pi + 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2c} \right) \quad (2.38)$$

$$L = \left(4C^2 - (D_p - d_p)^2 \right)^{1/2} + \frac{1}{2} (D_p \theta_L + d_p \theta_s) \quad (2.39)$$

เมื่อจะนำสายพานมาใช้งาน ตัวขับเคลื่อนจะหมุนในทิศทางที่ทำให้ด้านหย่อนอยู่ด้านบน เพราะจะทำให้มุมสัมผัสมากขึ้นในพูลี่ทั้งสองตัว ถ้าหากสายพานติดตั้งในลักษณะตั้งขึ้นหรือระยะทางระหว่างศูนย์กลางสั้น เราสามารถจะเพิ่มมุมสัมผัสด้วยการใช้พูลี่ตัวที่สามกดไว้บนสายพาน และการออกแบบสายพาน V จะทำโดยจำกัดความตึงสูงสุดให้เท่ากับความเค้นที่ยอมได้ สำหรับสายพานชนิดนั้น ๆ ภาคหน้าตัดและความยาวของสายพาน V มีมาตรฐานของ ANSI อยู่ทั้งหน่วย SI และหน่วย U.S. สายพานรถยนต์เป็นกรณีพิเศษซึ่งใช้มาตรฐานของทั้ง SI และ SAE ผู้ผลิตสายพานจะมีสายพานแคบสำหรับงานหนัก (Heavy duty conventional V-belt) ซึ่ง

เรียกว่าแบบ V และแบนงานเบา (Light duty belt) ซึ่งเรียกว่าแบบ L ตามปรกติ Erickson ได้ให้ตัวอย่างเอาไว้ เมื่อใช้สายพานแคบ 5 เส้น แทนสายพานธรรมดา 8 เส้น ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง 33 % เมื่อรวมราคาของพูลี่ขนาดเล็กกว่าเข้าไปด้วยสายพาน V เรียกชื่อโดยใช้ section และความยาวของสายพาน ตัวอย่างเช่น สายพานธรรมดาใช้งานหนัก D173 คือเป็นสายพาน section D และความยาวภายใน 173 นิ้ว ความยาวมาตรฐานสำหรับสายพานชนิดนี้อยู่ในภาคผนวกตารางที่ ก.1 ความยาวพิทช์ของสายพานหาได้โดยการบวกค่าจากภาคผนวกตารางที่ ก.2 กับความยาวภายใน

ดังนั้นสายพาน D173 มีความยาวพิทช์ $L = 173 + 3.3 = 176.3$ นิ้ว การคำนวณสัดส่วนความเร็วใช้ความยาวพิทช์หรือเส้นผ่านศูนย์กลางพูลี่ ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางพูลี่จะถือว่ามีหมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูลี่ ส่วนความยาวของสายพาน V ในหน่วยเมตริกจะแสดงเป็นความยาวพิทช์โดยตรงในภาคผนวกตารางที่ ก.3 มีขนาดมาตรฐานของสายพานแสดงอยู่ดังเช่นตัวอย่างสายพาน SI ที่ใช้สำหรับงานหนักแบบธรรมดาที่เรียกว่า 16C 1700 คือสายพานขนาด 16C ซึ่งมีความยาวพิทช์ 1,700 มิลลิเมตร มุมร่องของพูลี่จะบวกให้เล็กกว่ามุมของสายพานเล็กน้อย เพื่อให้เกิดความผิดขณะทำงานค่ามุมของพูลี่ที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดของสายพาน เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูลี่และมุมสัมผัส ถ้ามุมทำได้เล็กเกินไปจะทำให้ต้องใช้แรงมากในการดึงสายพานออกจากพูลี่ ค่ามุมที่เหมาะสมมักจะมีอยู่ในแคตตาล็อกของสายพาน

ขนาดพูลี่เล็กที่สุดที่ใช้ได้อยู่ในภาคผนวกตารางที่ ก.1 และกำลังทำงานที่อาจส่งผ่านได้ต่อเส้นของสายพานอยู่ในภาคผนวกตารางที่ ก.2 ตารางนี้จะช่วยในการเลือกหน้าตัดสายพานที่เหมาะสมต่อการใช้งานของแต่ละงานเพื่อที่จะให้ได้ผลดีที่สุด สายพาน V จะต้องทำงานที่ความเร็วค่อนข้างสูงความเร็วประมาณ 4,000 ฟุตต่อนาที เป็นความเร็วที่ใช้ได้ดี การทำงานมีปัญหาถ้าหากว่าสายพานถูกใช้ที่ความเร็วสูงกว่า 5,000 ฟุตต่อนาที หรือถ้าช้ากว่า 1,000 ฟุตต่อนาทีมาก ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรเลือกขนาดพูลี่ให้ความเร็วสายพานอยู่ประมาณ 4,000 ฟุตต่อนาที (20 เมตรต่อวินาที) ความยาวของสายพาน V หาได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$L_p = 2C + 1.57 (D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4c} \quad (2.40)$$

เมื่อ C = ระยะทางระหว่างศูนย์กลาง

D_p = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูลี่ตัวใหญ่

d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูเลย์ตัวเล็ก

L_p = ความยาวของพิทช์ของสายพาน

ระยะทางระหว่างศูนย์กลางยาว ๆ ไม่แนะนำให้ใช้สายพานตัว V เนื่องจากการสั่นสะเทือนในด้านหย่อนจะทำให้อายุการใช้งานของสายพานลดลง โดยทั่วไปแล้วระยะทางระหว่างศูนย์กลางไม่ควรจะมากกว่า 3 เท่า ของผลบวกของเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเลย์ทั้งสอง และไม่ควรจะเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเลย์ที่ใหญ่กว่า สายพานตัว V แบบเป็นข้อไม่ค่อยจะมีการสั่นสะเทือน และใช้ในงานที่ใช้ระยะทางระหว่างศูนย์กลางมากกว่าสายพาน V ธรรมดา

การเลือกสายพาน V จะเลือกอายุการใช้งานและการใช้งานไม่มีปัญหาเป็นหลัก มาตรฐาน ANSI/RMA-IP-1977 ได้บอกวิธีการเลือกสายพาน V ไว้เมื่อใช้งานในสภาพต่าง ๆ ซึ่งวิธีการเลือกสายพาน จะสรุปได้โดยการใช้สมการหาค่ากำลังงานที่ใช้งานได้ (Power Rating Equation) สมการที่ได้มาจากการทดลองทั้งหมดนี้ ใช้ได้ทั้งหน่วย U.S. และ SI ซึ่งก็คือ

$$H_r = \left[C_1 - (C_2/d_p) - C_3(rd_p)^2 - C_4 \log(rd_p) \right] (rd_p) + \left[C_2 r^{1-1/K_A} \right] \quad (2.41)$$

ค่าคงที่ C_1 ถึง C_4 ขึ้นอยู่กับขนาดภาคหน้าตัดของสายพานและอยู่ในภาคผนวกตารางที่ ก.4 สำหรับหน่วยทั้งสองระบบ

เมื่อใช้หน่วย U.S. ตัวแปรในสมการ 2.41 ก็คือ

H_r = แรงม้าที่ใช้งาน

d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูเลย์ตัวเล็กเป็นนิ้ว

สำหรับหน่วย SI

H_r = แรงม้าที่ใช้งานเป็นกิโลวัตต์

d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพูเลย์ตัวเล็กเป็นมิลลิเมตร

ค่าที่ใช้ร่วมของทั้งระบบ U.S. และ SI

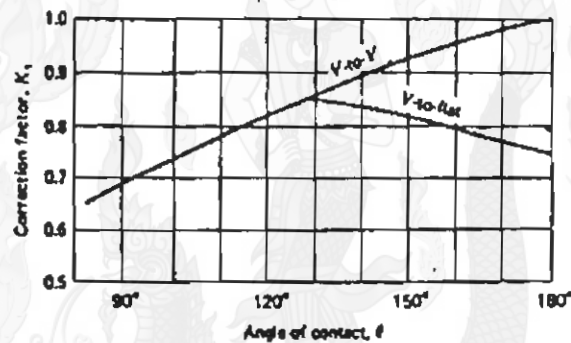
r = จำนวนรอบต่อนาทีของเพลาคความเร็วสูงหารด้วย 1,000

K_A = ปัจจัยสัดส่วนความเร็ว (ภาคผนวกตารางที่ ก.5)

สังเกตว่ากำลังงานที่ใช้งานที่คำนวณได้จากสมการ 2.41 นั้น สำหรับพูเลย์ที่มีมุมสัมผัสเป็น 180 องศาเท่านั้น และจะหาใช้ได้กับความยาวสายพานโดยเฉลี่ย ค่าปัจจัยแก้ไข K_1 แก้ไขสำหรับ H_r เมื่อมุมสัมผัสไม่เท่ากับ 180 องศา และจะหาได้จากภาพที่ 2.21 ค่าปัจจัยแก้ไขความยาว K_2 ได้จากภาคผนวกตารางที่ ก.1 และ ก.3 ซึ่งปัจจัยทั้งสองอันนี้ใช้ในสมการ

$$H'_r = K_1 K_2 H_r \quad (2.42)$$

โดย H_f คือกำลังงานใช้งานที่แก้ไขแล้วและนอกเหนือจากนั้น ลักษณะของเครื่องจักรที่ใช้ขับและถูกขับก็จะต้องคำนึงในการเลือกใช้สายพาน อย่างในกรณีของมอเตอร์แบบ Squirrel-cage เมื่อเกิดกรณีอย่างนี้ขึ้น จะต้องดูณกำลังงานใช้งานด้วยปัจจัยใช้งานเกินกำลัง (Overload service factor, K_o) ลักษณะของเครื่องจักรที่ถูกขับก็จะต้องคำนึงถึงในลักษณะเดียวกัน ค่าปัจจัยการใช้งานเกินกำลังอยู่ในภาคผนวกตารางที่ ก.6 และจะใช้เป็นตัวเลขคร่าว ๆ ในการเลือกใช้สายพานตัว V โดยทั่วไปแล้วควรใช้ค่าต่ำสุดในตารางเมื่อการใช้งานไม่เป็นแบบใช้ตลอดเวลา และใช้ค่าสูงสุดเมื่อมีการใช้งานตลอดเวลา ซึ่งหมายถึงใช้งานวันละประมาณ 8 ถึง 10 ชั่วโมง ปัจจัยอื่น ๆ อาจหาได้จากเอกสารของบริษัทผู้ผลิต



ภาพที่ 2.21 ค่าปัจจัยแก้ไขสำหรับมุมสัมผัส (Shigley, J.E., 1989)

2.8.5 อัตราขนถ่าย (Transmission rate)

$$I_v = 60 \frac{D^2 \pi}{4} s.n.\phi.k \quad (2.43)$$

เมื่อ I_v = อัตราการขนถ่ายเชิงปริมาตร (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวหนอนอนสกรู (เมตร)

S = ระยะพิทช์เกลียวหนอนอนสกรู (เมตร)

n = ความเร็วรอบของเกลียวหนอนอนสกรู (รอบต่อนาที)

ϕ = แฟคเตอร์ทางคุณสมบัติของวัสดุ

กรณีวัสดุขนถ่ายนั้นหนักและผิวแข็งคม $\phi = 0.125$

กรณีวัสดุขนถ่ายนั้นหนักและผิวไม่แข็งคมมากนัก $\phi = 0.25$

กรณีวัสดุขนถ่ายนั้นเบาและผิวแข็งคม $\phi = 0.32$

กรณีวัสดุขนถ่ายนั้นเบาและผิวไม่แข็งคมเลย $\phi = 0.4 - 0.5$

K = แฟคเตอร์ลดปริมาณขนถ่ายอันเนื่องมาจากชุดสกรูขนถ่ายตั้งเอียง

2.8.6 การคำนวณกำลังขับ

$$kW = \frac{2.78}{1000} \rho (\eta L + H) \quad (2.44)$$

เมื่อ kW = กำลังขับ (kW)

ρ = ความหนาแน่น (kg/m³)

η = ค่าคงที่ ตามวัสดุ (ตารางภาคผนวก ข.1)

L = ระยะทางลำเลียง (m)

H = ระยะทางลำเลียงในแนวตั้ง (m)

ฉะนั้นในการออกแบบ หากทราบอัตราป้อนที่ต้องการและเปอร์เซ็นต์ปริมาณทางวัสดุในราง รอบที่ใช้ก็สามารถระบุขนาดของใบเกลียวและความเร็ว

2.8.7 การคำนวณหาโมเมนต์บิด

$$P = \frac{2\pi M_t n}{60} = \frac{\pi M_t n}{30} \quad (2.45)$$

$$M_t = \frac{1000P30}{n\pi} = \frac{9500P}{n} \quad (2.46)$$

$$M_B = M_t C_B \quad (2.47)$$

เมื่อ P = กำลังงานระบุ

n = ความเร็วรอบเพลลา

M_t = โมเมนต์บิดระบุ

M_B = โมเมนต์บิดขณะรับภาระ

C_B = แฟกเตอร์งาน (เครื่องกลทำงานด้วยไฟฟ้า $C_B = 1.0 - 1.1$)

2.8.8 การคำนวณหาอัตราทดเกียร์

$$\text{อัตราทดเกียร์} = \frac{\text{ความเร็วรอบของเพลลาขับ}}{\text{ความเร็วรอบของเพลลาตาม}} \quad (2.48)$$

$$\text{อัตราทดเกียร์} = \frac{\text{จำนวนฟันของเฟืองตาม}}{\text{จำนวนฟันเฟืองขับ}} \quad (2.49)$$

บทที่ 3

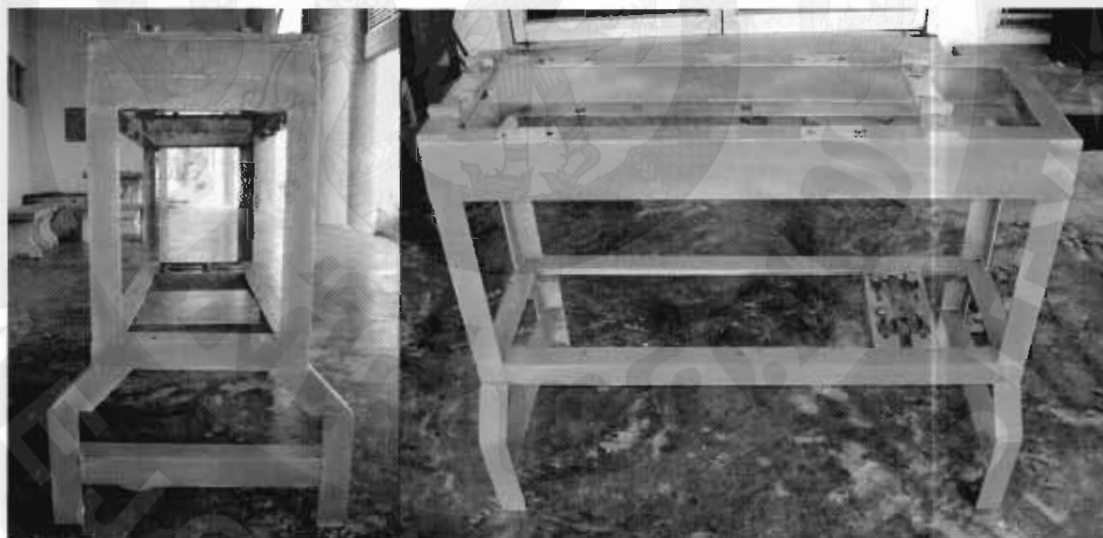
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว ซึ่งในการดำเนินการทดลองการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์จึงมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

3.1 การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

3.1.1 การออกแบบโครงเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

โครงของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว ใช้เหล็กฉากมาประกอบเป็นโครงเครื่องสำหรับติดตั้งมอเตอร์และตัวเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว ซึ่งมีขนาดความสูง 73.5 เซนติเมตร มีความกว้าง 35 เซนติเมตร และความยาว 100 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 โครงเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

3.1.2 การออกแบบเกลียวอัด

จากการศึกษาลักษณะเกลียวอัดแบบต่าง ๆ ได้ข้อสรุปว่าลักษณะเกลียวอัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางคอกที่มีระยะพิทช์ค่อย ๆ ลดลง โดยเกลียวอัดที่ออกแบบจะมีระยะพิทช์ 6, 5, 4.5, 3.5 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ยาว 45 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าน

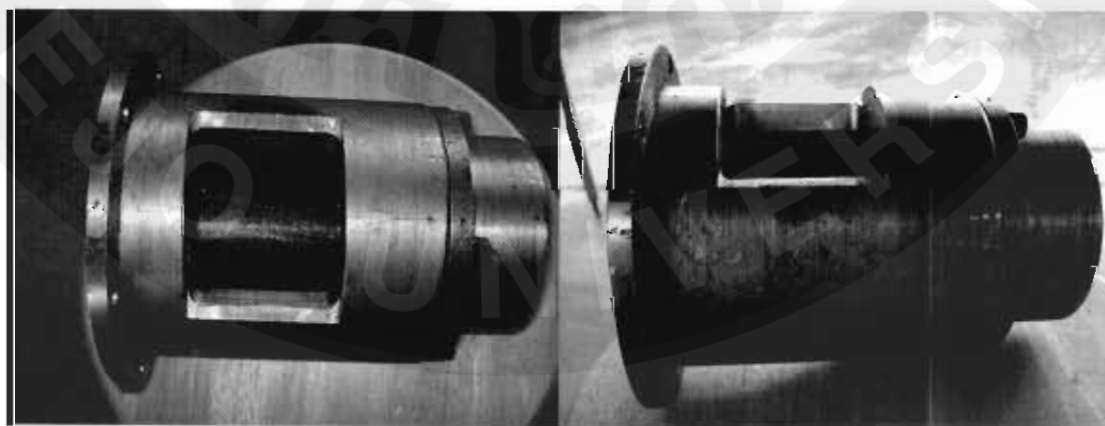
ศูนย์กลางของเกลียววัด 9.36 เซนติเมตร ความสูงของเกลียววัด 2 เซนติเมตร และมีความหนาของเกลียววัด 0.8 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ลักษณะเกลียววัด

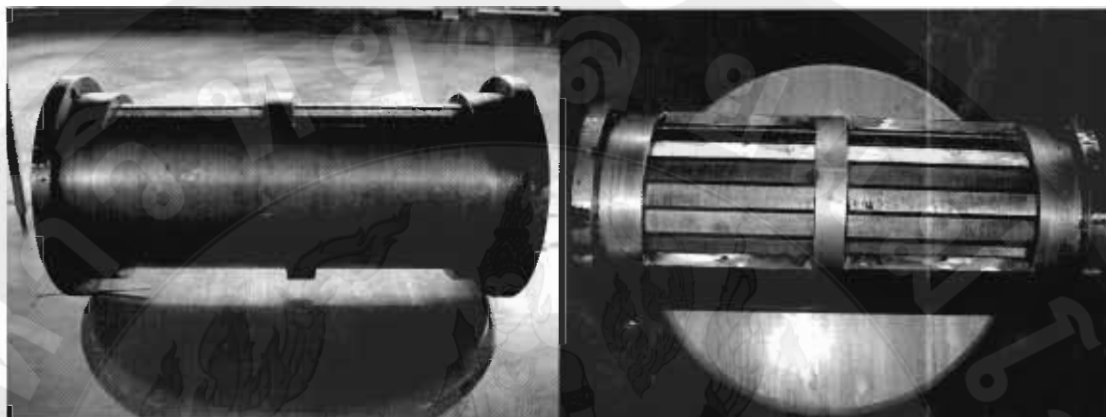
3.1.3 การออกแบบชุดกระบอกอัดและชุดรีดกาก

ก. การทำชุดกระบอกรับวัตถุดิบ ใช้เหล็กกล้าทรงกระบอกมีรูตรงกลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 15.5 เซนติเมตร กิ่งใส่ให้ได้รูปและเจาะรูตามแบบ แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ชุดกระบอกรับวัตถุดิบ

ข. การทำชุดกระบอกอัดตัวนอก ใช้เหล็กกล้าทรงกระบอกมีรูตรงกลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 32.5 เซนติเมตร กลึงไสให้ได้รูปและเจาะรูตามแบบ แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ชุดกระบอกอัดตัวนอก

ค. ชุดกระบอกสำหรับบริดกาสบูดำ ใช้เหล็กกล้าทรงกระบอกมีรูตรงกลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 16 เซนติเมตร กลึงไสให้ได้รูปและเจาะรูตามแบบ แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ชุดกระบอกสำหรับบริดกาสบูดำ

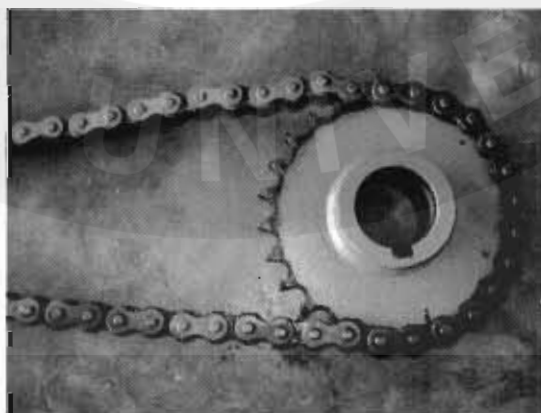
ง. แท่งเหล็กกล้าสำหรับใช้กรองสบู่ดำ ใช้แท่งเหล็กกล้ารูปสี่เหลี่ยมขนาด 14 x 15 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ไสลบมุมสองด้าน แสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แท่งเหล็กกล้าสำหรับใช้กรองสบู่ดำ

3.1.4 การออกแบบระบบส่งกำลัง

การออกแบบระบบส่งกำลังของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียวใช้มอเตอร์ ขนาด 1,492 วัตต์ (2 แรงม้า) ไฟ 3 เฟส เป็นต้นกำลัง จากต้นกำลังถ่ายทอดผ่านโซ่ไปยังเกลียวอัด แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ระบบส่งกำลังของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

3.2 การดำเนินการสร้าง

ในการดำเนินการสร้างเครื่องนั้นสามารถอธิบายขั้นตอนและวิธีการสร้างชุดชิ้นส่วนที่สำคัญได้ดังนี้

โครงเครื่อง เป็นชิ้นส่วนหลักของเครื่องเป็นชิ้นส่วนรองรับน้ำหนักและเป็นชิ้นส่วนที่จับยึดชิ้นส่วนที่สำคัญอื่น ๆ เข้าด้วยกัน โครงเครื่องทำจากเหล็กฉากขนาด 3 นิ้ว หนา 5 มิลลิเมตร เป็นส่วนใหญ่ ประกอบโดยการเชื่อมไฟฟ้า

ชุดบีบอัดน้ำมัน เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญมากในการบีบน้ำมัน ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแยกน้ำมันออกจากเมล็ดสับดูดำ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญภายในชุด 2 ส่วน ดังนี้

ก. กระจบอัด ทำหน้าที่รับแรงอัดที่จะเกิดจากเกลียวอัดถ่ายทอดผ่านเมล็ดสับดูดำไปยังผนังภายในกระจบอัด วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กเพลลาหัวแดง เพลากลวง ผ่านการกลึงและการไสเป็นส่วนใหญ่ลักษณะของชิ้นส่วนดังแสดงในแบบ

ข. เกลียวอัด ทำหน้าที่ลำเลียงเมล็ดสับดูดำให้เกิดการเคลื่อนที่ภายในกระจบอัดในขณะเดียวกันนั้น เนื่องจากแกนเกลียวมีลักษณะเรียวปลายก็จะทำหน้าที่อัดเมล็ดสับดูดำไปด้วย ชุดป้อนเมล็ดสับดูดำ ทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 มิลลิเมตร ผ่านขั้นตอนการพับและเชื่อมปิด

ถาดรองน้ำมันและกาก โครงถาดทำมาจากเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร และถาดทำมาจากเหล็กแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร โดยผ่านการพับ การเคาะตัดให้เข้ากับโครงถาดและการบัดกรีปิดรอยต่อรอยรั่วต่าง ๆ

3.3. การออกแบบและการทดสอบ

3.3.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

เกลียวป้อน (Screw Feed) เกลียวป้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของวัสดุออกจากถังบรรจุ อย่างสม่ำเสมอ เกลียวป้อนมักจะบรรจุอยู่ในรางปิด มี 4 ชนิดแบ่งตามระยะพิต คือ ระยะพิตมาตรฐาน ระยะพิตสั้น เกลียวเรียวมาตรฐาน และระยะพิตสั้นเกลียวเรียว

ระยะพิตมาตรฐานนั้น ใช้กับวัสดุที่เคลื่อนไหลง่าย และช่องทางออกวัสดุจากถังควรอยู่บริเวณช่วงหลังของใบเกลียว เพื่อป้องกันการเกิดเขตไม่ถ่ายเทวัสดุในถังและช่วงเปิดจากถังไม่

ควรยาวกว่า 2 เท่าของระยะพิท ส่วนระยะพิทสั้นใช้ในกรณีที่วัสดุเคลื่อนไหลไม่สะดวก มีโอกาสที่จะทำให้เกิดยวป้อนที่ภาระเกินได้ง่าย

ส่วนเกลียวเร็วใช้ในการป้อนวัสดุที่เป็นก้อน สามารถรับวัสดุจากถังบรรจุหรือถังพักได้ตลอดความยาวของเกลียวเร็ว โดยไม่เกิดเขตไม่ถ่ายเท เกลียวแบบนี้กินกำลังงานน้อยกว่าเกลียวปกติที่มีระยะวัสดุจากถังเท่ากัน

ในปัจจุบันมีเกลียวป้อนที่ใช้เพลาร็วแทนเกลียวเร็ว ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้เกิดเขตไม่ถ่ายเทในราง เกลียวป้อนซึ่งเกลียวลำเลียงต่อออกมานั้นต้องมีชุดแขวนต่อกรณีอย่างนี้ เกลียวลำเลียงจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า

3.3.2 การคำนวณปริมาณขนถ่ายวัสดุ

$$C = \frac{\pi}{4} (D_s^2 - D_p^2) P \left(\frac{K}{100} \right) N \Phi \quad (3.1)$$

เมื่อ C = ปริมาณขนถ่ายวัสดุ (m³/hr.)

K = สัมประสิทธิ์ปริมาณวัสดุในรางเกลียว (ตารางภาคผนวก ข.1)

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางใบเกลียว

D_p = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเพลาร็ว

P = ระยะพิทช์

N = ความเร็วรอบเกลียวลำเลียงขึ้นกับเส้นผ่านศูนย์กลางใบเกลียว

$$N = \frac{45}{\sqrt{D_s}} \quad \text{หรือ} \quad N = \frac{V}{P} \quad (3.2)$$

เมื่อ V = ความเร็วการลำเลียงวัสดุ

สามารถประมาณค่า V ได้จากความเร็วที่เหมาะสมตามสมบัติของวัสดุดังนี้

V = 0.3-0.5 m/s กรณีไหลง่ายเบาไม่แข็งคม เช่น อาหารสัตว์และเมล็ดพืช

V = 0.2-0.3 m/s กรณีไหลคั่งตัวปานกลาง แข็งคมปานกลางเป็นเม็ดหรือก้อนขนาดเล็ก เช่น เกลือเม็ด ซีลี้อย

V = 0.1 m/s กรณีวัสดุแข็งคมมาก ขนาดโตไหลยาก เช่น หวาย กววด

3.3.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดสอบ

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่บีบอัดได้} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันสบู่ดำที่บีบอัดได้(กรัม)}}{\text{น้ำหนักสบู่ดำสภาพปกติ(กรัม)}} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำมันในกาก} = \frac{\text{น้ำหนักสบู่ดำก่อนอบ} - \text{น้ำหนักสบู่ดำหลังอบ}}{\text{น้ำหนักสบู่ดำก่อนอบ}} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{สมรรถนะในการทำงานของเครื่องบีบน้ำมันสบู่ดำ} = \frac{\text{ปริมาณการป้อนโดยน้ำหนัก}}{\text{เวลาที่ใช้บีบอัด}} \quad (3.5)$$

$$\text{ความสามารถในการทำงาน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันสบู่ดำที่บีบอัดได้(กิโลกรัม)}}{\text{เวลาในการทำงาน(ชั่วโมง)}} \quad (3.6)$$

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือ

การทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว โดยการนำเมล็ดสบู่ดำใส่ลงไปในกรวยของเครื่องสกัดน้ำมัน โดยเมล็ดสบู่ดำจะถูกลำเลียงเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งจะถูกลำเลียงไปโดยเกลียวและถูกบีบอัดบริเวณส่วนปลายของเกลียว ซึ่งในการทดสอบดังกล่าวมีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ ดังนี้

3.4.1 เครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว ซึ่งมีขนาดความสูง 73.5 เซนติเมตร มีความกว้าง 35 เซนติเมตร และความยาว 100 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 3.8



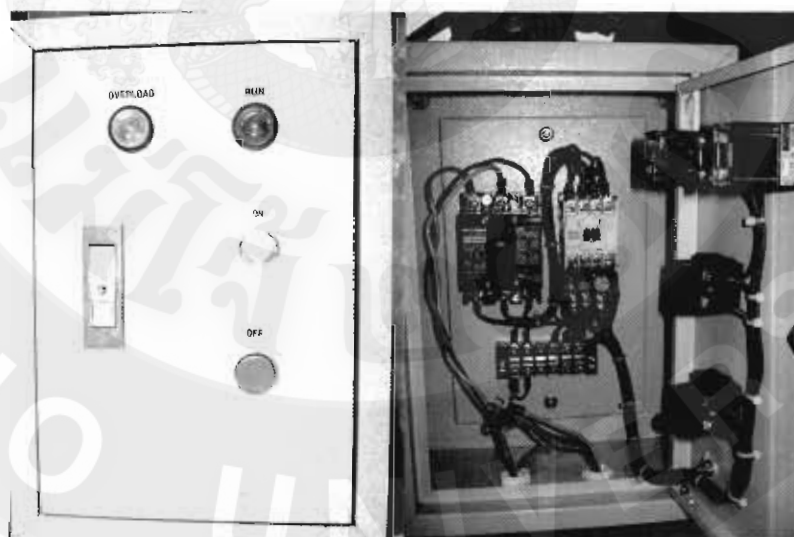
ภาพที่ 3.8 เครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

3.4.2 ชุดกระบอกอัดและชุดรีดกาก ใช้เหล็กกล้าทรงกระบอกมีรูตรงกลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 67 เซนติเมตร กิ่งไสให้ได้รูปและเจาะรูตามแบบ แสดงดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ชุดกระบอกอัดและชุดรีดกาก

3.4.3 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัตโนมัติ แสดงในภาพ 3.10 จะทำหน้าที่ในการเปิดปิดการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งภายในประกอบไปด้วย เบรกเกอร์ขนาด 10 A แมกเนติกสวิตช์ ชุดลิเรียร์ ไฟแสดงสถานะการทำงาน เป็นต้น



ภาพที่ 3.10 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัตโนมัติ

3.4.4 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ แสดงในภาพที่ 3.11 จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยปรับเปลี่ยนความเร็วรอบตามความต้องการของผู้ใช้



ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

3.4.5 มอเตอร์ไฟฟ้า ยี่ห้อ VENZ Super Power แสดงในภาพที่ 3.12 โดยใช้มอเตอร์
ขนาด 2 hp. Type SP-3 ไฟ 220/380 V 50Hz AMP 7/4 RPM 2,950 เป็นต้นกำลัง



ภาพที่ 3.12 มอเตอร์ไฟฟ้า

3.4.6 เฮกเซน (ภาพที่ 3.13) มีสูตรทางเคมี $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ โดยใช้ในการสกัดน้ำมันที่ยังเหลือตกค้างในกากสบู่ดำที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียวแล้ว



Isohexane



ภาพที่ 3.13 เฮกเซน

3.4.5 เมล็ดสบู่ดำ รูปร่างป้อมยาว (oblong) รูปกระสวยแกมขอบขนาน แบนข้าง กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1.7 เซนติเมตรโดยประมาณ เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ จัดเป็นพวกมีเยื่อหุ้มเมล็ด (albuminous seed) โดยเยื่อ (albumin) นูอยู่ภายในเป็นที่เก็บสะสมน้ำมัน (oil) และสารเคอร์คิวทิน (curcin) ส่วนของเนื้อใน (endosperm) และคัพภะ (embryo) มีสีขาว แต่ละเมล็ดมีน้ำหนักประมาณ 0.6 กรัม แสดงในภาพ 3.14



ภาพที่ 3.14 เมล็ดสบู่ดำ

3.5 วิธีดำเนินการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว เมื่อสร้างเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล โดยรายละเอียดในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.5.1 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 3.8) ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว เมล็ดสบูดำ ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ให้พร้อมสำหรับการทดสอบ

3.5.2 การทดสอบการทำงาน ในการทดสอบการสกัดน้ำมันสบูดำ ได้ทำการทดสอบหาความเหมาะสมในการสกัดน้ำมันสบูดำ เพื่อศึกษาถึงปริมาณน้ำมันสบูดำที่ได้ โดยทำการทดสอบที่ 5 ระดับความเร็ว ดังนี้

1. ความเร็วรอบเกลียวอัด 20 รอบต่อนาที
2. ความเร็วรอบเกลียวอัด 30 รอบต่อนาที
3. ความเร็วรอบเกลียวอัด 40 รอบต่อนาที
4. ความเร็วรอบเกลียวอัด 50 รอบต่อนาที
5. ความเร็วรอบเกลียวอัด 60 รอบต่อนาที

3.5.3 ขั้นตอนการทดสอบ โดยการทดสอบ มีการดำเนินงานโดยสังเขปดังนี้

- 1). ทดสอบการทำงานเบื้องต้น เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำ
- 2). ทดสอบการทำงานจริง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันสบูดำ
- 3). ทดสอบการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำที่ระดับความเร็วรอบ 5 ระดับ
- 4). ทำการเปรียบเทียบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำที่พัฒนาแล้วกับที่มีอยู่เดิม

3.5.4 ด้านการวิเคราะห์ผล

- 1). เปรียบเทียบเปรียบเทียบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำที่พัฒนาแล้วกับที่มีอยู่เดิม
- 2). หาความสามารถในการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำ
- 3). อัตราการการผลิตน้ำมันสบูดำ
- 4). ประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

3.6 สถานที่ทำการวิจัย

3.6.1 สถานที่ทำโครงการงาน

1. อาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140
2. อาคารนำร่องและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140

3.6.2 ระยะเวลาทำโครงการงาน

ระยะเวลาทำโครงการงานเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2549 ถึงเดือนตุลาคม 2550

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการนี้ได้ทำการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัตโนมัติ โดยทำการพัฒนาและทดสอบตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2549 ถึงวันที่ 30 กรกฎาคม 2551 ผลการการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัตโนมัติ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การออกแบบ

เครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น มีส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัตโนมัติ

ส่วนประกอบหลัก	คุณลักษณะ
1. โครงของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัตโนมัติ	สูง 73.5 เซนติเมตร กว้าง 35 เซนติเมตร และยาว 100 เซนติเมตร
2. เกลียวอัด	มีลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่มีระยะพิทช์ค่อย ๆ ลดลง
3. ชุดกระบอกรับวัตถุดิบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 15.5 เซนติเมตร
4. ชุดกระบอกอัดตัวนอก	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 32.5 เซนติเมตร
5. ชุดกระบอกสำหรับรีดกากสบูดำ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 16 เซนติเมตร
6. แท่งเหล็กกล้าสำหรับใช้กรองสบูดำ	ขนาด 14 x 15 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ไสลบมมุมสองด้าน
7. มอเตอร์	ขนาด 1,492 วัตต์ (2 แรงม้า)
8. เฟืองจำนวน 25 ฟัน	ขนาด 10 เซนติเมตร (4 นิ้ว)
9. ชุดควบคุมการทำงานเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำ	ขนาด 25 x 45 เซนติเมตร ประกอบด้วยเบรกเกอร์ขนาด 10 A แมกเนติกสวิตช์ ชุดลิเนย์ และไฟแสดงสถานะการทำงาน

4.2 ศึกษาเมล็ดสบูดำที่ใช้ในการทดสอบ

จากการศึกษาขนาดและน้ำหนักของเมล็ดสบูดำ โดยการสุ่มเมล็ดสบูดำจำนวน 50 เมล็ดนำมาชั่งน้ำหนักทีละเมล็ดด้วยตาชั่ง และทำการวัดขนาดของความกว้าง ความยาว ความหนา และความหนาเปลือก ด้วยเวอร์เนีย และทำการแกะเอาเมล็ดในมาชั่งน้ำหนักและทำการวัดด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (รายละเอียดแสดงในตารางภาคผนวก ข.1)

ตารางที่ 4.2 ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักเฉลี่ยของสบูดำ 1 เมล็ด

ประเภท	ความกว้าง	ความยาว	ความหนา	น้ำหนัก
เต็มเมล็ด	11.48	18.42	8.95	0.83
เมล็ดใน	9.30	15.10	6.10	0.53
เปลือก	-	-	0.56	-

จากการศึกษาน้ำหนักต่อ 100 เมล็ดของสบูดำ เพื่อให้ทราบน้ำหนักของสบูดำจำนวน 100 เมล็ด โดยเฉลี่ย โดยนับจำนวนเมล็ดสบูดำ 100 เมล็ดแบบสุ่มนำมาชั่ง คำนวณได้ดังนี้ (รายละเอียดแสดงในตารางภาคผนวก ข.2)

น้ำหนักเมล็ดสบูดำโดยเฉลี่ย 100 เมล็ด เท่ากับ 61.32 กรัม
เมล็ดสบูดำที่ใช้ในการทดสอบโดยเฉลี่ย 100 กรัม เท่ากับ 160 เมล็ด

จากการศึกษาเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของเปลือกและเนื้อในเมล็ดสบูดำ โดยชั่งเมล็ดสบูดำ 100 กรัม แยกเปลือกออก แล้วชั่งน้ำหนัก หาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเปลือกเมล็ดใน รายละเอียดแสดงในตารางภาคผนวก ข.3

น้ำหนักเปลือก เท่ากับ 38.71 เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักเมล็ด เท่ากับ 61.28 เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักเปลือกต่อน้ำหนักเมล็ดในเท่ากับ 0.63 เปอร์เซ็นต์

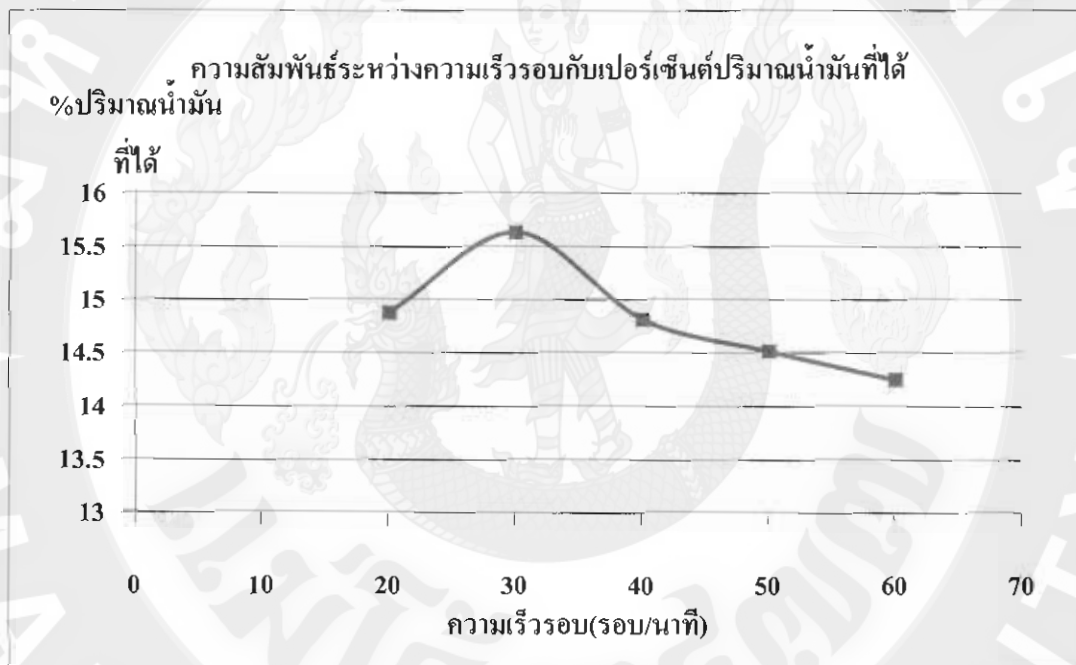
จากการศึกษาค่าความชื้นวัสดุ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ได้ถึงคุณภาพของเมล็ดได้ส่วนหนึ่ง และมีผลกับการที่จะนำเมล็ดสบูดำไปบีบสกัด ได้ผลออกมาดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความชื้นของเมล็ดสบูดำ

ประเภท	เวลาที่ใช้ในการอบ(นาที)	%ความชื้นก่อนการบีบสกัดน้ำมัน	
		%มาตรฐานเปียก	%มาตรฐานแห้ง
เต็มเมล็ด	0	8.08	8.79
	15	7.67	8.31
	30	7.85	8.52
เมล็ดใน	0	8.96	9.84
	15	8.31	9.06
	30	8.08	8.79

4.3 ศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

จากการทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว จึงได้ทำการทดสอบเพื่อหาช่วงความเร็วที่เหมาะสมในการบีบสกัดเมล็ดสบู่ดำ ซึ่งเมล็ดสบู่ดำที่ใช้ในการทดสอบได้ทำการสุ่มไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่า เมล็ดสบู่ดำที่ใช้ในการทดสอบมีปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 18 % โดยน้ำหนัก และในการทดสอบจะใช้เมล็ดสบู่ดำแบบเมล็ดเต็ม จะได้ความสัมพันธ์ของความเร็วกับปริมาณน้ำมัน (รายละเอียดแสดงในตารางภาคผนวก ข.4) เพื่อให้ทราบความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ



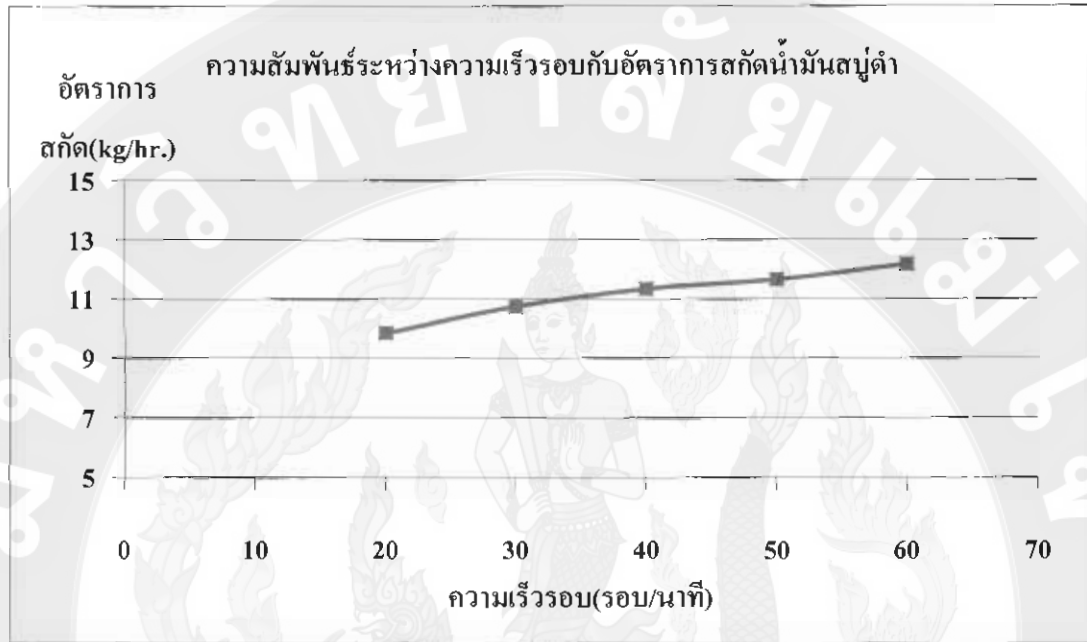
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันที่ได้

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วในการบีบสกัดที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงสุดคือ 30 รอบ/นาที ซึ่งจะได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยที่ 312.67 กรัม (15.63%) รองลงมาคือความเร็วรอบที่ 20 รอบ/นาที และ 40 รอบ/นาที ดังนั้นความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียวเครื่องนี้ คือ ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที

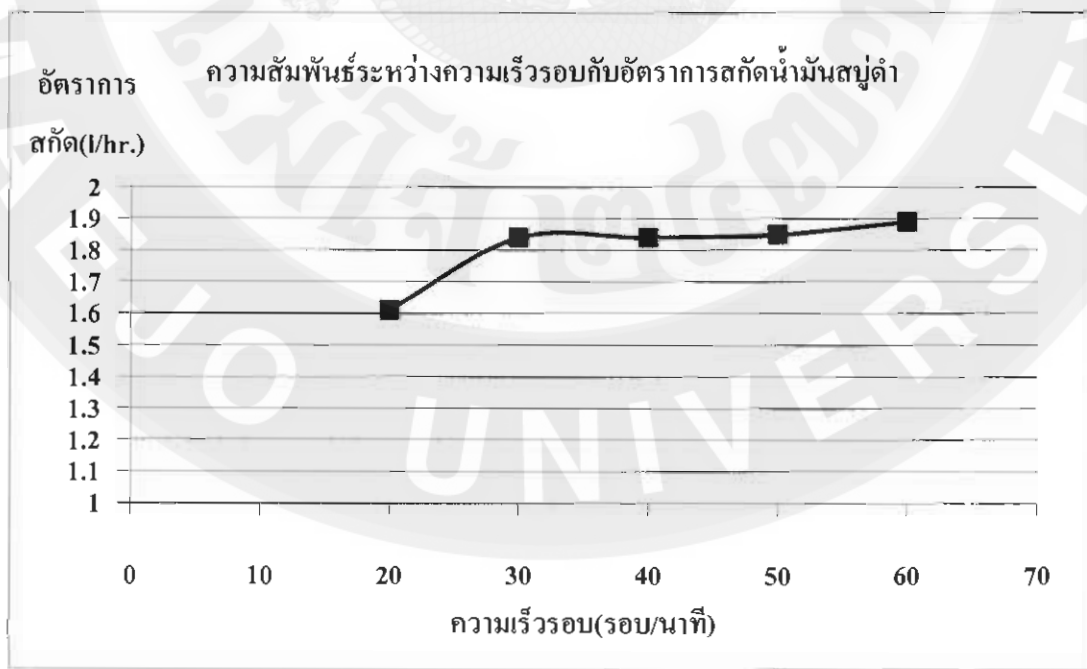
4.4 ศึกษาความสามารถในการสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

จากภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วในการบีบสกัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการสกัดน้ำมันสบู่ดำเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยความเร็วรอบที่ 20, 30, 40, 50 และ 60 รอบ/นาที จะให้อัตราการสกัดเป็น 9.85, 10.75, 11.33, 11.65 และ 12.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ

หรือคิดเป็นปริมาณน้ำมันสบู่อัดที่ได้เป็น 1.61, 1.84, 1.84, 1.85 และ 1.89 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ (รายละเอียดแสดงในตารางภาคผนวก ข.5)



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการสกัดน้ำมัน (มีหน่วยเป็น kg/hr.)



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการสกัดน้ำมัน (มีหน่วยเป็น l/hr.)

และจากการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการบีบสกัดน้ำมันสบูดำที่ได้ คือที่ 30 รอบ/นาที จะทำให้ทราบถึงสมรรถนะในการทำงานของเครื่องบีบน้ำมันสบูดำเครื่องนี้ คือ 10.75 กิโลกรัม/ชั่วโมง และทราบถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว คือ 1.84 ลิตร/ชั่วโมง ทั้งนี้ได้ค่าความสามารถในการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวมีค่าน้อย เนื่องจากเมล็ดสบูดำที่ใช้ในการทดสอบมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันอยู่น้อยคือ มีเพียง18%โดยน้ำหนัก และยังมีน้ำมันบางส่วนตกค้างไปกับกากสบูดำและเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำ

4.5 ศึกษาเปอร์เซ็นต์น้ำมันสบูดำที่สกัดได้และเปอร์เซ็นต์น้ำมันสบูดำที่เหลือในกาก

จากการทดสอบบีบสกัดน้ำมันสบูดำด้วยเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวดังกล่าว พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำมันสบูดำที่ได้ โดยใช้ความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที คือ 15.63% โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดสบูดำจะเห็นว่า มีน้ำมันสบูดำตกค้างไปกับกากสบูดำและอุปกรณ์เพียง 2.37%โดยน้ำหนัก

ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลือในกากสบูดำนั้น ทางผู้วิจัยได้นำไปสกัดด้วยสารละลายโดยใช้เอทเธนเป็นตัวทำละลาย พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลือในกากสบูดำคือ 1.79% โดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนั้นจะทำให้ทราบอีกว่าน้ำมันสบูดำที่เหลืออีก 0.58%โดยน้ำหนักจะตกค้างอยู่กับเครื่องบีบสกัดน้ำมันสบูดำ

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์น้ำมันสบูดำที่เหลือในกาก (ใช้ความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที)

ส่วนของพืชที่นำมาสกัด	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักของน้ำมันที่สกัด ได้ (กรัม)	%น้ำมันสบูดำ ที่เหลือในกาก
1. กากเมล็ดสบูดำรวมเปลือก			
ครั้งที่ 1	1,597.95	28.78	1.80
ครั้งที่ 2	1,601.91	26.53	1.66
ครั้งที่ 3	1,591.99	30.25	1.90
เฉลี่ย	1,597.28	28.52	1.79

4.6 การวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ในทางวิศวกรรมนั้นมีความสำคัญ เนื่องจากผลจากการประเมินที่ได้จะเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจถึงความคุ้มค่าของการลงทุน ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการประเมินค่าต้นทุนต่อหน่วยน้ำมันสบู่อัตโนมัติที่บีบสกัดได้ โดยใช้วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายรายปี (Annual Cost) ซึ่งจะคิดต้นทุนต่อหน่วยการผลิตโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายในส่วนของการขยายติดตั้ง ในการคำนวณจะอาศัยข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญดังนี้

1. ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance cost) กำหนดให้มีค่าเท่ากับปีละ 2 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเบื้องต้น
2. กำหนดให้อายุการใช้งานระบบเท่ากับ 10 ปี และให้ในแต่ละปีทำงาน 365 วัน วันละ 8 ชั่วโมง
3. อัตราส่วนลด (Discount rate) เท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้าชั้นดี (MLR) ของธนาคาร กสิกรไทย (อัตราดอกเบี้ยให้สินเชื่อของธนาคารพาณิชย์ ประจำวันที่ 2 เมษายน 2551 MLR เฉลี่ยร้อยละ 6.85 ต่อปี ที่มา: <http://www.bot.or.th>)
4. ค่าพลังงานไฟฟ้าคำนวณจากอัตราปกติของกิจการขนาดเล็ก (อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับเดือนตุลาคม 2543 เป็นต้นไป ที่มา: <http://www.pea.or.th>)
5. กำหนดให้มูลค่าซากของระบบเท่ากับ 10% ของเงินลงทุน

ค่าใช้จ่ายรายปีที่พิจารณาจะประกอบไปด้วย เงินลงทุนรายปี (Investment Cost, C_c) ค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้พลังงาน (Energy Cost, C_e) ค่าใช้จ่ายในส่วนของการดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Cost, $C_{o\&m}$) และค่าใช้จ่ายในส่วนของการเชื้อเพลิงแก๊ส LPG (Fuel Cost, C_f) ดังนั้นผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นจะหาได้จาก

$$\text{ค่าใช้จ่ายรายปี, } C_p = C_c + C_e + C_{o\&m} + C_f$$

การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบ โดยรายการอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.5 ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายรายปี (Annual Cost) ดังนี้

ตารางที่ 4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย
โครงเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำ	1	ชุด	5,000
มอเตอร์ ขนาด 2 Hp 3 เฟส	1	ชุด	5,000
ชุดควบคุมเครื่อง	1	ชุด	7,500
ชุดเกลียวอัด	1	ชุด	13,000
ชุดระบอกรับวัตถุดิบ	1	ชุด	8,500
ชุดระบอกรัดตัวนอก	1	ชุด	9,000
ชุดระบอกรับรีดกากสบู่ดำ	1	ชุด	8,000
ชุดแท่งเหล็กกล้าสำหรับใช้กรองสบู่ดำ	1	ชุด	8,000
ชุดรับน้ำมันสบู่ดำ	1	ชุด	3,500
ชุดรับกากสบู่ดำ	1	ชุด	2,500
รวม			70,000

4.6.1. ค่าใช้จ่ายในส่วนของเงินลงทุนเบื้องต้น

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนของการลงทุนสร้างเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว พบว่ามีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น หักในส่วนของมูลค่าซากจะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_C = NC_{C,PW} \times CRF$$

โดยที่

$$NC_{C,PW} = C_{C,PW} \frac{S_k}{(1+i)^k}$$

$$NC_{C,PW} = 70,000 \frac{70,000 \times 0.1}{(1+0.685)^{10}}$$

$$= 69,962.06 \text{ บาท}$$

และสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละปีได้โดยอาศัยค่า capital recovery factor (CRF) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$CRF = \frac{i(1+i)^k}{(1+i)^k - 1}$$

$$CRF = \frac{0.06875(1 + 0.0685)^{10}}{(1 + 0.685)^{10} - 1}$$

$$= 0.1414$$

ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (C_c) จึงมีค่าเท่ากับ

$$C_c = 69,962.06 \times 0.1414$$

$$= 9,892.64 \text{ บาท/ปี}$$

4.6.2. ค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้พลังงาน (Energy Cost, C_e)

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบีบสกัดน้ำมันสบู่ดำ มีการใช้พลังงานในส่วนเครื่องต้นกำลังในการบีบสกัด หากทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ก็จะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 9.60 หน่วย/วัน (288 หน่วย/เดือน) สามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้ดังนี้

เมื่อคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 2.1 กิจการขนาดเล็ก จะคำนวณหามูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่จะจ่ายในแต่ละปีได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

$$150 \text{ หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)} = (150 \times 1.8047) = 270.70 \text{ บาท}$$

$$138 \text{ หน่วยแรก (หน่วยที่ 151 - 288)} = (138 \times 2.7781) = 383.38 \text{ บาท}$$

$$1.2 \text{ ค่าบริการ} = 40.90 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าฐาน} = 270.70 + 383.38 + 40.90 = 694.98 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (F)

$$\text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} = (288 \times 0.6886) = 198.32 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

$$\text{ภาษีมูลค่าเพิ่ม} = (694.98 + 198.32) \times 0.07 = 62.53 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในแต่ละเดือน} = (694.98 + 198.32 + 62.53) = 955.83 \text{ บาท}$$

$$\text{ดังนั้นค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่จะต้องจ่ายในแต่ละปี} = 955.83 \times 12 = 11,469.96 \text{ บาท/ปี}$$

4.6.3. ค่าใช้จ่ายในส่วนของการดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Cost)

ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการดำเนินการและบำรุงรักษาของการบีบสกัดน้ำมันสบูดำของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว ในแต่ละปี กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2% ของเงินในการลงทุนเบื้องต้น (70,000 Bht.) ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในส่วนของการดำเนินการและบำรุงรักษา} &= 0.02 \times 70,000 \\ &= 1,400 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปีหาได้จาก

$$\begin{aligned} C_P &= C_C + C_E + C_{O\&M} \\ &= 9,892.64 + 11,469.96 + 1,400 \\ &= 22,762.60 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

จากการคำนวณตลอดทั้งปีทำให้ทราบว่า เครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว มีปริมาณการบีบสกัดน้ำมันสบูดำต่อปี เท่ากับ 5,299.20 ลิตร/ปี ดังนั้นสามารถคำนวณต้นทุนการบีบสกัดน้ำมันสบูดำ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} C_{PU} &= \frac{C_P}{E_P} \\ \text{ต้นทุนการบีบสกัดน้ำมันสบูดำ} &= \frac{22,762.60}{5,299.20} \text{ บาท/ลิตร} \\ &= 4.30 \text{ บาท/ลิตร} \end{aligned}$$

จากการคำนวณต้นทุนการบีบสกัดน้ำมันสบูดำ พบว่า ต้นทุนต่อปริมาณน้ำมันสบูดำที่บีบสกัดได้ทั้งหมด มีต้นทุนการบีบสกัดที่ 4.30 บาทต่อลิตร

4.7 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่าความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวเครื่องนี้ มีความสอดคล้องกับการศึกษาของจีราพงศ์ (2550) ในการศึกษาเครื่องบีบน้ำมันสบูดำแบบสกรูเพรส โดยใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที

ความสามารถในการบีบสกัดน้ำมันสบูดำเฉลี่ย 15.63% ซึ่งมีค่ามากกว่าการศึกษาของอนุสรและอิทธิศักดิ์ (2550) ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบีบอัดน้ำมันสบูดำ โดยในการทดลองสามารถบีบอัดน้ำมันสบูดำได้เฉลี่ย 11.19%

มีสมรรถนะในการทำงานเฉลี่ย 10.75 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของจีราพงศ์ (2550) โดยมีค่าสมรรถนะในการทำงานเฉลี่ย 12.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น อายุในการเก็บรักษาเมล็ดที่จะใช้ในการบีบสกัด ปริมาณน้ำมันสบูดำในเมล็ด เป็นต้น ซึ่งจะมีผลต่อสมรรถนะในการทำงานของเครื่องบีบสกัด

ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 1.84 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของจีราพงศ์ (2550) โดยมีค่าความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 3.08 ลิตร/ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำมันสบูดำในเมล็ดที่ใช้ในการบีบสกัดมีปริมาณไม่เท่ากัน แต่เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันที่ตกค้างในกากสบูดำจะเห็นว่า มีน้ำมันตกค้างเพียง 2.37% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการศึกษาของ จีราพงศ์ (2550) ที่มีน้ำมันตกค้างในกากถึง 8% -

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว ซึ่งในการดำเนินการทดลองการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. น้ำหนักเมล็ดสบูดำโดยเฉลี่ย 100 เมล็ด เท่ากับ 61.32 กรัม และเมล็ดสบูดำที่ใช้ในการทดสอบโดยเฉลี่ย 100 กรัม เท่ากับ 160 เมล็ด
2. เมล็ดสบูดำ 100 กรัม มีน้ำหนักเปลือก 39.09 % น้ำหนักเมล็ด 60.97 % และน้ำหนักเปลือกต่อน้ำหนักเมล็ดใน 0.64 %
3. ความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียวเครื่องนี้ คือ ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที ซึ่งสามารถบีบสกัดน้ำมันได้ เฉลี่ยที่ 312.67 กรัม (15.63%)
4. สมรรถนะในการทำงานของเครื่องบีบน้ำมันสบูดำเครื่องนี้ คือ 10.75 กิโลกรัม/ชั่วโมง และความสามารถในการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันสบูดำด้วยระบบอัดเกลียว คือ 1.84 ลิตร/ชั่วโมง
5. เปอร์เซ็นต์น้ำมันสบูดำที่ได้เฉลี่ย 15.63% โดยน้ำหนัก เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลือในกากสบูดำเฉลี่ย 1.79% โดยน้ำหนัก และน้ำมันสบูดำที่เหลืออีก 0.58% โดยน้ำหนักจะตกค้างอยู่กับเครื่องบีบสกัดน้ำมันสบูดำ
6. ต้นทุนต่อปริมาณน้ำมันสบูดำที่บีบสกัดได้ทั้งหมด มีต้นทุนการบีบสกัดอยู่ที่ 4.30 บาทต่อลิตร

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป

1. ควรมีการศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันสบูดำ เพื่อให้ทราบถึงวิธีการผลิตที่ทำให้บีบสกัดน้ำมันสบูดำออกมามากที่สุด
2. ควรมีการศึกษานิดหรือรูปแบบของเกลียวอัดที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมัน และสกัดน้ำมันได้ในปริมาณมาก
3. ควรมีการศึกษาวีธีลดปริมาณน้ำมันที่ตกค้างในกากและชุดบีบสกัดให้น้อยที่สุด

บรรณานุกรม

- กระวี ตรีอานรรค. 2547. การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงาดิบด้วยวิธีการสกัดเย็น. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 180 หน้า.
- กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 2536. เครื่องจักรกลเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- จเร สดากร. 2527. สบู่ดำพืชศักยภาพสูงเพื่อพลังงานทดแทนของประเทศไทย. วารสารวิชาการเกษตร 2 : 67-72.
- จิราพงศ์ สายจันทร์, สมเกียรติ เกษีและเปรมศักดิ์ สารนอก. 2550. เครื่องบีบน้ำมันสบู่ดำ. เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง. สาขาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง (เทคโนโลยียานยนต์). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ชำนาญ ฉัตรแก้ว. 2534. การปรับปรุงพันธุ์พืชชั้นสูง. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ชำนาญ ฉัตรแก้ว. 2547. โครงการปลูกสวนป่า “สบู่ดำ” เพื่อพัฒนาพลังงานทดแทน โครงการเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ 72 พรรษา. วารสาร ส. มก. สัมพันธ์ (พฤศจิกายน) .13-22.
- ชำนาญ ฉัตรแก้ว. 2548. การศึกษาสบู่ดำเบื้องต้นในประเทศไทย. เอกสารประกอบการเสนอในการประชุมวิชาการ “น้ำมันสบู่ดำ” แหล่งพลังงานทดแทนใหม่. วันที่ 30 มีนาคม 2548. โรงแรมพลาซ่าแอทธินี กรุงเทพฯ. 2 หน้า.
- ดาเวศน์ กิตติโยภาส. 2548. สถานภาพปัจจุบันสบู่ดำ. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาจัดทำแผนและวิจัยส่งเสริมการปลูกสบู่ดำเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน. 6 พฤษภาคม 2548.
- ถาวร จันทโชติ. 2540. การสกัดและสมบัติของน้ำมันจากต้นปลาหูช้าง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประทีป พุทธิรัตน์, ศิริรัตน์ ราชฉวางและศุภฤกษ์ ธีระวัฒน์. 2546. เครื่องหีบน้ำมันมะพร้าว. เครื่องกล (เทคโนโลยีการเชื่อม). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ ธีระ สายศร. 2549. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปัทมา บุญเกษม. 2542. กระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาคั่ว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ : 122 หน้า. (วพ 175699)

- พิชัย สราญรัมย์ . 2549. การสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำ 3 วิธี. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท
- พิเชษฐ เทบ่ารุ่ง. 2549. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก. สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร สกลนคร.
- พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล และ อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์. 2549. เครื่องสกัดน้ำมันงา. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ระพีพันธ์ ภาสบุตร สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์ ไพจิตร จันทร์วงศ์ วีระศักดิ์ อนันบุตร มาลี ประภาวัต วิไล กาญจนภูมิ และอรพรรณ หวังดีธรรม. 2525. การใช้น้ำมันสบู่ดำเดินเครื่องยนต์ดีเซล. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- ระพีพันธ์ ภาสบุตร และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. 2533. นำพืชที่พบน้ำมัน 18 ชนิดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลควบคู่กับก๊าซชีวภาพ. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท
- รักษ์ พฤษชาติ. 2549. การปลูกและการพัฒนาสบู่ดำ. เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล. สำนักพิมพ์ นีออน บุ๊คมีเดีย.นนทบุรี.
- วรรณวิภา พ่วงเจริญ. 2546. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจของการผลิตน้ำมันสบู่ดำ เพื่อเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วิชัย กนกพิทยาทร และอุดมชัย จินะดิษฐ์ . 2547. สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้ น้ำมันสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก
- วิมลรัตน์ ศุกรินทร์, นาค โพธิ์แท่น และ มณฑิยาโร ไสมเกียรติ. 2530. การศึกษาอิทธิพลของการปลูกด้วยเมล็ดและท่อนพันธุ์ขนาดต่าง ๆ กันที่มีผลต่อผลผลิตสบู่ดำ. หน้า 67-80 ใน รายงานผลการวิจัยศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ปี 2529 พืชเศรษฐกิจ. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. ขอนแก่น.
- วิมลรัตน์ ศุกรินทร์ วิไลรัตน์ กุลพัชรานุกฤษ Okabe, T. และ มณฑิยาโร ไสมเกียรติ. 2531. การศึกษาปุ๋ยอัตราต่าง ๆ กันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตสบู่ดำ. ข้อมูลงานวิจัย ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

- วิมลรัตน์ ศุภรินทร์ มณฑะเชียร โสมภีร์ Goco, H. และ นาค ไพร์แท่น. 2533. การปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตของสบู่ดำโดยการฉายรังสีแกมมา. ข้อมูลงานวิจัย ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.
- สมนึก วีระกุลพิศุทธิ์. 2550. พัฒนาดันแบบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมบัติ ชินะวงศ์. 2548. สบู่ดำพืชทดแทนพลังงานที่มีศักยภาพ. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. Available :<http://158.108.200.11/blacksoap/blacksoap.pdf>
- สุรพงษ์ เจริญรัต. 2548. เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษในการประชุมเสวนาอภิการณวิจัยสบู่ดำ. กรมวิชาการเกษตร. 29 มิถุนายน 2548 ห้องประชุม 107 สถาบันวิจัยพืชไร่ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ.
- สุชาติ ไพศาลภูมิ และ สุรินทร์ กิติ. 2537. การศึกษาการบีบน้ำมันพืชแบบอัดด้วยสกรู. โครงการงานวิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุทธิพงษ์ พลอยสระศรี, รัฐพล เกิดแก้ว, ศิวพล สระนาค. 2550. เครื่องบีบน้ำมันเมล็ดถั่วลิสง. เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อนุสรณ์ อินประสาทร และอติศักดิ์ หลอดเงิน. 2550. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบีบน้ำมันจากสบู่ดำ. โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อาชัย พิทยภาคย์. นคร ทิพยาวงศ์ และวสันต์ จอมภักดี . 2545. การประเมินศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากพืชน้ำมันท้องถิ่น. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อาชัย พิทยภาคย์. นคร ทิพยาวงศ์ และวสันต์ จอมภักดี . 2546. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อัยยา กังสุวรรณ มนูน พรหมเดช. 2538. การสกัดน้ำมันจากหัวและไส้ของปลาหูช้าง. สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. การสัมมนาวิชาการ ระหว่างวันที่ 18-20 กันยายน 2538. ห้องประชุมใหญ่กรมประมง

- Aakko, P. 2004. AMFI Newsletter. October, issue no. 1. Amaugo, G.O. and Emosairue, S.O. 2003. The efficacy of some indigenous medicinal plant extracts for the control of upland rice stem borers in Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2 : 121-127.
- Becker, K. and Francis, G. 2000. Bio-diesel from *Jatropha* plantations on degraded land. Department of Aquaculture Systems and Animal Nutrition, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
- Heller, J. 1996. Physic nut (*Jatropha curcas* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, Germany and International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. Available : www.ipgri.cgiar.org/publications/pdf/161.pdf
- Joker, D. and J. Jepen. 2003. *Jatropha curcas* L. Seed Leaflet No.83. Danida Forest Seed Center, Denmark. 2 pages.
- Judson M. Harper. 1981. *Extrusion of Foods Volume 1, Agricultural and Chemical Engineering*. Colorado State University Fort Collins Co, CRC Press, Florida.
- Lele, S. 2005. The cultivation of *Jatropha curcas*. : www.svlele.com/jatropha_plant.htm.
- Shigley, J.E. 1986. *Mechanical Engineering Design*. First Metric Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Shigley, J.E. 1989. *Mechanical Engineering Design*. Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Stumpf E. and W. Muhlbauer. 2002. Plant-oil cooking stove for developing countries. *Boiling Point* No 48 2002 : 37-38. : www.ku-alumni.org (29 Nov 2006)
- Wiesenhutter, J. 2003. Use of Physic nut (*Jatropha curcas* L.) to combat desertification and reduce poverty. Convention Project to Combat Desertification, Bonn, Germany. Available : http://www.underutilized-species.org/documents/use_of_jatropha_curcas_en.pdf



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางค่าต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ ก.1 ความยาวมาตรฐาน L_s และปัจจัยแก้ไขความยาว K_2 สำหรับสายพานตัว V ธรรมดา
ใช้งานหนัก (ขนาดเป็นนิ้ว)

L_s	A	B	C	D	L_s	B	C	D	E
26	0.78				144	1.10	1.00	0.91	
31	0.82				158	1.12	1.02	0.93	
35	0.83	0.80			173	1.14	1.04	0.94	
38	0.87	0.82			180	1.15	1.05	0.95	0.92
42	0.89	0.84			195	1.17	1.06	0.96	0.93
46	0.91	0.86			210	1.18	1.07	0.98	0.95
51	0.93	0.88	0.80		240	1.22	1.10	1.00	0.97
55	0.95	0.89			270	1.24	1.13	1.02	0.99
60	0.97	0.91	0.83		300	1.27	1.15	1.04	1.01
68	1.00	0.94	0.83		330		1.17	1.06	1.03
75	1.02	0.96	0.87		360		1.18	1.07	1.04
80	1.04				390		1.20	1.09	1.06
81		0.98	0.89		420		1.21	1.10	1.07
85	1.05	0.99	0.90		480			1.13	1.09
90	1.07	1.00	0.91		540			1.15	1.11
95	1.08		0.92		600			1.17	1.13
97		1.02			660			1.18	1.15
105	1.10	1.03	0.94						
112	1.12	1.05	0.95						
120	1.13	1.06	0.96	0.88					
128	1.15	1.08	0.98	0.89					

* ขนาดคือเส้นรอบวงภายใน

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.

ตารางที่ ก.2 ค่าการเปลี่ยนความยาวสำหรับสายพานธรรมดาใช้งานหนัก ขนาดเป็นนิ้ว

Belt Section	Size range (in.)	Conversion quantity (in.)
A	26 to 128	1.3
B	35 to 240	1.8
B	240 up	2.1
C	51 to 210	2.9
C	210 up	3.8
D	120 to 210	3.3
D	210 up	4.1
E	180 to 240	4.5
E	240 up	5.5

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.

ตารางที่ ก.3 มาตรฐานความยาวพิตช์ L_p และปัจจัยแก้ไขความยาว K_2 เป็นหน่วย SI unit

13C		16C		22C		32C	
L_p	K_2	L_p	K_2	L_p	K_2	L_p	K_2
710	0.83	960	0.81	1400	0.83	3190	0.89
750	0.84	1040	0.83	1500	0.85	3390	0.90
800	0.86	1090	0.84	1630	0.86	3800	0.92
850	0.88	1120	0.85	1830	0.89	4160	0.94
900	0.89	1190	0.86	1900	0.90	4250	0.95
950	0.90	1250	0.87	2000	0.91	4540	0.96
1000	0.92	1320	0.88	2160	0.92	4720	0.98
1075	0.93	1400	0.90	2260	0.93	5100	0.99
1120	0.94	1500	0.91	2390	0.94	5480	1.00
1150	0.95	1600	0.92	2540	0.96	5800	1.01
1230	0.97	1700	0.94	2650	0.96	6180	1.02
1300	0.98	1800	0.95	2800	0.98	6560	1.03
1400	1.00	1900	0.96	3030	0.99	6940	1.04
1500	1.02	1980	0.97	3150	1.00	7330	1.06
1585	1.03	2110	0.99	3350	1.01	8090	1.07
1710	1.05	2240	1.00	3550	1.02	8470	1.08
1790	1.06	2360	1.01	3760	1.04	8850	1.09
1865	1.07	2500	1.02	4120	1.06	9240	1.10
1965	1.08	2620	1.03	4220	1.06	10000	1.11
2120	1.10	2820	1.05	4500	1.07	10760	1.13
2220	1.11	2920	1.06	4680	1.08	11530	1.14
2350	1.13	3130	1.07	5060	1.10	12290	
2500	1.14	3330	1.09	5440	1.11		
2600	1.15	3530	1.10	5770	1.13		
2730	1.17	3740	1.11	5160	1.14		
2910	1.18	4090	1.13	6540	1.15		
3110	1.20	4200	1.14	6920	1.16		
3310	1.21	4480	1.15	7300	1.17		

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.

ตารางที่ ก.4 ค่าคงที่ใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง

Belt Section	C_1	C_2	C_3	C_4
A	0.8542	1.342	$2.436(10)^{-4}$	0.1203
B	1.506	3.520	$4.193(10)^{-4}$	0.2931
C	2.786	9.788	$7.460(10)^{-4}$	0.5214
D	5.922	34.72	$1.522(10)^{-3}$	1.064
E	8.642	66.32	$2.192(10)^{-3}$	1.532
13C	$3.316(10)^{-2}$	1.088	$1.161(10)^{-3}$	$5.238(10)^{-3}$
16C	$5.185(10)^{-2}$	2.273	$1.759(10)^{-3}$	$7.934(10)^{-3}$
22C	$1.002(10)^{-2}$	7.040	$3.326(10)^{-3}$	$1.500(10)^{-2}$
32C	$2.205(10)^{-2}$	26.62	$7.073(10)^{-3}$	$3.174(10)^{-2}$

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.

ตารางที่ ก.5 ปัจจัยสัดส่วนความเร็วเพื่อใช้ในสมการหาความทนทานต่อกำลัง

D/d range	K_A
1.0 To 1.01	1.0000
1.02 to 1.04	1.0112
1.05 to 1.07	1.0226
1.08 to 1.10	1.0344
1.11 to 1.14	1.0463
1.15 to 1.20	1.0586
1.21 to 1.27	1.0711
1.28 to 1.39	1.0840
1.40 to 1.64	1.0972
over 1.64	1.1106

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.

ตารางที่ ก.6 ปัจจัยการใช้งาน K_S ที่แนะนำให้ใช้สำหรับสายพานตัว V

Driven machinery	Source of power	
	Normal torque Characteristic	High non-uniform torque
Uniform	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Light shock	1.1 to 1.3	1.2 to 1.4
Medium shock	1.2 to 1.4	1.4 to 1.6
Heavy shock	1.3 to 1.5	1.5 to 1.8

ที่มา : Shigley, J.E. 1989.

ภาคผนวก ข.

ตารางข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดสับดูดำ

ลำดับ	เมล็ดเต็ม				เมล็ดใน				ความหนาเปลือก
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	
1	12.2	18.7	8.4	0.92	8.9	15.5	5.5	0.55	0.5
2	11.4	19.2	8.9	0.87	9.6	15.4	6.3	0.54	0.4
3	11.7	18.8	9.2	0.83	9.3	14.9	6.1	0.5	0.5
4	12.1	18.7	9	0.89	10	15.9	6.3	0.52	0.5
5	12.1	19.3	9	0.85	9.3	15.6	5.6	0.53	0.5
6	11.1	18.5	9.3	0.86	10.1	15.6	7.3	0.54	0.6
7	11.9	18.8	9	0.91	9.7	15.7	6.4	0.58	0.7
8	11.5	18.8	9.2	0.88	9.3	14.4	6.5	0.59	0.5
9	11	19	9.3	0.85	10.4	16.1	7.1	0.44	0.5
10	11.4	17.6	8.5	0.89	9	14.9	6.3	0.49	0.6
11	11.7	18.7	9.1	0.86	9.8	15	6.5	0.54	0.8
12	10.8	18.8	9.4	0.75	10.2	15.6	7	0.49	0.5
13	11.5	17.8	8.3	0.83	10	14.8	6	0.58	0.5
14	11.5	18.6	9.3	0.85	8.7	15.4	6.7	0.53	0.5
15	11.8	19.4	9.3	0.88	9.5	15.5	6	0.59	0.6
16	11.9	18.4	9.2	0.83	9.4	14.8	6	0.56	0.6
17	11.4	18.4	8.6	0.79	8.6	15.2	6.4	0.52	0.5
18	11.1	18	8.5	0.85	8.8	14.5	6.6	0.59	0.4
19	11.7	18.3	8.6	0.89	9.8	15.1	5.7	0.57	0.7
20	11.2	18.3	9	0.93	9.7	14.9	6.7	0.6	0.5
21	11.4	18	8.7	0.87	9.1	14.4	5.7	0.58	0.6

ตารางที่ ข.1 ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดสับดูดำ (ต่อ)

ลำดับ	เมล็ดเต็ม				เมล็ดใน				ความหนาเปลือก
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	
22	11	17.4	8.6	0.85	9.5	14.9	6.3	0.56	0.4
23	11.6	18	8.8	0.83	10	16.8	6.7	0.55	0.6
24	11.8	18.2	8.8	0.76	9	14.8	4.5	0.47	0.5
25	11.3	17.5	8.5	0.79	9.1	14.7	6.4	0.51	0.6
26	11.1	18.4	9	0.83	9.5	15	6.3	0.54	0.5
27	11.7	16.8	8.9	0.83	9.7	14.5	6.3	0.52	0.6
28	11.4	18.4	9.3	0.86	10.2	16	7.4	0.53	0.6
29	11.6	18.7	9	0.73	9.6	15	5.1	0.42	0.5
30	11.8	18.4	9	0.87	9.6	14.8	6.2	0.52	0.5
31	12	18.2	9.8	0.79	10	15.2	5.3	0.48	0.7
32	11.3	18.7	9.4	0.82	10.3	15.3	6.1	0.48	0.4
33	12	17.8	9.4	0.65	9.7	16.5	6.3	0.41	0.8
34	11.4	18	8.7	0.9	9.3	15	6.4	0.59	0.5
35	11.6	18.5	8.9	0.95	9.4	14.7	5.3	0.61	0.6
36	11	18.7	8.8	0.81	8.7	15	6.8	0.56	0.4
37	11.4	20	9	0.84	9.1	15.8	6.1	0.57	0.4
38	10.3	17.3	8.7	0.86	6.8	14.3	6.8	0.53	0.5
39	10.8	19.8	9.1	0.73	9	15.5	7.1	0.49	0.5
40	11.7	18.9	8.9	0.79	10.4	16	6.7	0.49	0.5
41	11.6	18.4	9	0.81	8.9	14.2	4.8	0.53	0.8
42	12	18.5	8.8	0.78	9.4	14.6	5.5	0.48	0.9
43	11.4	18.4	9.5	0.86	8.7	14.7	5.5	0.55	0.7
44	11.4	18.3	9	0.79	9.6	14.6	5.8	0.48	0.7
45	12	19.5	9.1	0.84	9.5	15.1	5.7	0.55	0.6

ตารางที่ ข.1 ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดสบู่ดำ (ต่อ)

ลำดับ	เมล็ดเต็ม				เมล็ดใน				ความหนาเปลือก
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	
46	11.5	17.6	8.9	0.89	8.4	15.3	5.4	0.54	0.4
47	11	17.4	8.3	0.74	7.1	14	5	0.48	0.5
48	11.1	18	8.6	0.74	8	13.7	4.9	0.49	0.7
49	11.4	18.1	8.8	0.82	8.4	14.9	6.1	0.49	0.6
50	11.4	19	9.2	0.78	8.8	15.1	5.5	0.48	0.5
Min	10.3	17.3	8.7	0.86	6.8	14.3	6.8	0.53	0.5
Max	12.2	18.7	8.4	0.92	8.9	15.5	5.5	0.55	0.5
Mean	11.48	18.42	8.95	0.83	9.30	15.10	6.10	0.53	0.56
Mode	11.4	18.4	9	0.83	9.6	14.9	6.3	0.49	0.5
Median	11.45	18.4	9	0.84	9.4	15	6.25	0.53	0.5
STD	0.39	0.64	0.32	0.06	0.74	0.61	0.66	0.05	0.12

ตารางที่ ข.2 น้ำหนักเมล็ดสบู่ดำ 100 เมล็ด

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)
1	60.78
2	60.52
3	62.34
4	61.59
5	61.38
เฉลี่ย	61.32

ตารางที่ ข.3 เปอร์เซนต์เปลือกและเนื้อในของเมล็ดสบู่ดำ

น้ำหนักเปลือก	น้ำหนักเนื้อใน	%น้ำหนักเปลือก	%น้ำหนักเนื้อใน	น้ำหนักเปลือก/ น้ำหนักเนื้อใน
37.97	61.11	38.32	61.68	0.62
39.06	60.26	39.32	60.67	0.65
38.40	61.34	38.50	61.50	0.63
เฉลี่ย		38.71	61.28	0.63

ตารางที่ ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเปอร์เซนต์ปริมาณน้ำมันของเมล็ดสบู่ดำ

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	น้ำหนักก่อนบีบสกัด (กรัม)	น้ำหนักกาก (กรัม)	% น้ำหนักกาก	ปริมาณน้ำมันที่ได้ (กรัม)	% ปริมาณน้ำมันที่ได้	
20	ครั้งที่ 1	2,000	1,613.60	80.68	296.40	14.82
	ครั้งที่ 2	2,000	1,611.60	80.58	298.40	14.92
	ครั้งที่ 3	2,000	1,612.80	80.64	297.20	14.86
เฉลี่ย			1,612.67	80.33	297.33	14.87
30	ครั้งที่ 1	2,000	1,597.95	79.90	312.05	15.60
	ครั้งที่ 2	2,000	1,601.91	80.10	308.09	15.40
	ครั้งที่ 3	2,000	1,591.99	79.60	318.01	15.90
เฉลี่ย			1,597.28	79.86	312.67	15.63
40	ครั้งที่ 1	2,000	1,615.00	80.75	295.00	14.75
	ครั้งที่ 2	2,000	1,612.60	80.63	297.40	14.87
	ครั้งที่ 3	2,000	1,613.80	80.69	296.20	14.81
เฉลี่ย			1,613.80	80.69	296.20	14.81
50	ครั้งที่ 1	2,000	1,619.00	80.95	291.00	14.55
	ครั้งที่ 2	2,000	1,620.60	81.03	289.40	14.47
	ครั้งที่ 3	2,000	1,619.80	80.99	290.20	14.51
เฉลี่ย			1,619.80	80.99	290.20	14.51
60	ครั้งที่ 1	2,000	1,623.00	81.15	287.00	14.35
	ครั้งที่ 2	2,000	1,624.60	81.23	285.40	14.27
	ครั้งที่ 3	2,000	1,627.80	81.39	282.20	14.11
เฉลี่ย			1,625.13	81.26	284.87	14.24

ตารางที่ ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการสกัดน้ำมันสบู่อัด

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	น้ำหนักก่อนบีบสกัด (กรัม)	เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	ปริมาณน้ำมันที่ได้ (ลิตร)	อัตราการสกัด		
				กก./ชม.	ลิตร/ชม.	
20	ครั้งที่ 1	2,000	11.20	0.324	10.71	1.74
	ครั้งที่ 2	2,000	12.50	0.326	9.69	1.56
	ครั้งที่ 3	2,000	12.85	0.325	9.34	1.52
เฉลี่ย		2,000	12.18	0.325	9.85	1.61
30	ครั้งที่ 1	2,000	11.35	0.341	10.57	1.80
	ครั้งที่ 2	2,000	10.87	0.337	11.04	1.86
	ครั้งที่ 3	2,000	11.26	0.348	10.66	1.85
เฉลี่ย		2,000	11.16	0.342	10.75	1.84
40	ครั้งที่ 1	2,000	10.74	0.322	11.17	1.80
	ครั้งที่ 2	2,000	10.45	0.325	11.48	1.87
	ครั้งที่ 3	2,000	10.58	0.324	11.34	1.84
เฉลี่ย		2,000	10.59	0.324	11.33	1.84
50	ครั้งที่ 1	2,000	10.42	0.318	11.52	1.83
	ครั้งที่ 2	2,000	10.37	0.316	11.57	1.83
	ครั้งที่ 3	2,000	10.11	0.317	11.87	1.88
เฉลี่ย		2,000	10.30	0.317	11.65	1.85
60	ครั้งที่ 1	2,000	9.82	0.314	12.22	1.92
	ครั้งที่ 2	2,000	9.86	0.312	12.17	1.90
	ครั้งที่ 3	2,000	9.93	0.308	12.08	1.86
เฉลี่ย		2,000	9.87	0.311	12.16	1.89