

211 10 รายงานการวิจัย



30 การสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยตัวทำละลาย = 46

Solvent Extraction of Cashew Nut-Shell Liquid 10 100, 100 >

งบประมาณแผ่นดิน 2539-2540

คณะผู้วิจัย

นายชาคริต

นายสุธรรม

นายสรวิศ

ทองอุไร

สุขมณี

จิตรบรรรเจตกุล

หัวหน้าโครงการ

ผู้ร่วมวิจัย รวม

ผู้ร่วมวิจัย รวม

Order Key	16121
BIB Key	1A5A8A

สมอ

เลขที่	TP684 C295 863
เลขทะเบียน	[25019] 1
	1 0/ก.ค. 2541

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการพัฒนาการสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยตัวทำละลายในเชิงอุตสาหกรรม โดยนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เครื่องชั่งมาลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบลูกกลิ้ง เครื่องสกัดที่ใช้ทดลองเป็นแบบเกลียวลำเลียงอย่างง่าย ยาว 225 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 15.60 ซม. ความยาวที่ใช้ในการสกัดจริงเท่ากับ 180 ซม. ตัวทำละลายคือเฮกเซนและใช้อุณหภูมิห้องในการสกัด

ตัวแปรในการทดลองคือความเอียงของรางสกัดจาก 0 - 5 องศา เวลารีเทนชันจาก 7.5 - 20 นาที และดริฟท์ 0.5 - 2.0 จากการทดลองพบว่าการวางรางเอียง 5 องศาให้ผลได้สูงสุดโดยได้รับอิทธิพลของการผสมย้อนกลับน้อย การใช้เวลารีเทนชันที่สูงขึ้นจะได้รับผลได้สูงขึ้นและความเข้มข้นเฟสสกัดที่เพิ่มขึ้น ค่าดริฟท์ที่สูงขึ้นทำให้ได้ผลได้ที่สูงขึ้นเช่นกันแต่ความเข้มข้นของเฟสสกัดจะลดลง ผลการทดลองที่ความเอียงรางสกัด 5 องศา เวลารีเทนชัน 40 นาที และดริฟท์เท่ากับ 1 ให้ผลได้การสกัดร้อยละ 80 ความเข้มข้นเฟสสกัดคือร้อยละ 44 ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยน้ำหนัก

Abstract

The objective of this research was to find the possibility of developing an industrial solvent extraction method for cashew nut shell liquid. The half-shells of cashew nuts were cracked and reduced in size by a two roll mill. The extractor was a simple screw conveyor, 225 cm. long, 15.60 cm. in diameter but the length of extraction was only 180 cm. The extraction was carried out at room temperature by using commercial hexane as a solvent.

The variables of experiments were the trough slope of extractor from 0 - 5 degree, retention time from 7.5 - 20 minutes and draft from 0.5 - 2.0. In all trials, the yield from the the trough slope of 5 degrees was the highest due to the minimum back-mixing effect. The higher retention times led to a higher yield and a higher concentration of the extract phase. The higher draft gives a higher yield but a lower concentration of the extract phase.

It was found that the experimental conditions at trough slope of 5 degrees, retention time of 20 minutes and draft of about 2.0 provided a yield of 80 percent, the concentration of extract phase was 44 percent by wight of cashew nut shell liquid.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
รายการตาราง	(4)
รายการภาพประกอบ	(6)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	3
1.3 โครงสร้างของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	7
1.4 วิธีสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	8
1.4.1 การหีบหรือการบีบด้วยเครื่องอัด	8
1.4.2 การให้ความร้อน	8
1.4.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย	8
1.5 การตรวจเอกสาร	9
1.5.1 การสกัด CNSL ด้วยตัวทำละลายแบบแช่	9
1.5.2 การสกัด CNSL โดยใช้ชอกเล็ท	10
1.5.3 การสกัด CNSL ด้วยตัวทำละลายร่วมกับการใช้คลื่นความถี่ เหนือเสียง	12
1.5.4 การสกัด CNSL ด้วยตัวทำละลายแบบหยด	13
1.5.5 การสกัด CNSL โดยวิธีการทอด	14
บทที่ 2 หลักการสกัดด้วยตัวทำละลายหรือการชะละลาย	15
2.1 วิธีการสัมผัสของของแข็ง-ของเหลวและการแยกของแข็งออกจาก สารละลาย	16
2.2 การเตรียมกระแสน้ำของแข็ง	17
2.3 การเลือกตัวทำละลาย	18
2.4 อุณหภูมิในการชะละลาย	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีวิจัยและผลการวิจัยเบื้องต้น	19
3.1 กรอบแนวคิดการวิจัยเบื้องต้น	19
3.2 วัสดุและอุปกรณ์	20
3.2.1 วัสดุ	20
3.2.2 อุปกรณ์	20
3.3 วิธีดำเนินการ	20
3.3.1 การหาความชื้นโดยวิธี Air Oven Method	20
3.3.2 การสกัด CNSL โดยวิธี Soxhlet Extraction Method	21
3.3.3 การหาความเข้มข้นของ CNSL จากความหนาแน่นของสารละลาย CNSL	21
3.4 การสร้างเครื่องลดขนาดเปลือก	23
3.5 การสร้างเครื่องสกัด CNSL แบบเกลียวลำเฉียง	28
3.5.1 รายละเอียดของเครื่องสกัด	28
3.5.2 หลักการทำงานของเครื่องสกัด	30
3.5.3 การเก็บตัวอย่าง	31
3.6 การศึกษาแผนภาพสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert จากวัตถุดิบที่เตรียมได้	31
3.7 วิธีการวิจัย	34
3.7.1 ศึกษาผลของความเอียงรางสกัด	34
3.7.2 ศึกษาผลของเวลารีเทนชัน	34
3.7.3 ศึกษาผลของดริปพ์	35
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	37
4.1 การศึกษาแผนภาพสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert	37
4.2 การพิจารณาการเข้าสู่สถานะคงตัว	39
4.3 ความเอียงรางสกัด	41
4.4 เวลารีเทนชัน	45
4.5 ดริปพ์	48
4.6 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์	50

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผลการวิจัย	51
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	58
ก. แสดงภาพของเครื่องมือและเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	58
ข. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นโดย น้ำหนัก	63
ค. ข้อมูลการทดลอง	65

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	องค์ประกอบของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	4
1.2	สมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ CNSL จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 3 สายพันธุ์	4
1.3	มาตรฐานน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	6
1.4	การสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้เทคนิคต่างๆสำหรับเปลือกเมล็ด มะม่วงหิมพานต์ฝาชักด้วยมือและเครื่องมือกล	11
3.1	แสดงผลของการบดด้วยจำนวนครั้งที่ต่างกันแช่ด้วยเฮกเซน 5 นาที	27
3.2	แสดงผลของการบดด้วยจำนวนครั้งที่ต่างกันแช่ด้วยเฮกเซน 30 นาที	27
3.3	แสดงสัดส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ : เฮก เซน : CNSL	32
3.4	แสดงความชื้นของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	36
4.1	แสดงผลการวิเคราะห์สมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert	38
4.2	โพรไฟล์ความเข้มข้นของการเอียงราง	41
4.3	ผลของความเอียงรางสกัดต่อความเข้มข้นของ raffinate และผลได้	42
4.4	ผลของเวลารีเทนชัน(t)ต่อความเข้มข้นของ raffinate และผลได้	45
4.5	ผลของดริฟท์ต่อความเข้มข้นของ raffinate และผลได้	48
4.6	ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ CNSL	50
ข.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นโดยน้ำหนัก	63

รายการตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
ค.1	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	65
ค.2	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	67
ค.3	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	69
ค.4	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	71
ค.5	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	73
ค.6	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	75
ค.7	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	77
ค.8	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	79
ค.9	ความเข้มข้นของสารละลายextract ที่จุดต่าง ๆ	81

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า	
1.1	สูตรโครงสร้างสารเคมีใน CNSL	5
1.2	Decarboxylation of Anacardic Acid	6
1.3	โครงสร้างของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	7
2.1	วิธีการสัมผัสของของแข็งกับของเหลว	16
3.1	แสดงเครื่องสกัดแบบ soxhlet	22
3.2	แสดงรายละเอียดของเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	25
3.3	แสดงเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	26
3.4	สกรูและภาพด้านข้างของรางสกัด	29
3.5	ภาพตัดขวางของรางสกัด	30
3.6	แสดงจุดเก็บตัวอย่าง	31
3.7	แผนภาพการหาสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert	33
4.1	แผนภาพสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert	37
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดเมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา	39
4.3	โพรไฟล์ความเข้มข้นของการสกัดที่เวลาต่างกัน(นาที) เมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา	39
4.4	โพรไฟล์ความเข้มข้นของความเอียงรางที่องศาแตกต่างกัน	41
4.5	ผลของความเอียงรางในองศาต่างกัน	43
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและผลได้กับเวลา รีเทนชัน	46
4.7	ผลของเวลารีเทนชัน	46
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและผลได้เฉลี่ยกับดริฟท์	49
4.9	ผลของดริฟท์ต่อความเข้มข้นและผลได้	49

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ก.1 ภาพด้านข้างของเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	58
ก.2 ภาพด้านหน้าของเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	59
ก.3 ภาพด้านข้างของรางสกัด	60
ก.4 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ยังไม่ผ่านการบดด้านนอกและด้านใน	60
ก.5 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการย่อยแล้ว	61
ก.6 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สกัดแล้ว	61
ก.7 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สกัดด้วยวิธี soxhlet แล้ว	62
ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นโดยน้ำหนัก	64
ค.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัด เมื่อเอียงรางสกัด 0 องศา	66
ค.2 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(นาที) เมื่อเอียงรางสกัด 0 องศา	66
ค.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัด เมื่อเอียงรางสกัด 2.5 องศา	68
ค.4 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(นาที) เมื่อเอียงรางสกัด 2.5 องศา	68
ค.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัด เมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา	70
ค.6 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(นาที) เมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา	70
ค.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดเมื่อมี retention time 7.5 นาที	72
ค.8 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(เท่าของ t) เมื่อมี retention time 7.5 นาที	72

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ค.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดเมื่อมี retention time 10 นาที	74
ค.10 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(เท่าของ t) เมื่อมี retention time 10 นาที	74
ค.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดเมื่อมี retention time 15 นาที	76
ค.12 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(เท่าของ t) เมื่อมี retention time 15 นาที	76
ค.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดเมื่อมี retention time 20 นาที	78
ค.14 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(เท่าของ t) เมื่อมี retention time 20 นาที	78
ค.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดเมื่อใช้ draft = 0.5	80
ค.16 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(นาที) เมื่อใช้ draft = 0.5	80
ค.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดเมื่อใช้ draft = 2.0	82
ค.18 Concentration Profile ของการสกัดที่เวลาต่างกัน(นาที) เมื่อใช้ draft = 2.0	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

มะม่วงหิมพานต์เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศบราซิล มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Anacardium occidentale* Linn. อยู่ในวงศ์ *Anacardiaceae* ถูกนำเข้ามาในประเทศไทย อินเดียและอาฟริกาตะวันออก โดยชาวโปรตุเกสในคริสต์ศตวรรษที่ 16 เป็นพืชเขตร้อนที่มีใบเขียวตลอดปี และเติบโตที่ระดับความสูงต่ำกว่า 1000 ฟุต นอกจากนั้นพืชชนิดนี้ก็แพร่หลายในเกาะอันดามัน โมซัมบิก แทนซาเนีย ฟิลิปปินส์ และประเทศในเขตร้อนอื่นๆ (Aggarwal, 1972) สำหรับมะม่วงหิมพานต์ในประเทศไทยนั้น ไม่มีหลักฐานยืนยันที่แน่ชัดว่าเข้ามาตั้งแต่เมื่อไร แต่พอสันนิษฐานได้ว่าประมาณปีพุทธศักราช 2444 พระยารัษฎานุประดิษฐ์ (คอซิมบี๊ ณ ระนอง) ขณะที่ยังดำรงตำแหน่งเทศาภิบาล เป็นคนแรกที่น่าเอาเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาจากมาเลเซีย มาปลูกที่จังหวัดตรัง (พัน มาลีวรรณ และทუნ อารีย์, 2522)

มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ผลเมืองร้อน ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งและเป็นพืชเอนกประสงค์ ทั้งนี้เพราะสามารถนำส่วนต่างๆ ของต้นมาใช้ประโยชน์ได้มาก ตั้งแต่ ราก ลำต้น เปลือก ใบ ยอดอ่อน ผลจริง ผลปลอม น้ำมันจากเปลือกผล เยื่อหุ้มเมล็ดในและเมล็ดใน (วิจิตต์ วรรณชิต, 2528) แต่ส่วนที่สำคัญที่มีค่าในเชิงการค้าขณะนี้ก็มีเพียงสองส่วนคือ เมล็ดในสำหรับบริโภคเป็นอาหาร และน้ำมันจากเปลือกผลเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม

ผลจริงของมะม่วงหิมพานต์ คือส่วนที่เรียกว่าเมล็ด ที่ติดอยู่ตรงปลายก้านดอก ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่าเปลือก (cashew nut shell) เยื่อหุ้มเปลือก (cashew testa) และเมล็ดใน (cashew kernel) เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์นำมาบีบและสกัด จะได้น้ำมันเหลวข้นสีน้ำตาลเข้ม เรียกว่า cashew nut shell liquid (CNSL) (ประเทืองศรี สินชัยศรี, 2534) ในน้ำมันจะมีสารหลักๆ สองชนิดคือ กรดอนุคาร์ดิก (anacardic acid) ประมาณร้อยละ 80-90 และคาร์ดอล (cardol) ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่ง อีกร้อยละ 10-20 นอกจากนี้ยังมีอนุพันธ์ต่างๆ ของสารหลักสองชนิดนี้อีกเล็กน้อยผสมอยู่ด้วย (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดภูเก็ต, 2532)

น้ำมันที่ได้จะนำไปใช้ทางการแพทย์ โดยจะใช้ทำยาแก้โรคเหน็บชา เลือดคั่ง โรคเท้าช้าง โรคผิวหนังและโรคเท้าแตก ส่วนในทางอุตสาหกรรม นิยมใช้ทำผ้าเบรค และผ้าครีซ เพราะมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน ทนต่อแรงเสียดทานได้ดี (anti-friction) ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า กระเบื้อง ยางปูพื้น น้ำมันวาร์นิช ใช้ทำเรซิน phenolic ใช้ผสมกับน้ำมันพืชบางชนิดสามารถทำเป็นกาว หรือใช้ผสมกับน้ำมันก๊าดใช้กำจัดตัวอ่อนยุง เป็นต้น (ประเทืองศรี สินชัยศรี, 2534)

จะเห็นได้ว่า นอกจากเนื้อในของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่จะใช้ประโยชน์ ในเชิงอุตสาหกรรมในตลาดโลกแล้ว น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ก็เป็นอีกส่วนที่มีความสำคัญเชิงการค้าอีกด้วย และเป็นที่ยอมรับกันว่าน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นแหล่งหนึ่งของฟีนอลที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Aggarwal, 1972)

น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เป็นผลผลิตทางการค้าที่สำคัญรองจากเนื้อเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (ได้มีการผลิตเชิงการค้าในประเทศอินเดีย บราซิล โมแซมบิก ไนจีเรีย และ Tanganyika) แต่ประเทศไทยยังนำมาใช้ประโยชน์น้อยมาก เนื่องจากกระบวนการสกัดหรือบีบ จำเป็นต้องรวบรวมจำนวนเปลือกให้มากเพียงพอ จึงจะคุ้มค่าการค้า เน้นการทางอุตสาหกรรม โรงงานบีบสกัดมีอยู่ที่จังหวัด นครราชสีมา น้ำมันเปลือกที่ได้ส่งเข้าทำผ้าเบรค และผ้าครีซ ของโรงงานภายในประเทศ ซึ่งยังต้องการน้ำมันจากเปลือกอีกมาก การตั้งโรงงานบีบสกัดในภาคใต้ กำลังอยู่ในระยะการศึกษาความเป็นไปได้อยู่ในขณะนี้

1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

กองเกษตรเคมีได้ทำการศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) ผลจากการบีบด้วยเครื่องไฮดรอลิกเพรส (hydraulic press) ในห้องปฏิบัติการตีกรวิจัยพืชน้ำมัน กองเกษตรเคมี พบว่า CNSL เป็นของเหลวสีน้ำตาลคล้ำ เหนียวข้น มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ทุกชนิด เป็นสารพิษ ทำให้ผิวหนังพุพองและเปื่อยได้ เมื่อน้ำมันดังกล่าวได้รับความร้อนสูง บางส่วนจะระเหยเป็นไอ มีกลิ่นฉุนจัด กัดเยื่อจุกและนัยน์ตา (ประเทืองศรี สินชัยศรี, 2534)

Aggarwal (1972) พบว่า CNSL มีอยู่ในเปลือกเมล็ดประมาณร้อยละ 32-43 โดยน้ำหนัก โดยที่เปลือกเมล็ดนี้มีสัดส่วนโดยน้ำหนักประมาณร้อยละ 67 ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทั้งเมล็ด CNSL จะเป็นตัวป้องกันแมลงโดยธรรมชาติ ไม่ให้เข้าไปทำลายเมล็ดใน ซึ่งเป็นส่วนที่มีลักษณะโค้งเล็กน้อย มีเนื้อสัมผัสละเอียด และมีกลิ่นรสเป็นที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ (2534) พบว่า CNSL มีอยู่ในเปลือกเมล็ดประมาณร้อยละ 18-30 โดยน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะม่วงหิมพานต์ ประเทืองศรี สินชัยศรี (2534) รายงานว่า น้ำมันชนิดนี้ประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ ดังนี้คือ กรดอนาคาร์ดิก (anacardic acid) ร้อยละ 82, คาร์ดอล (cardol) ร้อยละ 13.8, คาร์ดานอล (cardanol) ร้อยละ 1.6 และเมทิลคาร์ดอล (methylcardol) อีกร้อยละ 2.6 ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อนำไปผสมกับสารเคมีอื่นๆ จะเกิดสารใหม่ขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

Ohler (1979) และ Tychopoulos และ Tyman (1990) ได้แสดงองค์ประกอบของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดังตาราง 1.1

กองเกษตรเคมี (2534) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ CNSL แสดงไว้ในตาราง 1.2

ตาราง 1.1 องค์ประกอบของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
(general chemical composition)

องค์ประกอบ (chemical composition)	ร้อยละ (%)*	ร้อยละ (%)**
ความชื้น (moisture)	13.17	8-10
น้ำมัน CNSL (oil)	35.10	40-48
โปรตีน (protein)	4.06	18-20
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)	-	38-40
เส้นใย (fiber)	-	1-1.5
เถ้า (ash)	6.74	-
เซลลูโลสและลิกนิน	17.35	-
น้ำตาล	20.85	-

ที่มา : * Ohler (1979)

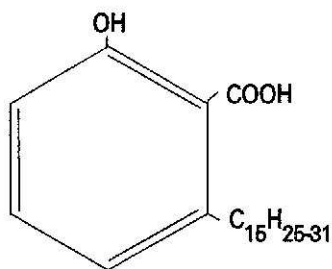
: ** Tychopoulos and Tyman (1990)

ตาราง 1.2 สมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ CNSL จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
3 สายพันธุ์

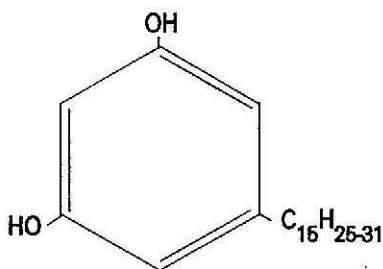
รายการ	ศก. 60-1	ศก.60-2	พันธุ์ SKA
CNSL (%) (hydraulic press)	23.00	18.70	21.10
specific gravity 25/25 °C	0.9845	0.9900	0.9858
refractive index 25 °C	1.5220	1.5420	1.5245
Iodine value	197	201	196
saponifiable matter	91	95	95
unsaponifiable matter	0.55	0.54	0.43
loss of heating ที่ 250 °C 30 นาที IS 840-1964	88.38	*	*

* ไม่รายงานผลวิเคราะห์

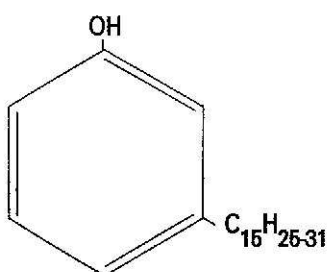
ที่มา : กองเกษตรเคมี (2534)



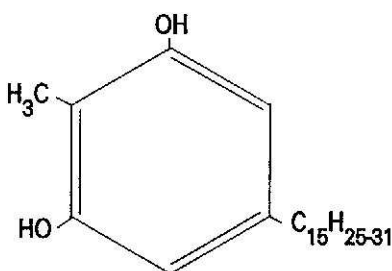
Anacardic Acid



Cardol



Cardanol



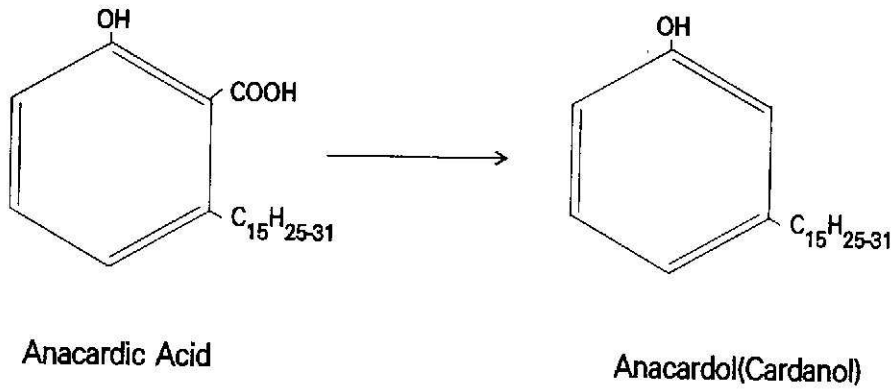
2-Methylcardol

ภาพประกอบ 1.1 สูตรโครงสร้างสารเคมีใน CNSL

ที่มา : Tychopoulos and Tyman (1990)

Gonsaves และ Costa (1975) กล่าวว่ากรดอนาคาร์ดิกเป็นส่วนประกอบสำคัญของ CNSL และเป็นสารที่มีความคงตัวสูง กรดอนาคาร์ดิกนี้เมื่อถูกความร้อน จะเกิดการดีคาร์บอกซิเลท (decarboxylation) ไปเป็นคาร์ดานอล (cardanol) หรือ อนาคาร์ดอล (anacardol) กระบวนการดีคาร์บอกซิเลทจะยิ่งเกิดง่ายที่อุณหภูมิสูงถึง 220°C.

ดังนั้นน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผลิตด้วย วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย จะมีคุณสมบัติต่างจากน้ำมันที่ได้จากการเคี้ยวหรือทอด ซึ่งมีการให้ความร้อน น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่จำหน่ายอยู่ในขณะนี้ มีมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปสองมาตรฐานคือ มาตรฐาน BP และมาตรฐาน IRVINGTON ดังแสดงในตารางที่ 1.3 (กรรณิการ์ สถาปัตตานนท์ และคณะ, 2532)



ภาพประกอบ 1.2 Decarboxylation of Anacardic acid
ที่มา : Tychopoulos and Tyman (1990)

ตาราง 1.3 มาตรฐานน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

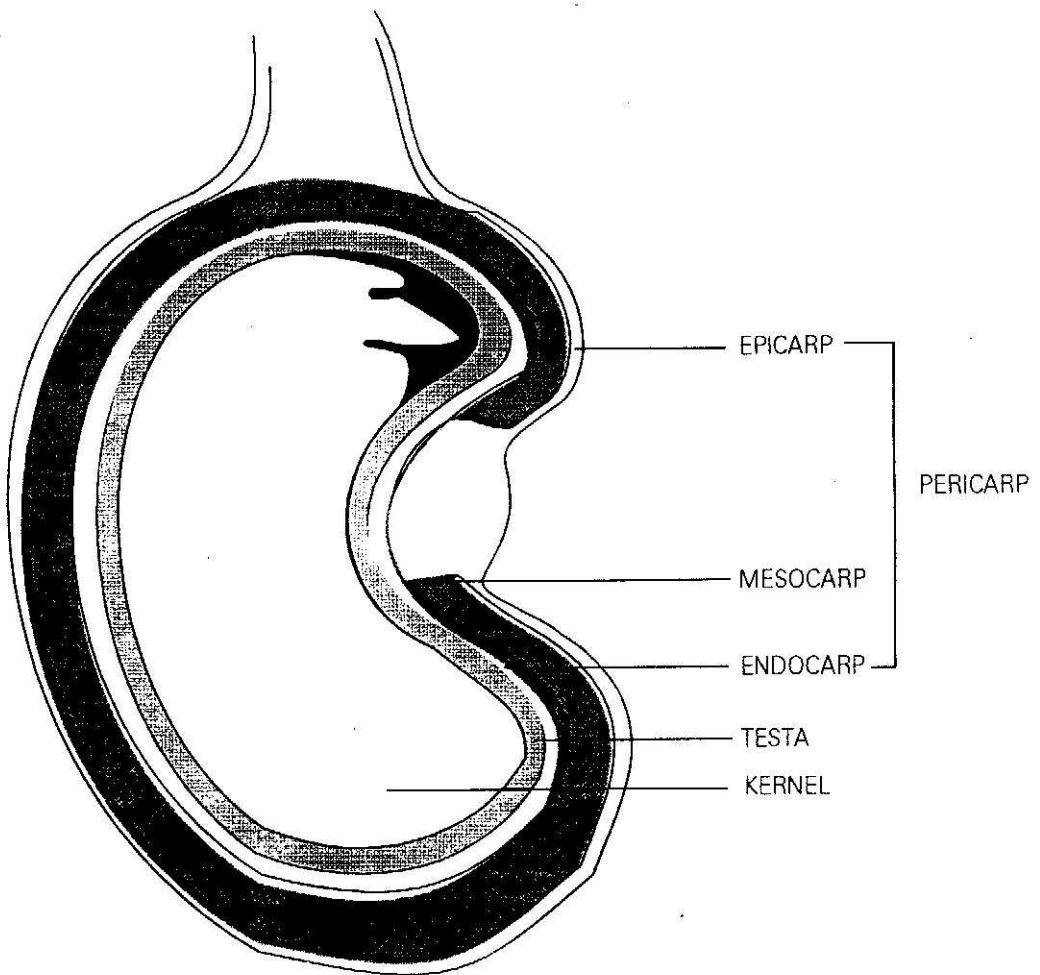
รายการ	มาตรฐาน BP	มาตรฐาน IRVINGTON
1. สิ่งสกปรกร้อยละ	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0
2. ความถ่วงจำเพาะ 25 °C	0.955-0.975	0.943-0.968
3. ความหนืดที่ 25 °C (cp)	ไม่เกิน 600	ไม่เกิน 600
4. ค่าไอโอดีน	ไม่น้อยกว่า 220	-
5. ความชื้นร้อยละ	ไม่เกิน 1.0	-
6. เถ้าร้อยละ	ไม่เกิน 1.0	-
7. สารที่ระเหยเป็นไอได้ร้อยละ	-	ไม่เกิน 2.0
8. Polymerization Hardening time 7.5-16 (min)	-	-
9. Test Tube gel (min)	-	ไม่เกิน 7

ที่มา : กรรณิการ์ สถาปิตานนท์ และคณะ (2532)

1.3 โครงสร้างของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

เปลือกจะมีผิวด้านนอก (epicarp) และผิวด้านใน (endocarp) เปลือกทั้งสองชั้นจะห่อหุ้มชั้น mesocarp ซึ่งมีลักษณะคล้ายรวงผึ้ง (honeycomb-like) ซึ่งบรรจุของเหลว CNSL ไว้

เมื่อแกะเนื้อใน (kernel) ซึ่งมี testa หรือเยื่อหุ้มเมล็ดติดอยู่ออกไปแล้วจะเหลือเปลือกครึ่งซีกที่มีผิว epicarp และ endocarp ติดอยู่



ภาพประกอบ 1.3 โครงสร้างของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1.4 วิธีการสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1.4.1 การหีบหรือการบีบด้วยเครื่องอัด เช่น ไฮดรอลิกเพรส หรือการบีบแบบเกลียวอัด (screw press) วิธีนี้ยังคงมีน้ำมันที่เหลือในกากประมาณร้อยละ 10-15

1.4.2 การให้ความร้อน เช่น การอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 250°C. เช่น

- 1 การย่าง (roasting) ก่อนการกระเทาะเมล็ดซึ่งจะได้น้ำมันประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำมันที่มีอยู่ทั้งหมด
- 2 การทอดด้วยน้ำมัน CNSL ร้อน ภายใต้ภาวะที่ไม่ทำให้เมล็ดไหม้ ซึ่งอาจสกัดได้ถึงร้อยละ 85-90
- 3 ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งอาจใช้กรรมวิธีนี้ร่วมกับการทอด เพื่อให้ได้ผลได้ (yield) ที่สูงขึ้น

1.4.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยมีการบดละเอียดก่อนผ่านตัวทำละลาย

วิธีที่ปรับปรุงเพื่อใช้ในทางการค้า จะประกอบด้วยกระบวนการผสมผสานหลายวิธีที่กล่าวมาแล้ว คือ เริ่มการสกัดด้วยน้ำมันร้อน (hot-oil process) โดยการผ่านเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปยังน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีอุณหภูมิ 180-190°C. ใน singer layer บนสายพานที่มีความเร็ว 3 เมตรต่อนาที กระบวนการนี้ให้ผลได้ร้อยละ 50 ของน้ำมันที่มีทั้งหมด และเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันมากกว่านี้ จะนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปผ่านกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

1. การบีบ (expeller method) น้ำมันที่เหลือเกือบทั้งหมด จะถูกสกัดออกจากเปลือกโดยวิธีการหีบ โดยใช้ screw type oil expeller
2. การให้ความร้อนอย่างง่าย (simple heating) การให้ความร้อนแก่เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยตรงจะทำให้ได้ CNSL ส่วนที่เหลือเป็นจำนวนมาก CNSL จะไหลลงทางด้านล่างของถังเก็บ (container) แล้วถูกแยกออกไป
3. การให้ความร้อนโดยไอน้ำ (steam heating) เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะถูกให้ความร้อนในไอน้ำยวดยิ่ง น้ำมันจะถูกแยกออกจากน้ำที่ควบแน่น
4. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จะถูกนำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย

1.5 การตรวจเอกสาร

1.5.1 การสกัด CNSL ด้วยตัวทำละลายแบบแช่

Tyman และคณะ (1989) ใช้ตัวทำละลายสามชนิดคือ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbontetrachloride) โลท์ปิโตรเลียม (light petroleum) และไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) ในการสกัดแบบแช่ โดยใช้วัตถุดิบคือ เปลือกครึ่งซีกจากการผ่าโดยใช้เครื่องมือกล เปลือกครึ่งซีกจากการผ่าโดยใช้เครื่องมือกลแล้วบดลดขนาด และเปลือกที่ลดขนาดโดยใช้ค้อนทุบ ในการทดลองใช้วัตถุดิบ 200 กรัมต่อตัวทำละลาย 400 กรัม และปล่อยให้วัตถุดิบแช่อยู่ในตัวทำละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้เปลือกผ่าซีกแล้วลดขนาดลงในการสกัดแบบแช่อย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 16 ชั่วโมงด้วยตัวทำละลายทั้งสามชนิด ให้ผลได้ ไม่แตกต่างกัน คือประมาณร้อยละ 35 ของวัตถุดิบ ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของการทดลองอื่นๆ ในการสกัดแบบแช่ คือตัวอย่างที่ใช้ไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ดังแสดงในตาราง 1.4

Tyman และคณะ (1989) พบว่าเมื่อใช้เครื่องบด บดลดขนาดเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แล้วนำไปแช่ในตัวทำละลาย กับเมื่อใช้เปลือกครึ่งซีกในตอนเริ่มต้นแล้วบดลดขนาดในภายหลัง จะให้ผลได้ไม่แตกต่างกัน ส่วนเปลือกที่ใช้ค้อนทุบนั้น ก่อนทุบจะต้องแช่เย็น (chilling) เปลือกเสียก่อนเพื่อให้ฟินอลแข็งตัว ป้องกันการไหลเยิ้มของ CNSL ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะได้ชิ้นส่วนของเปลือกที่ยังมีขนาดใหญ่ แต่พบว่าแรงกลจากการทุบทำให้โครงสร้างภายในเปลือกมีการแตกร้าวเพียงพอที่จะให้ตัวทำละลายจำนวนมากซึมผ่านไปได้

อย่างไรก็ตามในทุกๆ การทดลองนั้นพบว่าการกรอง CNSL ที่ได้ ทำได้ช้า และต้องใช้ปริมาณตัวทำละลายจำนวนมาก ดังนั้นการทดลองสกัด CNSL ในซอกเล็ก (Soxhlet solvent extraction) จึงเป็นวิธีที่ดีกว่า

จันทนา คงสังข์ และมณฑุณี ประภากรรัตนา (2536) รายงานว่า เมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย จะให้ผลได้สูงกว่าเอทานอล และพบว่าเวลาในการแช่ไม่มีผลต่อร้อยละการแยกคืนเฮกเซน (% hexane recovery) โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 79-80 เมื่อใช้สัดส่วนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 30 กรัมต่อตัวทำละลาย 150 มิลลิลิตร

ในขณะที่ปริมาณเฮกเซนที่ค้างในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะมีค่าประมาณร้อยละ 6.75 ของปริมาณเฮกเซนที่ใช้ทั้งหมด และเมื่อลดขนาดเปลือกลง จะได้ผลได้เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาแช่ไปนานๆ ผลได้จะไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเกิดสมดุลในระหว่างการแช่

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการลดขนาดเปลือก โดยการทุบด้วยก้อนทำให้โครงสร้างภายในของเปลือกฉ่ำ ตัวทำละลายจึงแพร่เข้าไปสกัด CNSL ได้ดีถึงแม้ว่าเปลือกเมล็ดอาจจะยังมีขนาดใหญ่อยู่ก็ตาม นอกจากนี้ก็ได้พบว่า การแช่เปลือกเมล็ดพร้อมกับการเขย่าให้อัตราการสกัด CNSL ได้เร็วขึ้น และสามารถลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายลงได้

เมื่อทดลองเปรียบเทียบการสกัดแบบหยด โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนจำนวน 50 มิลลิลิตร ด้วยอัตราการหยด 1.22 มิลลิลิตรต่อนาที กับการสกัดแบบแช่ โดยการแช่เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในตัวทำละลายเฮกเซน 100 มิลลิลิตร พร้อมทำการเขย่าเป็นเวลา 5 นาที กับการแช่เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในตัวทำละลายเฮกเซน 150 มิลลิลิตร พร้อมทำการเขย่าเป็นเวลา 30 นาที พบว่าให้ผลได้ไม่ต่างกันนักคือประมาณร้อยละ 25-30 แต่การสกัดแบบหยดจะใช้ตัวทำละลายน้อยกว่า

1.5.2 การสกัด CNSL โดยใช้ซอกเล็ต (Soxhlet Solvent Extraction)

Tyman และคณะ (1989) นำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาบดด้วยเครื่องบดให้ได้อนุภาค 1-2 มิลลิเมตร และ 5-15 มิลลิเมตร โดยมีอนุภาคละเอียดปนอยู่ด้วยแล้วนำไปสกัดด้วยไลท์ปิโตรเลียม ปริมาณ 3000 มิลลิเมตร ในซอกเล็ตเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และได้ผลได้ร้อยละ 33.7 และ 31 ตามลำดับ นอกจากนี้เขายังได้ทดลองนำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทั้งเมล็ด มาแช่เย็นในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 2-3 นาที แล้วทุบเบาๆ ด้วยก้อนเพื่อให้ได้ชิ้นส่วนของเปลือกเมล็ดขนาดประมาณ 10-20 มิลลิเมตร หลังจากนั้น นำไปสกัดในซอกเล็ตโดยใช้ไลท์ปิโตรเลียม (40-60°C) ปริมาณ 120 มิลลิลิตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้ได้ผลได้รวมทั้งหมดร้อยละ 36.4

จากการทดลองพบว่า การบดลดขนาดเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลง มีผลให้เกิดการแตกตัวของภายในอย่างมาก เนื่องจากผลการทดลองจากเปลือกผ่าซีกให้ผลได้เพียงร้อยละ 6.1 ดังแสดงในตัวอย่างการทดลองที่ 2 ตาราง 1.4 ซึ่งต้องการลดขนาดลงอีก ทำให้ผลได้เพิ่มเป็นร้อยละ 34.4

ตาราง 1.4 การสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้เทคนิคต่างๆ สำหรับเปลือก
เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผ่าซีกด้วยมือและเครื่องมือกล

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 4
Type of extraction	static	soxhlet	ultrasonic	soxhlet
Shell weight (g)	100	800	45.2*	43.08**
Treatments				
1st extraction	Intact half shells	Intact half shells	Manually shells (10-20mm)	Manually shells (10-20mm)
2nd extraction	Disintegrated (1-2mm)	Disintegrated (1-2mm)	Disintegrated (2-3mm)	Disintegrated (1-2mm)
Solvent type	Diethyl ether	Light petroleum	Light petroleum	Light petroleum
Solvent volume (ml)	400+400	3000	120+120	120+120
Extract times (hr)	168+168	12+10	17+17	6+16
Yield (g)	10.29+24.01	48.5+226.0	11.04+4.61	11.15+4.06
Yield (%)	10.29+24.01	6.1+28.3	24.4+10.2	26.0+9.4
total yield (%)	34.3	34.4	34.6	35.4

*Weight of intact raw cashew nut, 62.90 g. ;

**Weight of intact raw cashew nut, 63.39 g.

ที่มา : Tyman et al. (1989)

Tyman และคณะ (1989) สรุปว่า การสกัด CNSL โดยวิธีการแช่และโดยวิธีการใช้ซอกเล็ท ให้ผลได้ไม่แตกต่างกัน แต่วิธีการแช่มีความยุ่งยากในขั้นตอนการกรอง และต้องใช้ตัวทำละลายจำนวนมาก วิธีการใช้ซอกเล็ทจึงประหยัดตัวทำละลายได้ดีกว่าในแง่เศรษฐศาสตร์ อย่างไรก็ตาม Karnovsky (1986) ได้แสดงว่า การสกัดน้ำมันและไขมันนั้น อัตราการละลายของน้ำมันขณะทำการสกัดมีความสำคัญมากกว่าความต้านทานในการแพร่ของมัน ดังนั้นการสกัดด้วยซอกเล็ทโดยใช้สารละลายอุ่น ดูเหมือนว่าจะดีกว่าวิธีการแช่ที่อุณหภูมิห้อง ถึงแม้ว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่าย

ในการเพิ่มอุณหภูมิตัวทำละลาย และต้องป้องกันการระเหยของตัวทำละลายโดยใช้ระบบปิดก็ตาม

ประธาน วงศ์ศรีเวช และสุรียพร สุรัตน์ (2534) ได้ทดลองหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้ตัวทำละลายสามชนิดคือ เอทานอล เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ จากนั้นทำการทดลองหาอัตราส่วนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เหมาะสม ระยะเวลาในการสกัดที่เหมาะสม และอุณหภูมิในการสกัดที่เหมาะสม สำหรับการสกัดโดยใช้ชอกเล็ก

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนปริมาณวัตถุดิบ 30 กรัมต่อตัวทำละลายเอทานอล เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ 300 มิลลิลิตร สกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 89°C. จะได้ผลได้ CNSL ร้อยละ 25.67, 23.30 และ 22.17 ตามลำดับ ตัวทำละลายที่เหมาะสมคือเอทานอล เพราะให้ผลได้สูงกว่าการใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์ และมีปริมาณที่สูญเสียระหว่างการแยกคืน (recovery) น้อยมาก เนื่องจากมีจุดเดือดสูงกว่า อัตราส่วนการสกัดที่เหมาะสมคือ น้ำหนักเปลือกที่บดลดขนาดแล้ว ปริมาณ 30 กรัมต่อเอทานอล 300 มิลลิลิตร สกัดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 89°C. ซึ่งที่สภาวะนี้จะได้ CNSL ร้อยละ 90.78 ของ CNSL ทั้งหมดและคิดเป็นร้อยละ 34.17 ของน้ำหนักเปลือก

1.5.3 การสกัด CNSL ด้วยตัวทำละลาย ร่วมกับการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasound/Solvent Extraction)

Tyman และคณะ (1989) นำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปแช่เย็นแล้วใช้ค้อนทุบ เพื่อลดขนาดจากนั้นจึงนำไปใส่ในขวดก้นกลม (round bottom flask) ที่ติดกับเครื่องควบแน่นน้ำ (water condenser) โดยใช้ไลทอปิโตรเลียมปริมาณ 120 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลายแล้วให้คลื่นความถี่เหนือเสียงเป็นเวลา 17 ชั่วโมง ระหว่างช่วงเวลานี้พบว่าอุณหภูมิของน้ำในอ่าง (bath) เพิ่มขึ้นจาก 15°C. เป็น 20°C. ของผสมที่ได้ จะถูกนำมารองและได้ CNSL ธรรมชาติปริมาณร้อยละ 24 ดังแสดงในตัวอย่างการทดลองที่ 3 ตาราง 1.4 ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับ CNSL ธรรมชาติที่ได้ในขั้นตอนแรกของการทดลองโดยใช้ชอกเล็ก (ร้อยละ 26) ดังแสดงในตัวอย่างที่ 4 ตาราง 1.4

หลังจากนั้นจึงนำเปลือกเมล็ด ไปบดลดขนาดลงอีกจนมีขนาด 2-3 มิลลิเมตร แล้วให้คลื่นความถี่เหนือเสียงต่อโดยใช้ไลโทปีโตรเลียม 120 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำให้กรองยากขึ้น แต่จะได้ CNSL ธรรมชาติเพิ่มเป็นร้อยละ 34.6

นอกจากนี้ Tyman และคณะ (1989) ได้ทดลองใช้วิธีการเขย่าเชิงกล (mechanical agitation technique) ในตัวทำละลายกับเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ค่อนข้าง พบว่าได้ผลได้เพียงครึ่งหนึ่ง (ร้อยละ 15.6) ของ CNSL ธรรมชาติที่มีอยู่ถึงแม้ว่าวิธีการให้คลื่นความถี่เหนือเสียงและวิธีใช้ชอกเล็ก จะให้ผลได้ถึงร้อยละ 24 และ 26 ตามลำดับ แต่ในการที่จะให้ได้ผลได้สูง จะต้องบดลดขนาดให้เล็กลงไปอีก

Weidner (1989) ได้ใช้เทคนิคคลื่นความถี่เหนือเสียงกับชิ้นส่วนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ CNSL ธรรมชาติที่ได้จะถูกตีคาร์บอนซีเลท โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 135^oซ. เพื่อให้ได้คาร์บอนอลปริมาณเท่ากับคาร์บอนอลในเทคนิคอล CNSL (Technical CNSL) การใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 200^oซ. (ซึ่งเป็นอุณหภูมิธรรมดาในทางอุตสาหกรรม) ก็เพื่อให้เกิดพอลิเมอร์น้อยที่สุดและให้ผลได้ดีขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการสกัดโดยใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงที่อุณหภูมิต่ำกับวิธีใช้ชอกเล็ก พบว่าให้ผลได้ไม่แตกต่างกันและต่างก็ประหยัดการใช้ตัวทำละลายได้มากกว่า วิธีการสกัดแบบแช่ ทั้งวิธีการใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงและวิธีใช้ชอกเล็ก จะมีความแปรเปลี่ยนต่อการเขย่าเชิงกลมาก

1.5.4 การสกัด CNSL ด้วยตัวทำละลายแบบหยด (Trickling)

จันทนา คงสังข์ และมลฤดี ประภากรรัตน (2536) ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายในการสกัดแบบหยด และพบว่าวิธีการสกัดแบบหยดให้ผลได้ไม่แตกต่างกับการสกัดแบบแช่ แต่จะใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยกว่า ในการสกัดแบบหยดได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมดังนี้ ขนาดเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 2 มิลลิเมตร ให้ผลได้สูงกว่าขนาด 5 และ 9 มิลลิเมตร อัตราการหยดเฮกเซนที่ช้าลงจะให้ผลได้สูงขึ้น และเมื่อความหนาของเบด (bed) เพิ่มขึ้นผลได้จะลดลง จากการสกัดแบบหยดพบว่า เมื่อใช้เฮกเซนปริมาณ 50 มิลลิลิตร อัตราการหยด 1.22 มิลลิลิตรต่ออนาที สกัดเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขนาด 2 มิลลิเมตรปริมาณ 30 กรัม ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหนึ่งนิ้วจะให้ผลได้ร้อยละ 29.65

1.5.5 การสกัด CNSL โดยวิธีการทอด

ปรีดีผาติ สุวิทยารัตน์ และวชิระ เสาวภาคย์ (2537) ใช้ไฮดรอลิกเพรส ที่ความดัน 20 ตันต่อตารางนิ้ว หีบน้ำมันออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าได้ น้ำมันปริมาณร้อยละ 21 ของน้ำหนักเปลือกปราศจากความชื้น จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C. แล้วใส่เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ยังไม่ผ่านการสกัดลงไป ทำการทอดที่อุณหภูมิต่างๆ กันเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำไปหีบ พบว่าจะได้น้ำมันสูงสุดที่อุณหภูมิ 140°C. ปริมาณร้อยละ 23 เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่านี้อัตราการสูญเสียน้ำมันเนื่องจากการระเหยสูงมาก อย่างไรก็ตามพบว่า การทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะได้น้ำมันมากขึ้น แต่ปริมาณการดีคาร์บอกซิเลทของน้ำมันก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้น้ำมันที่ได้ มีคุณสมบัติต่างจากน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย สำหรับการทอดในระบบปิดเพื่อลดปัญหาการระเหย จะได้แนวโน้มการได้มาของน้ำมันสูงขึ้นตามอุณหภูมิเช่นเดียวกัน

บทที่ 2

หลักการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) หรือ การชะละลาย (leaching)

การชะละลายเป็นการถ่ายโอนตัวละลายออกจากของแข็ง ซึ่งปกติอยู่ในรูปของอนุภาค (particle) ไปสู่ของเหลวที่สัมผัสกัน โดยของเหลวนี้จะเรียกว่าเฟสสกัด (extract phase) การถ่ายโอนมวลนี้ จะเกี่ยวข้องกับการแพร่ของตัวละลายในของแข็ง การแทนที่ของเฟสสกัดในพอร์ (pore) ระหว่างอนุภาคของแข็ง และอาจรวมกระบวนการ solubilization (ปฏิกิริยาเหนี่ยวนำให้เกิดตัวละลายจาก precursor ที่ไม่ละลาย) ตัวละลายแพร่ผ่านสารละลาย ซึ่งแทรกซึมอยู่ในพอร์และเซลล์ของของแข็ง สารละลายส่วนนี้ เรียกว่าสารละลาย occluded

โดยทั่วไปของแข็งจะมีโครงสร้างไม่เหมือนกันทั้งหมด เรียกว่าของแข็งวิวิธพันธ์ (heterogeneous) แต่เราอาจเรียกเป็นเฟสของแข็งได้ การชะละลายจะถูกพิจารณาเป็นกระบวนการถ่ายโอนมวลระหว่าง 2 เฟส เฟสของแข็งประกอบด้วยเมทริกซ์ (matrix) ของแข็งที่ไม่ละลายซึ่งเรียกว่า "marc" และสารละลาย occluded ตัวละลายจะละลายในสารละลาย occluded และแพร่ผ่านสารละลาย occluded ออกมาสู่เฟสสกัด พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายโอนมวลตัวละลาย เช่น

สัมประสิทธิ์การกระจายสมดุลตัวละลาย (solute equilibrium distribution coefficient) ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนของความเข้มข้นตัวละลายที่อยู่ในเฟสสกัดต่อความเข้มข้นตัวละลายที่อยู่ในเฟสของแข็ง ค่านี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของเฟสของแข็งและเฟสสกัด

จำนวน Fick (Fick number) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการแพร่ (diffusivity) ของตัวละลายผ่านเฟสของแข็งและเฟสสกัด

เวลาที่ใช้ในการสกัด

ขนาดอนุภาคของแข็ง

แฟกเตอร์สตรีปปิง (stripping factor) หรือดราฟท์ (draft) คือสัดส่วนของเฟสสกัดและเฟสของแข็งที่ใช้ในการสกัด

จำนวนไบออต (Biot number) สำหรับการถ่ายโอนมวล

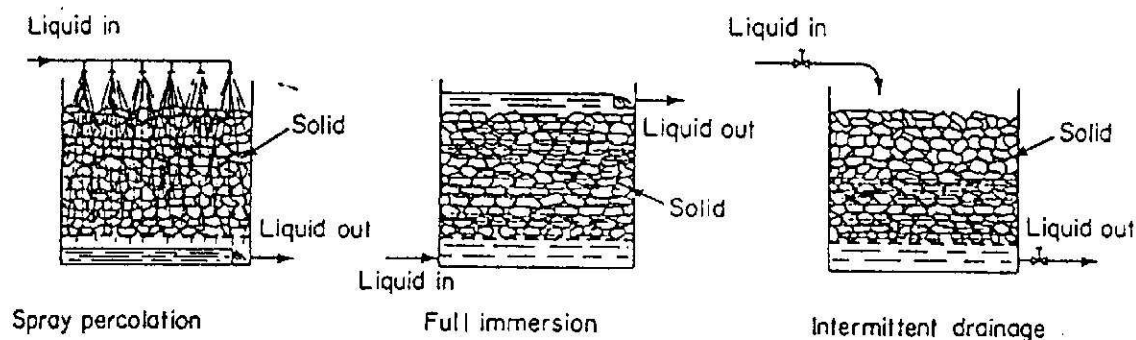
จำนวนเพกเลต์ (Peclet number) เป็นต้น

2.1 วิธีการสัมผัสของของแข็ง-ของเหลว และการแยกของแข็งออกจากสารละลาย (method of solid-liquid contacting and solid-solution separation)

กระบวนการชะละลาย อาจจำแนกได้ตามความต่อเนื่องของกระบวนการ กล่าวคือ อาจดำเนินการแบบแบทช์หรือแบบต่อเนื่อง สำหรับแบบต่อเนื่องอาจจำแนกเป็นแบบขั้น (stepwise) หรือแบบไม่เป็นขั้น (stepless) (Schwartzberg, 1980) วิธีการสัมผัสของของแข็ง-ของเหลว จำแนกได้ 2 ชนิดคือ การสัมผัสในเบดนิ่ง (fixed-bed contacting) ซึ่งอนุภาคของแข็งจะอยู่กับที่ กับวิธีการสัมผัสแบบกระจาย (dispersed contact) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็ง สัมผัสกับอนุภาคของแข็งด้วยกันและสัมผัสกับของเหลว

สำหรับการสัมผัสในเบดนิ่ง ตัวทำละลายจะสัมผัสกับเบดนิ่งของแข็งใน 3 ลักษณะต่างๆ กัน (ภาพประกอบ 2.1) ดังต่อไปนี้คือ

1. การซึมผ่านจากการฉีดพ่น (spray percolation)
2. การแช่ (full immersion)
3. การระบายของเหลวออกเป็นระยะ (intermittent drainage)



ภาพประกอบ 2.1 วิธีการสัมผัสของของแข็งกับของเหลว

ที่มา: Schwartzberg (1980)

วิธีการซึมผ่านจากการฉีดพ่นนั้น ตัวทำละลายจะถูกฉีดพ่นบนของแข็งและปล่อยให้ของเหลวระเหยออกอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้อาจใช้การหยด (trickling) แทนก็ได้ (Treybal, 1980) สำหรับวิธีการเช่นนั้น ของแข็งจะจมอยู่ในของเหลว โดยตัวทำละลายที่ใช้อาจนำมาดำเนินการแบบแบทช์ หรือเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง ส่วนในวิธีที่สามจะเกี่ยวข้องกับการระเหยตัวทำละลายออกจากของแข็งเป็นระยะ สำหรับวิธีการสัมผัสแบบกระจายนั้น มักจะมีผลจากการเขย่าหรือการกวนที่เหมาะสม (Schweitzer, 1979)

การเลือกเครื่องมือที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของของแข็ง ความยากในการแยก และต้นทุนในการจัดการของแข็ง ในหลายๆ กรณีมักจะนำไปสู่เครื่องมือที่มีลักษณะเฉพาะสำหรับอุตสาหกรรมนั้นๆ (Treybal, 1980)

เครื่องมือสัมผัสแบบเบดนิ่งอย่างง่ายที่สุด ประกอบด้วยถังเปิดที่มีรูพรุนตรงส่วนล่าง ตัวทำละลายจะไหลผ่านชั้นของแข็ง ด้วยแรงโน้มถ่วงโดยไม่ละลายของแข็งเฉื่อย (inert) ส่วนตัวอย่างเครื่องมือสัมผัสแบบกระจายนั้น ได้แก่ถังชะละลายที่ของแข็งจะแผ่กระจายอยู่ในตัวทำละลายเนื่องจากการกวน การตกตะกอนอาจทำในถังเดียวกันหรือใช้หน่วยตกตะกอนอื่นที่แยกออกมา หรืออาจใช้เครื่องกรองแบบต่างๆ ถ้าตัวทำละลายที่ใช้ ระเหยง่าย หรือการไหลชะละลายเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็นไปอย่างเชื่องช้า อาจใช้ถังปิดที่มีปั๊ม เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของตัวทำละลาย

ส่วนการแยกตัวทำละลายและตัวละลายออกจากกัน อาจใช้วิธีการต่างๆ เช่น การทำให้ใส (clarification) การระเหย (evaporation) และการกลั่น (distillation) (Schweitzer, 1979)

2.2 การเตรียมกระแสป้อนของแข็ง (solids feed preparation)

การเตรียมกระแสป้อนของแข็ง มีบทบาทสำคัญมากในกระบวนการชะละลาย การใช้อณูภาคขนาดเล็ก จะเพิ่มอัตราการถ่ายโอนการแพร่ของตัวละลายจากของแข็งสู่เฟสสัท แต่หากใช้ขนาดเล็เกินไป เฟสสัทจะไม่สามารถไหลผ่านชั้นหรือเบด (bed) ของของแข็งได้เร็วเท่าที่ต้องการ การเกาะติดของเฟสสัทบนผิวของแข็งจะมากยิ่งขึ้น ความยากในการแยกเฟสของแข็ง-ของเหลว อาจเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้ขนาดของอนุภาคที่เหมาะสม เป็นสิ่งที่ต้องการอย่างมาก อนึ่งการลดขนาดของอนุภาคจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอีกส่วนหนึ่งด้วย

2.3 การเลือกตัวทำละลาย (solvent selection)

คุณสมบัติของตัวทำละลายเช่น จุดเดือด ความหนาแน่น และความหนืด มีผลต่อความเหมาะสม และความสามารถในการเลือกจับตัวละลายหรือสภาพการเลือก (selectivity) เพื่อให้การสกัดตัวละลายที่ต้องการให้ได้ปริมาณ และคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ปริมาณและอัตราของตัวทำละลายต่อตัวละลายที่ต้องการ รวมทั้งสิ่งเจือปนอื่นๆ ในของแข็งมีอิทธิพลอย่างมากต่อขนาดและชนิดของเครื่องสกัด (extractor) ค่าดำเนินการรวม (overall operating cost) และต้นทุน (fixed cost) ในการแยก เช่น เครื่องมือที่ใช้แยกตัวละลายออกจากตัวทำละลาย และนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ (solvent and solute recovery equipment) และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ตัวทำละลายที่ใช้ควรมีความเหมาะสมในการชะละลาย หรือสภาพการเลือกสูง ราคาถูก ไม่เป็นพิษ และใช้ประโยชน์ได้ทันที พบว่าบ่อยครั้งที่ต้องอาศัยความเหมาะสมหลายๆ ด้านเกี่ยวกับความต้องการเหล่านี้ ระหว่างตัวทำละลายแต่ละชนิดก่อนการเลือกใช้ (Schweitzer, 1979)

2.4 อุณหภูมิในการชะละลาย (temperature of leaching)

โดยทั่วไปกระบวนการชะละลาย จะกระทำที่อุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ทำให้การละลายของตัวทำละลายเกิดขึ้นได้ดีกว่า (Treybal, 1980) จึงทำให้ความเข้มข้นของตัวละลายในส่วนที่สกัดได้สูงขึ้น อัตราการชะละลายจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนืดของของเหลวลดลง และการแพร่ของตัวละลายและตัวทำละลายสูงกว่าค่าที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงในการผลิตผลิตภัณฑ์ธรรมชาติบางชนิด เช่น กาแฟ และชูการ์บีท จะทำให้วัสดุที่ไม่ต้องการออกมาระหว่างการสกัดมากเกินไป และเกิดการเสื่อมเสียทางเคมีของผลิตภัณฑ์

อนึ่ง การดำเนินการที่อุณหภูมิสูง อาจไม่สามารถทำได้เนื่องจากมีการสูญเสียตัวทำละลายมากเกินไป และด้วยเหตุผลทางด้านความปลอดภัย ดังนั้นจึงต้องอาศัยการพิจารณาความเหมาะสมในหลายๆ ประการ ในการเลือกอุณหภูมิที่จะใช้

บทที่ 3

วิธีการวิจัยและผลการวิจัยเบื้องต้น

3.1 กรอบแนวคิดการวิจัยเบื้องต้น

จากการตรวจสอบเอกสารและการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ในเมืองไทยยังไม่มี การสกัด CNSL ด้วยการทอดก่อนนำมากะเทาะเปลือกเลย ดังนั้นวัตถุประสงค์เลือก เมล็ดมะม่วงหิมพานต์จึงอยู่ในสภาพเปลือกครึ่งซีกทั้งหมด

ข้อคิดแรกคือข้อกำหนดขนาดของเปลือกที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดใน อุตสาหกรรม การทดลองส่วนมากกระทำในห้องปฏิบัติการที่มีการลดขนาดเปลือก ด้วยวิธีต่างๆ แต่การลดขนาดเปลือกในอุตสาหกรรมต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก คณะวิจัยได้ทดลองลดขนาดเปลือกด้วยการบดเปลือกให้มีขนาดเม็ด การบดจะต่ำมากเพราะ CNSL ที่แตกออกมามีความหนืดสูง ทำให้ไม่สามารถขับ ดันของแข็งให้เคลื่อนที่ได้โดยง่าย มีการสูญเสีย CNSL จำนวนมาก วิธีลดขนาดที่เร็ว อาจกระทำได้ด้วยเครื่องลดขนาดแบบลูกกลิ้ง (two-roll mill)

การสกัดโดยใช้เปลือกครึ่งซีกโดยไม่ต้องลดขนาดจะได้ผลได้ (yield) ที่ต่ำมาก เนื่องจากผิวชั้น endocarp และ epicarp ไม่ยินยอมให้ตัวทำละลายแพร่ผ่านไปได้ การแพร่จะเกิดเพียงรอยผ่าของชั้น mesocarp ซึ่งมีพื้นที่เป็นส่วนน้อยและระยะทาง ในการแพร่ยาวมาก ดังนั้นการลดขนาดเปลือกที่ใช้ในการวิจัยจะอยู่บนฐานที่มีขนาด เล็กเพียงพอที่สามารถสกัดได้โดยเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการสกัดและค่าใช้จ่ายใน การลดขนาด

ตัวทำละลายที่ใช้วิจัยนี้ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากราคาถูกสามารถ นำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้ เช่นในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืช

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเบื้องต้นได้เลือกใช้ที่อุณหภูมิห้อง เพราะจากการ ตรวจสอบเอกสารพบว่าอัตราการสกัดด้วยเฮกเซนไม่ล่าช้ามาก และไม่เสียค่าใช้จ่ายใน การควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินการทางอุตสาหกรรม

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุ ประกอบด้วย

1. เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (ครึ่งซีก)
2. เฮกเซน (n-hexane) commercial grade
3. extraction thimble, paper ขนาด 43 x 123 มม.

3.2.2 อุปกรณ์ ประกอบด้วย

1. เครื่องสกัดแบบ soxhlet
2. เครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ แบบลูกกลิ้ง (two-roll mill)
3. ตู้อบ
4. ปุ่มสุญญากาศ
5. electric heating mantle
6. เครื่องสกัด CNSL แบบ screw conveyor

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การหาความชื้นโดยวิธี Air Oven Method

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บดแล้วประมาณ 20 กรัม ใส่ในจานเพาะเชื้อ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°ซ. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จึงชั่งน้ำหนักที่หายไป

2. คำนวณร้อยละความชื้น

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{นน. ที่หายไป}}{\text{นน. เปลือกเริ่มต้น}} \times 100$$

3.3.2 การสกัด CNSL โดยวิธี Soxhlet Extraction Method

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ประมาณ 30 กรัม ใส่ลงใน thimble แล้วบรรจุลงใน soxhlet

2. นำขวดก้นกลมที่มี glass bead 2-3 เม็ด ไปอบที่อุณหภูมิ 100°ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน เป็นน้ำหนักครั้งแรก

3. เติมหะเสน ประมาณ 300 มล. ลงในขวดก้นกลม แล้วประกอบเข้ากับ soxhlet ทำการรีฟลักซ์ (reflux) 4 ชั่วโมง โดยปรับ heating mantle ให้มีการหมุนเวียนของของเหลว มากกว่าหรือเท่ากับ 30 ครั้ง

4. นำสารละลายที่ได้ไปแยกคีนเฮกเซนออก แล้วอบ CNSL ที่อุณหภูมิ 105°ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมที่ได้เป็นน้ำหนักสุดท้าย จะได้

$$\text{น้ำหนัก CNSL} = \text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักครั้งแรก}$$

$$\text{ร้อยละ CNSL (wet basis)} = \frac{\text{น้ำหนัก CNSL}}{\text{น้ำหนักเปลือก}} \times 100$$

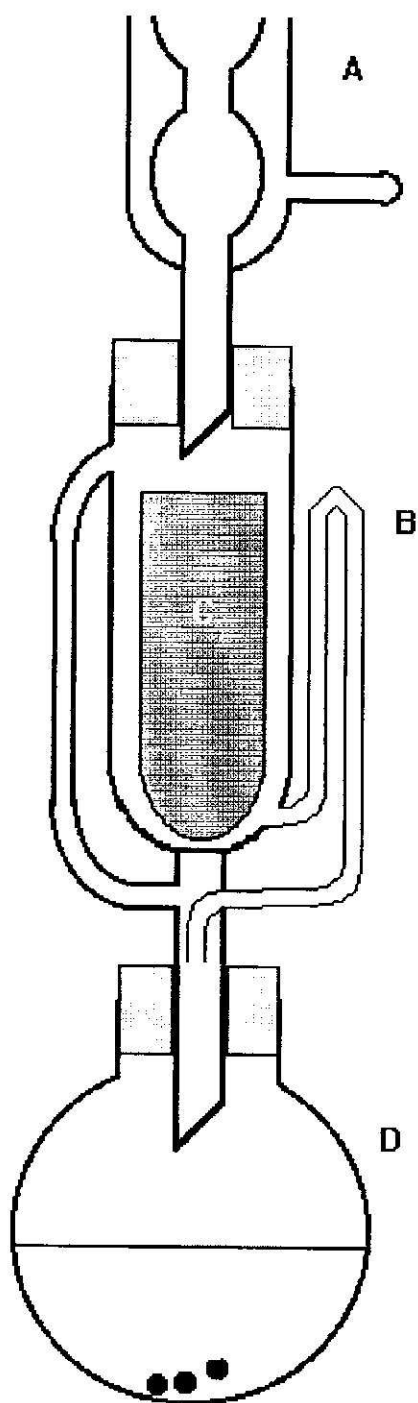
3.3.3 การหาความเข้มข้นของ CNSL จากความหนาแน่นของสารละลาย

CNSL

1. เตรียมสารละลาย CNSL ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. เขย่าให้เข้ากัน จำนวน 20 ขวด (ทำซ้ำ 2 ครั้ง) โดยควบคุมอุณหภูมิขณะทดลองให้คงที่ ที่ 25°ซ.

2. วัดความหนาแน่นของสารละลายโดยใช้ pycnometer ขนาด 25 มล. และวัดความเข้มข้นโดยน้ำหนัก โดยการบีบอัดสารละลาย 5 มล. ใส่ในภาชนะปากแคบ รีบชั่งน้ำหนักทันทีแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก CNSL นำไปคำนวณความเข้มข้น

3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น (กรัม/มล.) และความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ดูได้จากภาพประกอบ ข.1 ในภาคผนวก ข. เมื่อต้องการหาความเข้มข้นของสารละลาย CNSL ก็เพียงแต่นำสารละลายมาหาความหนาแน่นด้วย pycnometer แล้วคำนวณด้วยสมการจากความสัมพันธ์ที่ได้จากกราฟดังกล่าว วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายสะดวกรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง



- A - reflux condenser
- B - soxhlet
- C - thimble
- D - round bottom flask

ภาพประกอบ 3.1 แสดงเครื่องสกัดแบบ soxhlet

3.4 การสร้างเครื่องลดขนาดเปลือก

จากการพิจารณาลักษณะทางกายภาพ ของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ประกอบด้วยโครงสร้าง 3 ชั้น คือ

1. ผิวชั้นนอก มีสีน้ำตาลหรือเทา ลักษณะขรุขระ ผิวด้านและไม่เป็นมันวาว เห็นแว่แตกหักได้ยาก

2. ผิวชั้นกลาง เป็นเยื่อสีน้ำตาล ประกอบกันเป็นช่องว่างคล้ายรังผึ้ง แต่มีขนาดแตกต่างกัน มีของเหลวสีน้ำตาลอยู่ภายในช่องว่างนั้น

3. ผิวชั้นใน มีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบเป็นมันวาว แข็งแต่แตกหักได้ง่ายกว่าผิวชั้นนอก

ได้ทำการทดลอง หยดเฮกเซนลงบนผิวของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ทั้ง 3 ชั้น แล้วจับเวลาที่เฮกเซนหายไป

	<u>เวลาที่หายไป (วินาที)</u>
ผิวชั้นนอก	15
ผิวชั้นกลาง	3-5
ผิวชั้นใน	45
แผ่นแก้ว	45-50

สรุปได้ว่า เฮกเซน 1 หยดระเหยไปในเวลา 45-50 วินาที (โดยการหยดบนแผ่นแก้ว) เปรียบเทียบกับผิวทั้ง 3 ชั้นของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จะเห็นว่า เฮกเซนไม่สามารถซึมผ่านผิวชั้นในได้เลย ซึมผ่านผิวชั้นนอกได้เล็กน้อยแต่ซึมผ่านผิวชั้นกลางได้ดีที่สุด ดังนั้นในการสกัด CNSL จึงต้องย่อยเปลือกให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้มีพื้นที่ของผิวชั้นกลางมากขึ้น เฮกเซนจึงจะแพร่เข้าได้ดี จากวิทยานิพนธ์ของ ไวกูณฑ์ (2538) ใช้เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มม. ซึ่งบดโดยใช้ค้อนทุบ เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ จำเป็นต้องหาวิธีย่อยเปลือกโดยใช้เวลาและพลังงานให้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ แต่ยังคงสามารถสกัด CNSL ได้ในปริมาณสูง

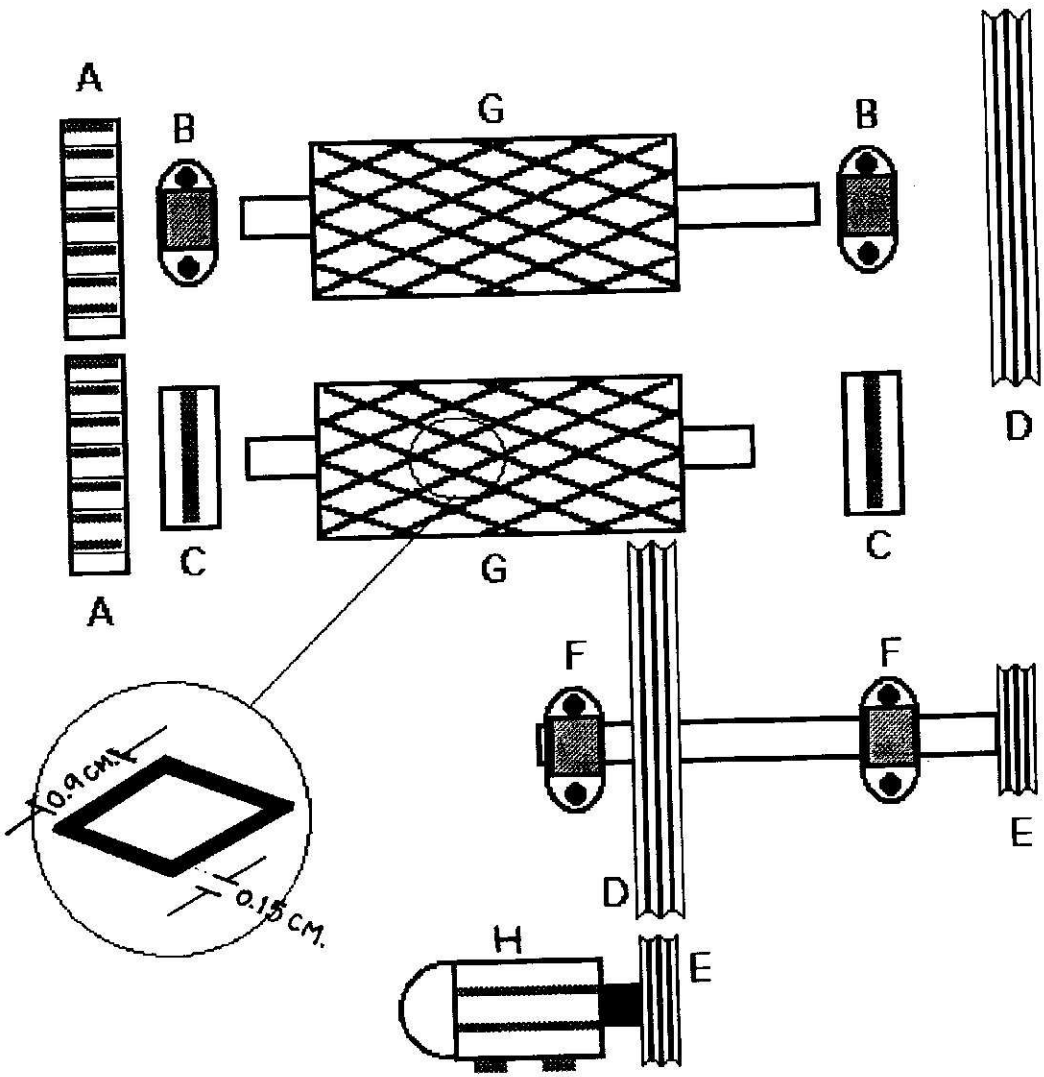
ได้ทำการทดลองย่อยเปลือกแบบต่างๆ กันแล้วนำมาสกัดด้วยเฮกเซน (soxhlet method) ได้ผลการสกัดดังนี้

	% CNSL (นน.CNSL/นน.เปลือก)
1.เปลือกปกติ(ไม่มีการย่อยขนาด)	5.80
2.เปลือกขนาด 2 มม.	33.62
3.เปลือกที่ทุบพอแตก*	33.09
4.เปลือกที่บดละเอียด	34.19

*ผิวชั้นในมีรอยแตกให้เฮกเซนซึมผ่านผิวชั้นกลางได้ แต่ผิวชั้นนอกยังคงติดกันเป็นชั้นเดียวเช่นเดิม

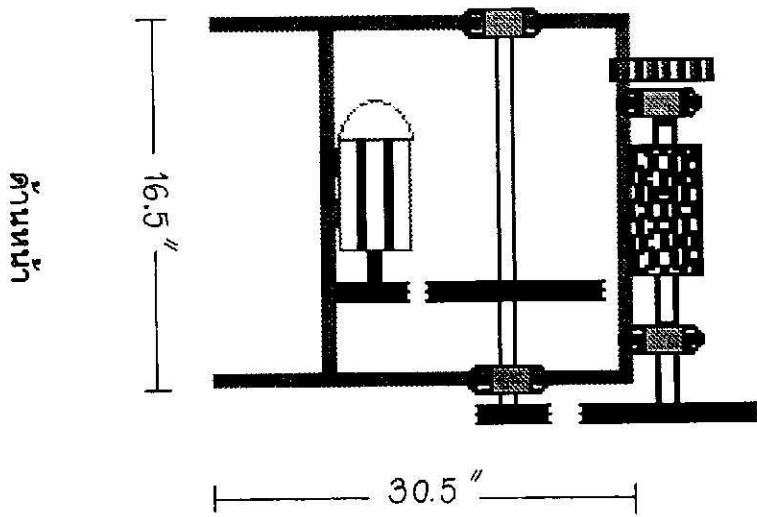
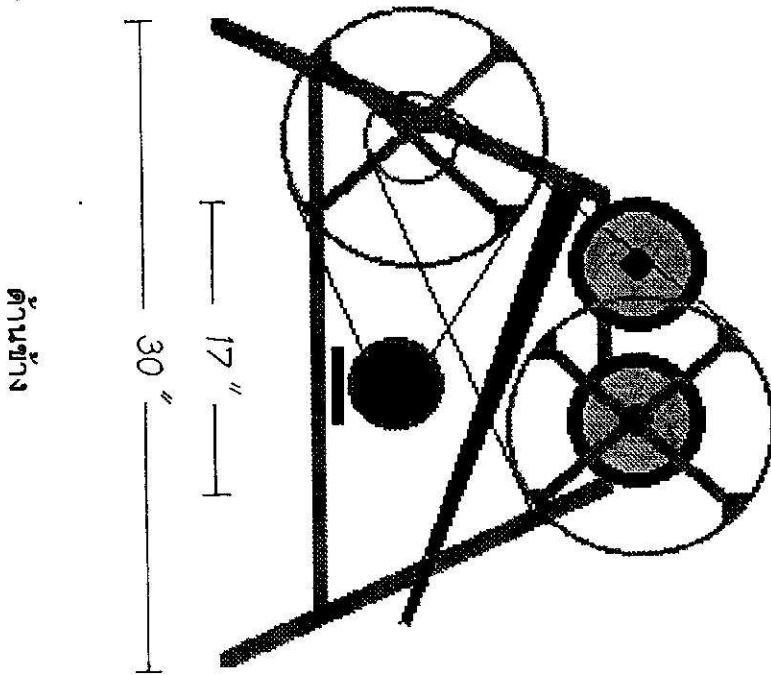
จากการทดลอง จะเห็นว่าไม่จำเป็นต้องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ให้มีขนาดเล็กประมาณ 2 มม. เพียงแต่บดให้ผิวชั้นในเกิดการแตก (crack) ก็พอแล้ว แต่ต้องให้พื้นที่ผิวของการแตกบนผิวชั้นในมีขนาดมากพอสมควร เพื่อให้เฮกเซนแพร่ผ่านผิวชั้นกลางเข้าไปในช่องว่างของเนื้อเยื่อได้มากขึ้น การแพร่จึงจะเกิดได้สมบูรณ์ จากลักษณะเปลือกที่ต้องการซึ่ง ไม่จำเป็นต้องทำให้เปลือกขาดเป็นชั้นๆ แต่ต้องให้เกิดรอยแตกบนผิวชั้นใน จึงได้ออกแบบเครื่องย่อยเปลือกแบบลูกกลิ้ง (two-rolls mill) เพื่อใช้บดเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ให้ได้ตามจุดประสงค์นี้ รายละเอียดของเครื่องย่อยเปลือกแสดงไว้ในภาพประกอบ 3.2.

เนื่องจากเครื่องย่อยเปลือกแบบลูกกลิ้งนี้ จะทำให้ผิวชั้นในและชั้นกลางแตกออกเท่านั้น จำเป็นต้องหาขนาดหรือปริมาณการแตก ว่ามีผลต่อการสกัดอย่างไร โดยทำการบดเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยจำนวนครั้งต่างกัน (ครั้งที่ 1, 2 และ 3 กำหนดด้วยความกว้างของลูกกลิ้งในเครื่องย่อยเปลือก เป็นมาตรฐานทุกครั้ง) แล้วนำไปแช่ในเฮกเซน 150 มล. เป็นเวลา 5 นาที พร้อมทั้งเขย่าตลอดเวลา ได้ผลดังตาราง 3.1.



- A - เฟืองเหล็ก 12 ฟัน เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว
- B - ตั๊กดา
- C - ตั๊กดาเหลี่ยม
- D - Pulley 14 นิ้ว
- E - Pulley 3 นิ้ว
- F - ตั๊กดา
- G - ลูกกลิ้งกลิ้งลาย เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว
- H - มอเตอร์ 3 เฟส 380 โวลต์

ภาพประกอบ 3.2 แสดงรายละเอียดของเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



ภาพประกอบ 3.3.แสดงเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ตาราง 3.1. แสดงผลของการบดด้วยจำนวนครั้งที่ต่างกัน แซ่ด้วยเฮกเซน 5 นาที

จำนวนครั้งที่บด	นน.เปลือก (กรัม)	นน. CNSL (กรัม)	ร้อยละ CNSL
1	30.01	2.10	6.98
2	29.80	4.14	13.88
3	30.22	6.55	21.66

และทดลองแซ่ด้วยเฮกเซน เป็นเวลา 30 นาที พร้อมทั้งเขย่าตลอดเวลา แสดงไว้ในตาราง 3.2.

ตาราง 3.2 แสดงผลของการบดด้วยจำนวนครั้งที่ต่างกัน แซ่ด้วยเฮกเซน 30 นาที

จำนวนครั้งที่บด	นน.เปลือก (กรัม)	นน. CNSL (กรัม)	ร้อยละ CNSL
2	30.32	5.78	19.07
3	31.32	8.36	26.69

จากการทดลอง สรุปได้ว่า ควรบดเปลือกให้มากกว่าครั้งจะสกัด CNSL ได้มากขึ้น แต่ไม่ควรบดเกิน 3 ครั้ง เพราะจะทำให้เปลือกขาดจากกัน มีเศษผงจากการบดเกิดขึ้นมากและน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ถูกบีบออกขณะบด จะติดค้างอยู่ตามเครื่องย่อยเปลือกมากขึ้น ดังนั้นจำนวนครั้งในการบดที่เหมาะสมคือ 3 ครั้ง

กระบวนการที่ผ่านมาคือ การเตรียมวัตถุดิบให้เหมาะสม ก่อนเข้าสู่กระบวนการสกัดด้วยเฮกเซน วัตถุดิบที่เตรียมได้จะมีลักษณะคล้ายวัตถุดิบเริ่มต้น แต่แบนกว่า เพราะถูกบีบให้ผิวชั้นในแตกออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ

3.5 การสร้างเครื่องสกัด CNSL แบบเกลียวลำเลียง (screw conveyor)

เนื่องจากการสกัดที่มีประสิทธิภาพ ควรจะเป็นการสกัดแบบไหลสวนทางแบบ ต่อเนื่อง จากแนวคิดนี้ประกอบกับข้อมูลที่มีอยู่ คือ

1. ลักษณะของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ย่อยแล้ว (ดูภาพประกอบในภาคผนวก ก.)

- รูปร่างเป็นแผ่นแบน ทั้งแบบสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์
- ความหนา เฉลี่ย 2.5 มม.
- มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25-30 มม.
- มีรอยแตกมากมาย จนเห็น CNSL ซึมออกมา
- bulk density 0.31 กรัม/ซม.³
- apparent density 1.08 กรัม/ซม.³
- void 0.73

2. ตัวละลายที่ใช้คือ เฮกเซน ซึ่งมีจุดเดือดประมาณ 70 °ซ. ดังนั้นในการสกัด ต้องทำในระบบปิด เพื่อป้องกันการระเหยของเฮกเซน (ต้องระวังเรื่องการติดไฟด้วย)

3. การสกัดต้องมีการกวน เพื่อให้การแพร่เกิดขึ้นได้ดี

จากข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ จึงได้สร้างเครื่องสกัด แบบเกลียวลำเลียง (screw conveyor) เป็นรางแนวนอน มีการไหลสวนทางกัน รางสกัดและสกรูทำด้วยเหล็กไร้สนิม ฝาปิดด้านบนทำด้วยแผ่นพลาสติกใส (ภาพประกอบ 3.4, 3.5 และ 3.6)

3.5.1 รายละเอียดของเครื่องสกัด

- รางสกัด หนา 1.5 มม.

ความยาวตลอดรางสกัด 225 ซม.

ความยาวที่เกิดการสกัด 180 ซม.

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของรางสกัด 15.60 ซม.

สามารถปรับให้ด้านหน้าเงยขึ้นทำมุม 5 องศา กับแนวระดับ

-ใบสกรู (flight) ทำด้วยเหล็กไร้สนิม หนา 0.3 ซม.

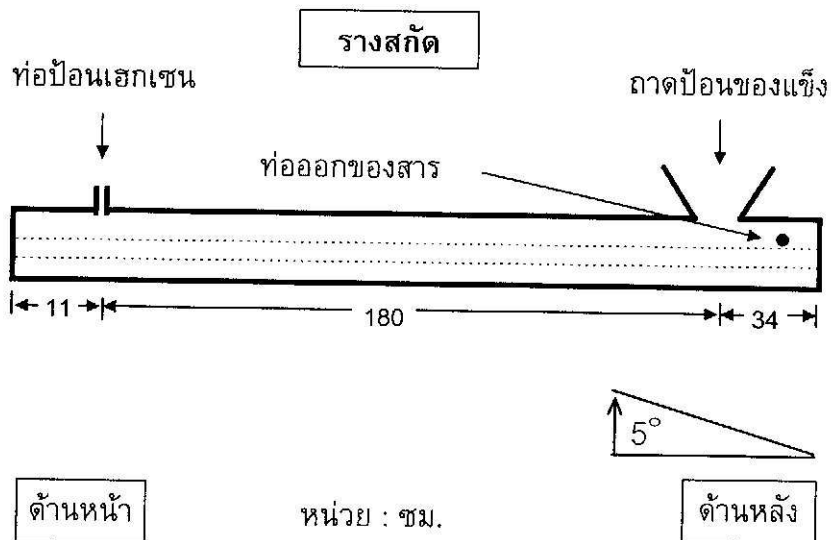
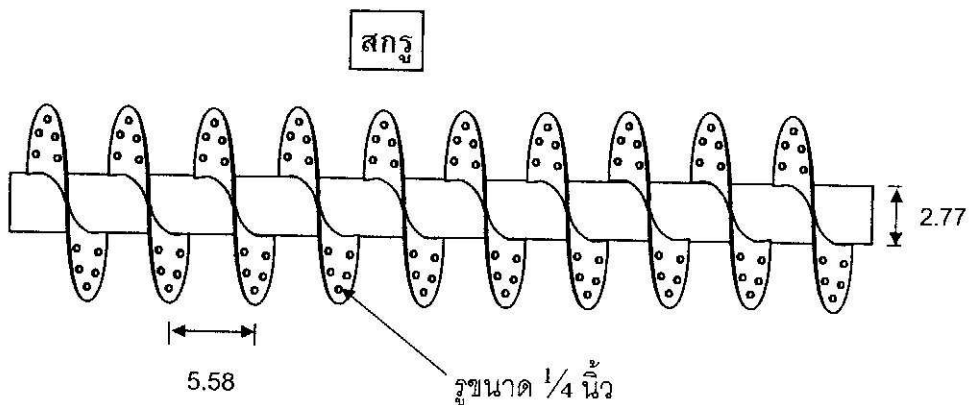
เจาะรูขนาด 1/4 นิ้ว ทั่วทั้งใบ

เส้นผ่าศูนย์กลางของใบสกรู 15.24 ซม. (6 นิ้ว)

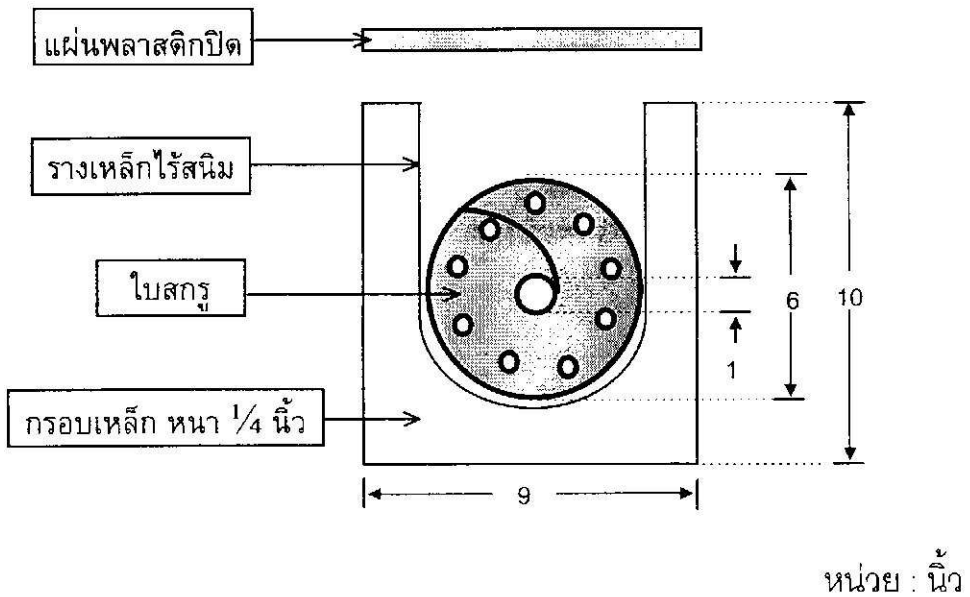
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของแกนสกรู 2.77 ซม. (ท่อ 1 นิ้ว)

ระยะ pitch เฉลี่ย 5.58 ซม.

-ต้นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนสกรู เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส แบบปรับรอบได้ ใช้เฟืองโซ่เป็นตัว
ทดรอบอีกทีหนึ่ง



ภาพประกอบ 3.4 สกรูและภาพด้านข้างของรางสกรู



ภาพประกอบ 3.5 ภาพตัดขวางของรางสกัด

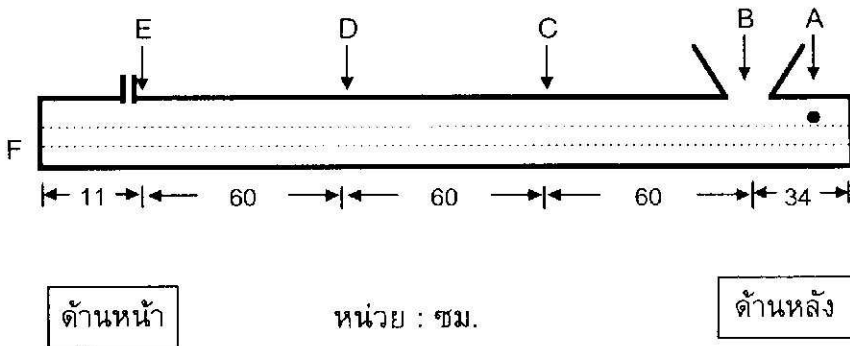
3.5.2 หลักการทำงาน ของเครื่องสกัด CNSL

เริ่มจากการป้อนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยเครื่องป้อนของแข็งขนาดเล็ก ซึ่งเป็นแบบสายพานลำเลียง เพื่อควบคุมให้อัตราการป้อนมีความสม่ำเสมอ เมื่อเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ตกลงไปในรางสกัด สกรูจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในขณะเดียวกัน เฮกเซนใหม่ถูกป้อนเข้ามาจากทางด้านหน้าและไหลสวนทางกับเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ระหว่างทางจะเกิดการสกัดเป็นเวลาที่กำหนดโดยการปรับความเร็วรอบของสกรู นอกจากนี้สกรูยังทำหน้าที่กวนไปด้วย เมื่อเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เคลื่อนที่ไปจนสุดปลายด้านหน้า ก็จะตกลงสู่ถังรองรับ ส่วนของเหลวที่ไหลสกัดจนถึงด้านหลัง จะไหลลงจากระดับเหนือใบสกรู ผ่านวาล์วไปยังถังเก็บ เพื่อนำสารละลายที่ได้ไปกลั่นแยกเอาเฮกเซนกลับมาใช้ใหม่

3.5.3 การเก็บตัวอย่าง

ของเหลว เก็บตัวอย่างที่จุด A, B, C, D และ E เรียงตามลำดับ ตามภาพประกอบ 3.6 โดยใช้ปิเปตดูดสารละลาย ประมาณ 25 มล. ใส่ในขวดพลาสติกที่ปิดฝาสนิท และรีบวิเคราะห์โดยเร็ว

ของแข็ง เก็บตัวอย่างที่จุด F โดยใช้ขวดปากกว้างที่มีฝาปิดสนิท และรีบนำไปวิเคราะห์โดยเร็ว



ภาพประกอบ 3.6 แสดงจุดเก็บตัวอย่าง

3.6 การศึกษาแผนภาพสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert จากวัตถุดิบที่เตรียมได้

วิธีการ

1.เตรียมวัตถุดิบโดยการบดด้วยเครื่องย่อยเปลือก 3 ครั้ง หากร้อยละความชื้นของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

2.นำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 30 กรัม (ซึ่งน้ำหนักแน่นอน) ใส่ลงในขวดที่มีเฮกเซน 120 กรัมแล้วปิดจุกยาง ทำซ้ำอีก 1 ขวด จากนั้นเตรียมขวดอีก 9 ขวด แต่ละขวดเติมเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เฮกเซน และ CNSL ตามสัดส่วนที่แสดงไว้ในตาราง 3.3

ตาราง 3.3 แสดงสัดส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ : เฮกเซน :

CNSL

ชุดที่	เปลือก (กรัม)	เฮกเซน (กรัม)	CNSL (กรัม)
1	30	120	-
2	30	111	9
3	30	108	12
4	30	99	21
5	30	94.5	25.5
6	30	85.5	34.5
7	30	76.5	43.5
8	30	64.5	55.5
9	30	45	75
10	30	21	99

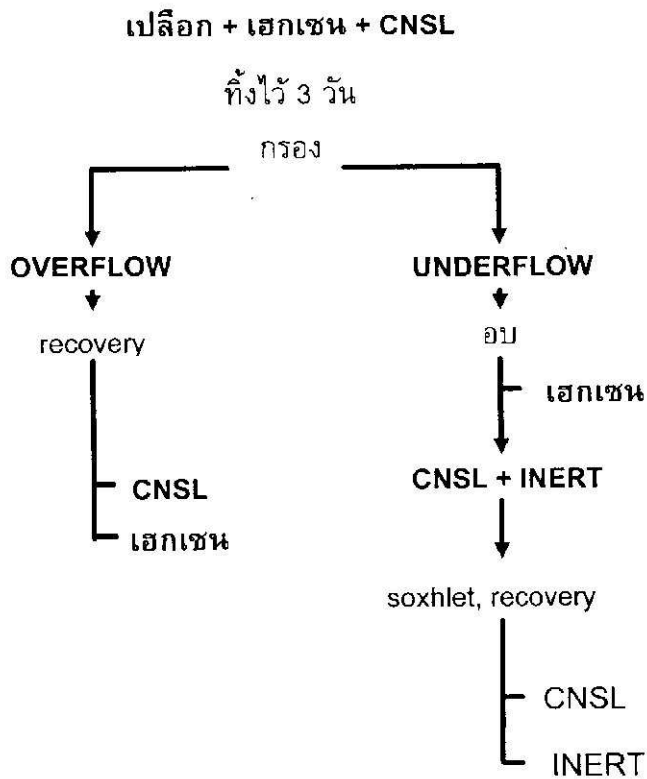
3. เมื่อเตรียมตัวอย่างครบแล้ว เก็บไว้ 3 วัน โดยเขย่าอย่างแรงวันละ 1 ครั้ง เมื่อครบกำหนดทำการกรองของเหลว (overflow) ออกจากของแข็ง (underflow) แล้วนำทั้งสองส่วนไปวิเคราะห์ และชั่งน้ำหนักของแข็งที่ติดอยู่บนกระดาษกรองด้วย

4.วิเคราะห์ overflow โดยนำของเหลวไปทำการแยกคั้นเฮกเซนออก โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 75°ซ.จะได้ CNSL ในขวดก้นกลม ซึ่งมีเฮกเซนปนอยู่เล็กน้อย นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°ซ.เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำขวดก้นกลมมาใส่ในโถดูดความชื้นจนเย็นลง แล้วชั่งน้ำหนัก CNSL ที่ได้

5.วิเคราะห์ underflow โดยการชั่งน้ำหนักของแข็งในขวดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°ซ.เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เฮกเซนและน้ำระเหยไป ชั่งน้ำหนักของ inert + CNSL (ที่ค้างอยู่ในเปลือก) นำไปสกัดด้วย soxhlet โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวละลาย เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (ขณะที่เอาของแข็งออกจากขวด จะมี CNSL ติดอยู่ข้างขวด ให้ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปรวมกับ CNSL ที่ได้ในข้อ 4. ซึ่งจะเป็นน้ำหนัก CNSL ใน overflow) จะได้สารละลายของ CNSL ในเฮกเซน นำไปแยกคั้นเฮกเซนออก แล้วอบที่อุณหภูมิ 105°ซ.เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่ง

น้ำหนัก CNSL ที่ได้ ส่วนน้ำหนัก inert ที่ได้ต้องรวมกับน้ำหนักของแข็งที่ติดบนกระดาษกรองในข้อ 3. จึงจะเป็นน้ำหนัก inert ใน underflow

6. นำค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้งใน overflow และ underflow ไปคำนวณสัดส่วน (fraction) และสร้างแผนภาพสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert แสดงไว้ในตาราง 4.1 และภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 3.7.แผนภาพการหาสมดุลเฟส CNSL - Hexane - Inert

3.7 วิธีการวิจัย

ทุกครั้งที่จะเริ่มดำเนินการทดลอง จะต้องเติมเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บดแล้ว ในรางสกัดให้ได้ระดับตามต้องการ คือเต็มสกรู และรีบเติมเฮกเซนลงไปในรางสกัดอย่างรวดเร็วให้ได้ระดับที่กำหนดไว้ จากนั้นจะเริ่มจับเวลาทดลอง โดยการป้อนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และเฮกเซน ตามที่กำหนด

3.7.1 ศึกษาผลของความเอียงรางสกัด

1. เตรียมวัตถุดิบ โดยนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาบด 3 รอบ (การบดแต่ละครั้ง ประกอบด้วย 3 รอบ แต่ละรอบจะกำหนดให้มีความกว้างของลูกกลิ้ง ต่างกัน โดยรอบที่ 1, 2 และ 3 จะมีความกว้างจากมากไปหาน้อยตามลำดับ) ทุกชุดของการทดลอง จะบดเช่นเดียวกันตลอด

2. ทำการทดลองสกัดด้วยเฮกเซน โดยกำหนดให้ ดริฟท์ = 1 และเวลารีเทนชัน (retention time) = 10 นาที แล้วเปลี่ยนแปลงมุมของความเอียงรางสกัดเป็น 0, 2.5 และ 5 องศา กับแนวระดับ เก็บตัวอย่างของเหลวที่จุด A, B, C, D, E และของแข็งที่จุด F ทุกๆ 5 นาที

3. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ หาความเข้มข้นที่จุดต่างๆ ตามวิธีการหาความเข้มข้นของ CNSL จากความหนาแน่นของสารละลาย CNSL ในหัวข้อ 3.3.3 และนำตัวอย่างของแข็งไปวิเคราะห์หาสัดส่วนโดยน้ำหนักของเฮกเซน inert และ CNSL โดยอบที่อุณหภูมิ 105°C. นาน 1 ชั่วโมง เฮกเซนก็จะระเหยหมดไปเหลือ CNSL และ inert ซึ่งจะแยกออกด้วยวิธี soxhlet

4. นำผลการทดลองแต่ละครั้ง มาพลอตกราฟระหว่าง เวลาที่ใช้ทดลองกับความเข้มข้นที่จุด A และผลได้ ส่วนรายละเอียดของผลการทดลองแต่ละครั้ง แสดงไว้ในภาคผนวก ค.

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.7.2 ศึกษาผลของเวลารีเทนชัน (retention time)

1. เตรียมวัตถุดิบเช่นเดียวกับ 3.7.1

2. ทำการทดลองสกัดด้วยเฮกเซน โดยกำหนดให้ ดริฟท์ = 1 และมุมของความเอียงรางสกัดเป็น 5 องศา กับแนวระดับ แล้วเปลี่ยนแปลงเวลารีเทนชัน

(retention time) เป็น 7.5, 10, 15 และ 20 นาที เก็บตัวอย่างของเหลวที่จุด A, B, C, D, E และของแข็งที่จุด F ทุกๆ 5 นาที

3. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ หาความเข้มข้นที่จุดต่างๆ ตามวิธีการหาความเข้มข้นของ CNSL จากความหนาแน่นของสารละลาย CNSL ในหัวข้อ 3.3.3 และนำตัวอย่างของแข็งไปวิเคราะห์หาสัดส่วนโดยนำหนักของเฮกเซน inert และ CNSL โดยอบที่อุณหภูมิ 105°C . นาน 1 ชั่วโมง เฮกเซนก็จะระเหยหมดไปเหลือ CNSL และ inert ซึ่งจะแยกออกด้วยวิธี soxhlet

4. นำผลการทดลองแต่ละครั้ง มาพลอตกราฟระหว่าง เวลาที่ใช้ทดลองกับความเข้มข้นที่จุด A และผลได้ ส่วนรายละเอียดของผลการทดลองแต่ละครั้ง แสดงไว้ในภาคผนวก ค.

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.7.3 ศึกษาผลของดราฟท์ (draft)

1. เตรียมวัสดุดิบเช่นเดียวกับ 3.7.1

2. ทำการทดลองสกัดด้วยเฮกเซน โดยกำหนดให้ มุมของความเอียงร่างสกัดเป็น 5 องศา กับแนวระดับและเวลาริเทนชัน = 10 นาที แล้วเปลี่ยนแปลงดราฟท์เป็น 0.5, 1 และ 2 เก็บตัวอย่างของเหลวที่จุด A, B, C, D, E และของแข็งที่จุด F ทุกๆ 5 นาที

3. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ หาความเข้มข้นที่จุดต่างๆ ตามวิธีการหาความเข้มข้นของ CNSL จากความหนาแน่นของสารละลาย CNSL ในหัวข้อ 3.3.3 และนำตัวอย่างของแข็งไปวิเคราะห์หาสัดส่วนโดยนำหนักของเฮกเซน inert และ CNSL โดยอบที่อุณหภูมิ 105°C . นาน 1 ชั่วโมง เฮกเซนก็จะระเหยหมดไปเหลือ CNSL และ inert ซึ่งจะแยกออกด้วยวิธี soxhlet

4. นำผลการทดลองแต่ละครั้ง มาพลอตกราฟระหว่าง เวลาที่ใช้ทดลองกับความเข้มข้นที่จุด A และผลได้ ส่วนรายละเอียดของผลการทดลองแต่ละครั้ง แสดงไว้ในภาคผนวก ค.

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ตาราง 3.4. แสดงความชื้นของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

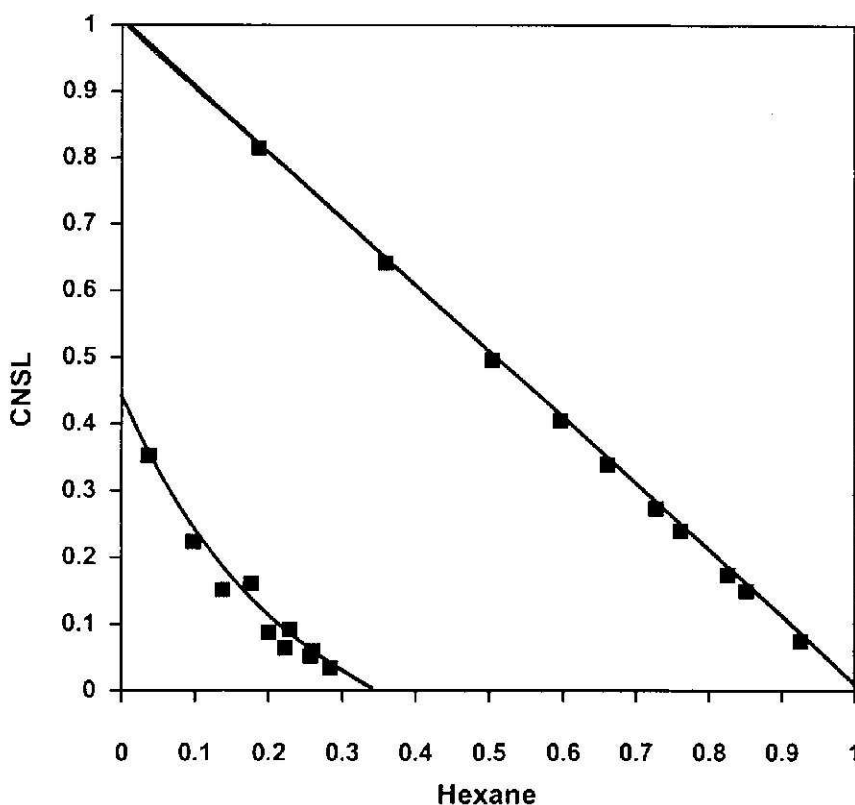
ชุดที่	นน.เปลือก (กรัม)	นน.ที่หายไป (กรัม)	ร้อยละความชื้น
1	20.34	2.01	9.89
2	20.04	2.04	10.02
3	20.08	1.99	9.90
เฉลี่ย			9.94

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาแผนภาพสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert

แผนภาพสมดุลเฟสเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาการถ่ายโอนมวลระหว่างเฟส เพื่อให้ผู้ศึกษาเข้าใจและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการถ่ายโอนมวลสาร แผนภาพสมดุลเฟส CNSL-เฮกเซน ได้ทดลองสร้างขึ้นโดยใช้เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการบดขั้นต้นด้วยอุปกรณ์ two-roll mill จนได้ขนาดที่เลือกว่าเหมาะสมในการทดลองด้วยการบด 3 ครั้ง และหาค่าสมดุลที่อุณหภูมิห้อง แผนภาพสมดุลเฟส แสดงไว้ด้วยภาพประกอบ 4.1



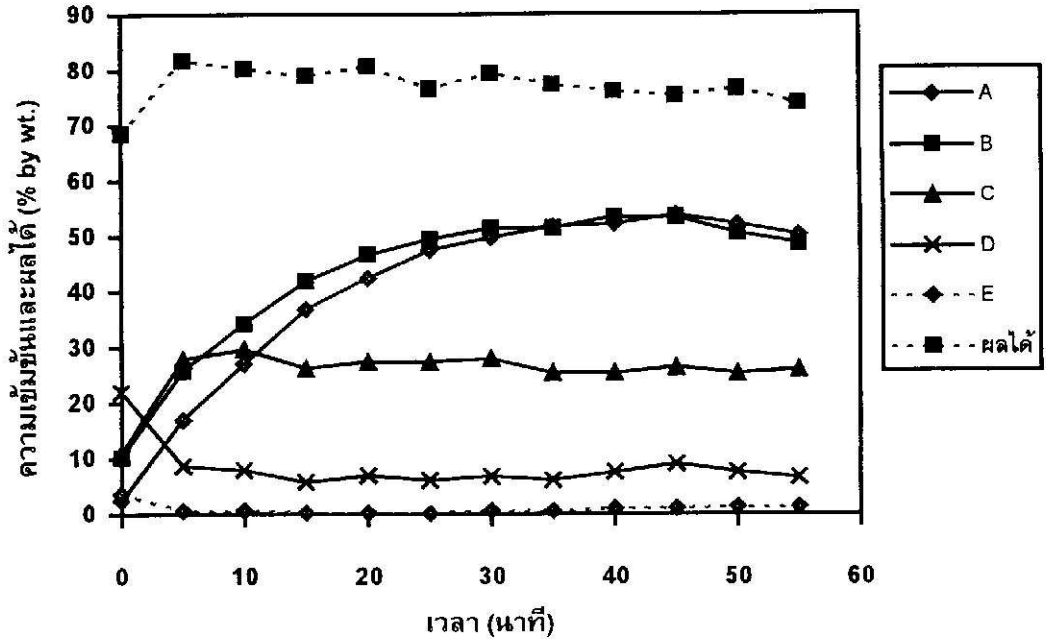
ภาพประกอบ 4.1 แผนภาพสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert

ตาราง 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์หีสมดุลเฟส CNSL-Hexane-Inert

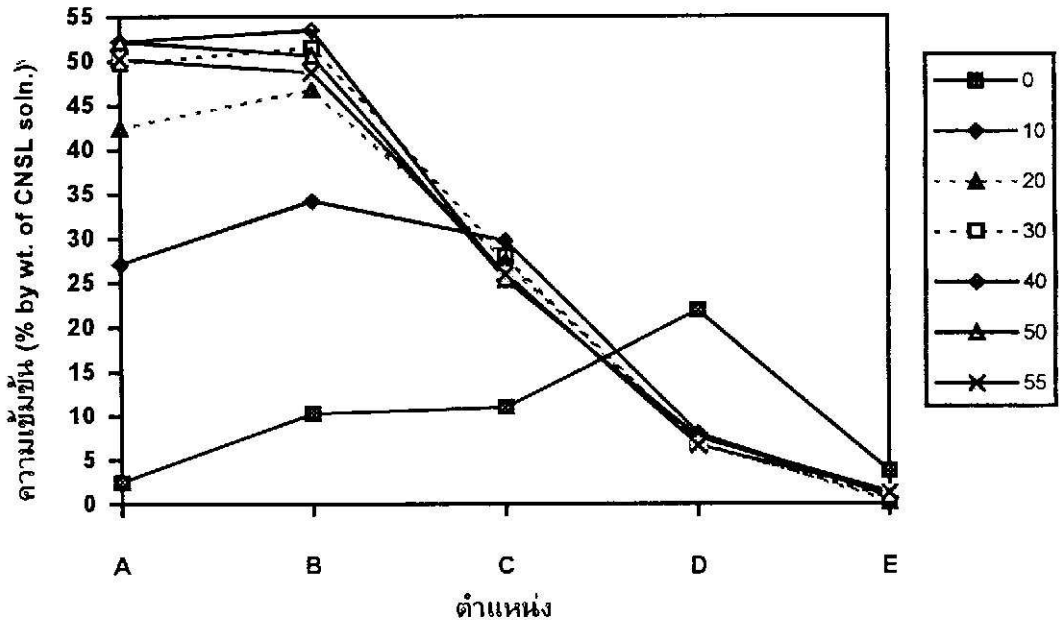
ชุดที่	CNS : Hex. : CNSL	UNDERFLOW (g)			UNDERFLOW FRACTION			OVERFLOW (g)		OVERFLOW FRACTION	
	(g) : (g) : (g)	CNS	Hex.	CNSL	CNS	Hex.	CNSL	Hex.	CNSL	Hex.	CNSL
1	27.75 : 120.05	17.23	7.17	0.82	0.683	0.284	0.033	122.88	9.77	0.926	0.074
2	27.30 : 111.09 : 8.84	16.99	6.33	1.28	0.691	0.257	0.052	104.76	18.33	0.851	0.149
3	27.63 : 109.07 : 11.82	17.28	6.64	1.49	0.680	0.261	0.059	102.43	21.60	0.826	0.174
4	27.13 : 99.60 : 20.64	17.34	5.42	1.56	0.713	0.223	0.064	94.17	29.50	0.761	0.239
5	27.50 : 96.34 : 24.65	17.08	5.76	2.30	0.679	0.229	0.091	90.58	33.93	0.727	0.273
6	27.34 : 86.53 : 33.86	17.83	5.01	2.17	0.713	0.200	0.087	81.52	41.82	0.661	0.339
7	27.74 : 79.66 : 42.38	17.04	4.53	4.14	0.663	0.176	0.161	75.13	50.91	0.596	0.404
8	27.28 : 65.68 : 54.49	18.04	3.46	3.82	0.712	0.137	0.151	62.22	61.12	0.504	0.496
9	27.31 : 46.61 : 73.53	18.20	2.62	5.98	0.679	0.098	0.223	43.99	78.48	0.359	0.641
10	27.21 : 23.62 : 97.10	17.08	1.02	9.83	0.612	0.037	0.352	22.59	98.98	0.186	0.814

CNS : เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

4.2 การพิจารณาการเข้าสู่สถานะคงตัว (steady state)



ภาพประกอบ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา



ภาพประกอบ 4.3 โพรไฟล์ความเข้มข้นของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (นาที) เมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา

วัตถุประสงค์การทดลองคือ ทดลองดำเนินการแบบต่อเนื่องในสถานะคงตัว (steady-state) เช่นการดำเนินการจริงในอุตสาหกรรม ดังนั้นค่าผลการทดลองที่ต้องมั่นใจว่าจะใกล้เคียงค่าของสถานะคงตัวเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรก ทั้งนี้เพื่อการคาดคะเนเวลาในการทดลองและการจัดการวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง จากการทดลองศึกษาเบื้องต้น คาดว่าค่าของสถานะคงตัวน่าจะเกิดขึ้นหลังดำเนินการทดลองไปแล้วไม่น้อยกว่า 3 เท่าของเวลารีเทนชัน (retention time) โดยได้พยายามจัดการทดลองให้เอื้อต่อการเข้าสู่สถานะคงตัวเร็วที่สุด ด้วยการใส่เฟสของแข็งเติมรางสกัดเป็นอันดับแรก จากนั้นใส่เฟสสกัด (เฮกเซน) ให้อยู่ในระดับความสูงของการดำเนินการอย่างรวดเร็ว เปิดเครื่องป้อนเฟสของแข็ง และเปิดวาล์วเฟสสกัด อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งจับเวลาดำเนินการทันที

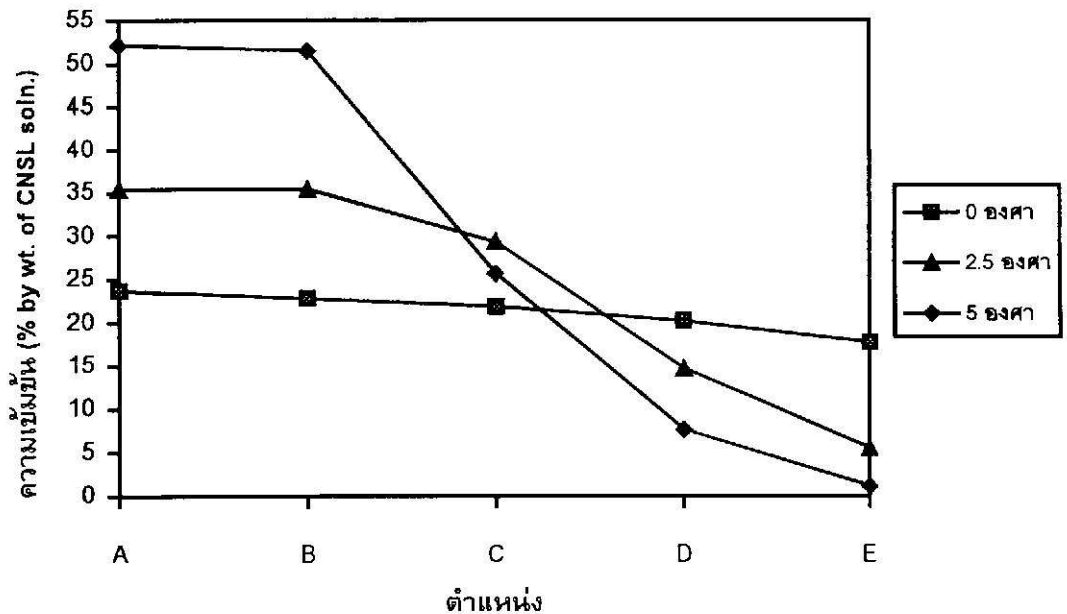
จากกราฟผลการทดลองหาความเข้มข้นเฟสสกัดที่ออก (ภาพประกอบ 4.2) ซึ่งเป็นการทดลองในสถานะรางเอียง 5 องศา เวลารีเทนชัน 10 นาที ดริฟท์ 1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่ออกของเฟสสกัดมีค่าสูงขึ้นตามเวลาและเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 3 เท่าของเวลารีเทนชัน ผลการทดลองมีแนวโน้มที่เข้าสู่สถานะคงตัว ในขณะที่ความเข้มข้นในรางสกัดที่จุด C, D และ E มีแนวโน้มเข้าสู่สถานะคงตัวเร็วกว่านั้น ภาพประกอบ 4.3 ซึ่งแสดงโปรไฟล์ความเข้มข้นกับตำแหน่งในรางสกัด แสดงการทับกันของโปรไฟล์ความเข้มข้น (Concentration Profile) ที่เวลามากกว่า 3 เท่าของเวลารีเทนชันได้อย่างชัดเจน ภาพประกอบ 4.2 ซึ่งแสดงร้อยละผลได้ที่วัดจากเฟสของแข็ง ซึ่งพบว่ามีค่าสูงในช่วงต้นของการสกัดจะมีค่าลดลงและเข้าสู่สถานะคงตัว ซึ่งเกิดจากการใช้เฟสสกัดบริสุทธิ์ตลอดทั้งรางสกัดตอนเริ่มแรก ทำให้การถ่ายโอนมวลมีค่าสูงตลอดรางสกัด และเริ่มลดลงเมื่อเวลาในการทดลองนานมากขึ้นโดยเฟสสกัดมีความเข้มข้นมากขึ้น

4.3 ความเอียงรางสกัด

สภาวะของการทดลองคือเวลารีเทนชัน = 10 นาที ดริัฟท์ = 1

ตาราง 4.2 โพรไฟล์ความเข้มข้นของการเอียงราง โดยเฉลี่ยความเข้มข้น 4 จุดสุดท้าย (40-55 นาที)

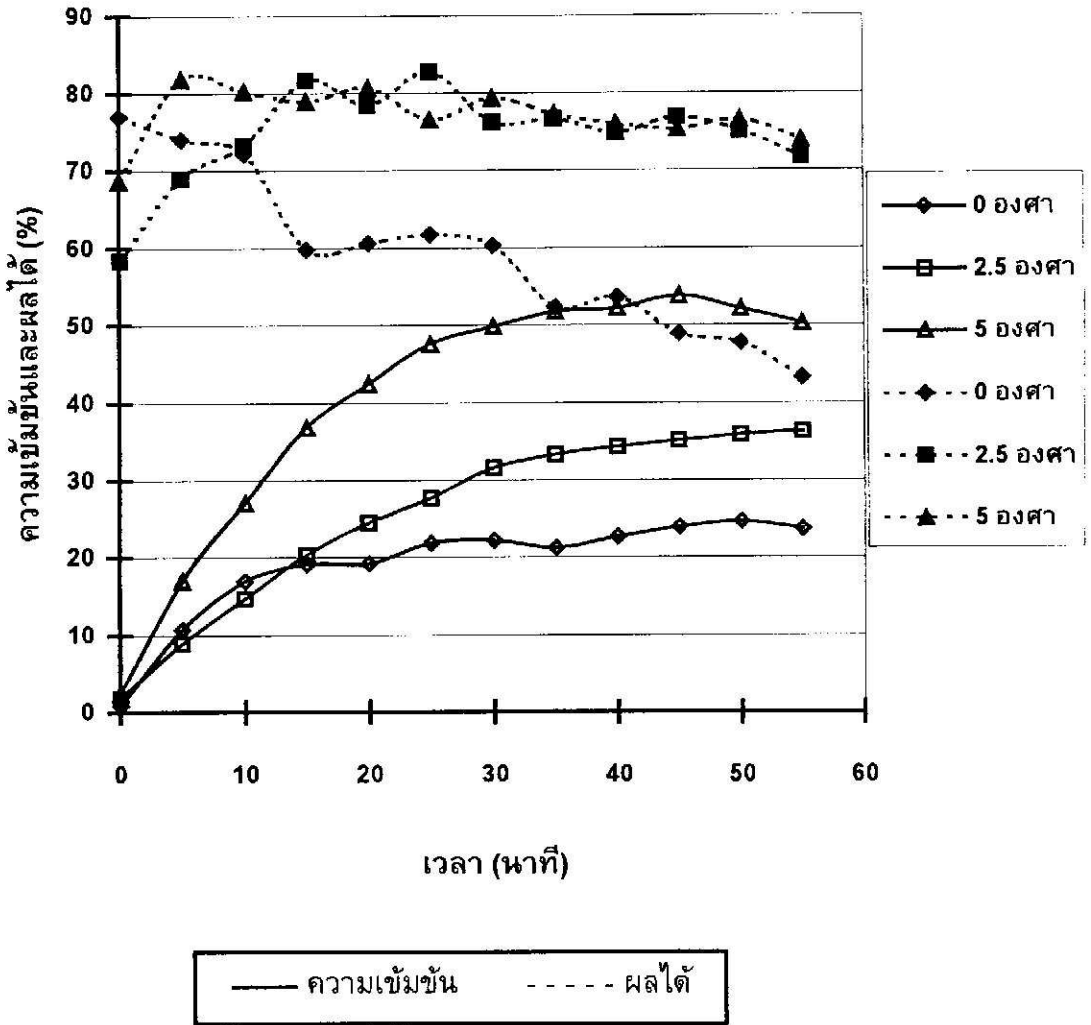
ตำแหน่ง เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นเฉลี่ย (% by wt. of CNSL soln.)		
	0 องศา	2.5 องศา	5 องศา
A	23.6690	35.3845	52.0924
B	22.8631	35.4291	51.4992
C	21.9134	29.3672	25.7176
D	20.2543	14.7106	7.6704
E	17.7599	5.5807	1.1323



ภาพประกอบ 4.4 โพรไฟล์ความเข้มข้นของความเอียงรางที่องศาแตกต่างกัน

ตาราง 4.3 ผลของความเอียงรางสกัดต่อความเข้มข้นของ raffinate และผลได้

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นที่จุด A (% by wt.)			ผลได้ (%)		
	0 องศา	2.5 องศา	5 องศา	0 องศา	2.5 องศา	5 องศา
0	0.8169	1.8748	2.4072	76.98	58.44	68.61
5	10.7340	8.9221	16.9844	74.00	68.94	81.80
10	16.9451	14.6972	27.0586	72.09	73.25	80.21
15	19.0821	20.3115	36.8363	59.80	81.70	78.94
20	19.1786	24.4570	42.4506	60.63	78.49	80.67
25	21.7946	27.6411	47.5145	61.73	82.76	76.55
30	22.1126	31.5400	49.8017	60.27	76.25	79.37
35	21.1692	33.2876	51.7529	52.33	76.65	77.25
40	22.6415	34.2918	52.1925	53.65	74.85	76.05
45	23.8566	35.1173	53.8113	48.83	76.86	75.29
50	24.5713	35.8321	52.1281	47.68	75.03	76.55
55	23.6064	36.2966	50.2376	43.23	71.67	73.87



ภาพประกอบ 4.5 ผลของความถี่ของรังสีในองศาต่างกัน

ความถี่ของรังสีของอุปกรณ์เครื่องสกัดที่ใช้ในการทดลองนี้ มีผลในเชิงกายภาพต่อปริมาตรเฟสสกัด (extract phase) ที่อยู่ในรังสีโดยตรง กล่าวคือ การไหลออกของเฟสสกัดเป็นระบบไหลล้น เมื่อความถี่ของรังสีอยู่ในแนวนอน (0 องศา) หรือเอียงน้อย ปริมาตรเฟสสกัดจะมีค่าสูง และจะท่วมเฟสของแข็งในปริมาตรที่มากขึ้น (การเอียงรังสีทำให้บางส่วนของแข็งไหลขึ้นเหนือระดับเฟสสกัด ซึ่งไม่ก่อให้เกิดการถ่ายโอนมวล) จากสภาพทางกายภาพนี้รังสีที่อยู่ในแนวนอน จะมีพื้นที่ (หรือปริมาตร) การถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสสกัดและเฟสของแข็งมากขึ้น ซึ่งควรทำให้อัตราการถ่ายโอนมวลสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามการสกัดของเหลวในรางสกัดด้วยอุปกรณ์ชนิดนี้มีอิทธิพลของการผสมย้อนกลับ (backmixing) เข้ามามีบทบาทอย่างสูงมาก นั่นคือมีการกระจายตัวของตัวละลาย (CNSL) ตามแนวนอนของรางสกัด (axial dispersion) ทำให้ความเข้มข้นตอนต้น (จุด E) และตลอดรางสกัด (D, C, B, A) มีค่าสูง (ภาพประกอบ 4.4) ซึ่งจะทำให้ความแตกต่างความเข้มข้นระหว่างเฟสของแข็งและเฟสของเหลวในแต่ละตำแหน่งของรางสกัดน้อยลงอย่างมาก และอัตราการถ่ายโอนมวลจากเฟสของแข็งมายังเฟสสกัดจะลดลง จากภาพประกอบ 4.5 พบว่าความเข้มข้นเฟสสกัดที่ออกของรางเอียง 0 องศา มีค่าประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่ความเข้มข้นเฟสสกัดของรางเอียง 5 องศา มีค่าสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ของ CNSL ที่สกัดได้ของรางเอียง 5 องศา มีค่าประมาณร้อยละ 75 โดยที่รางเอียงศูนย์องศา มีค่าเพียง ร้อยละ 43

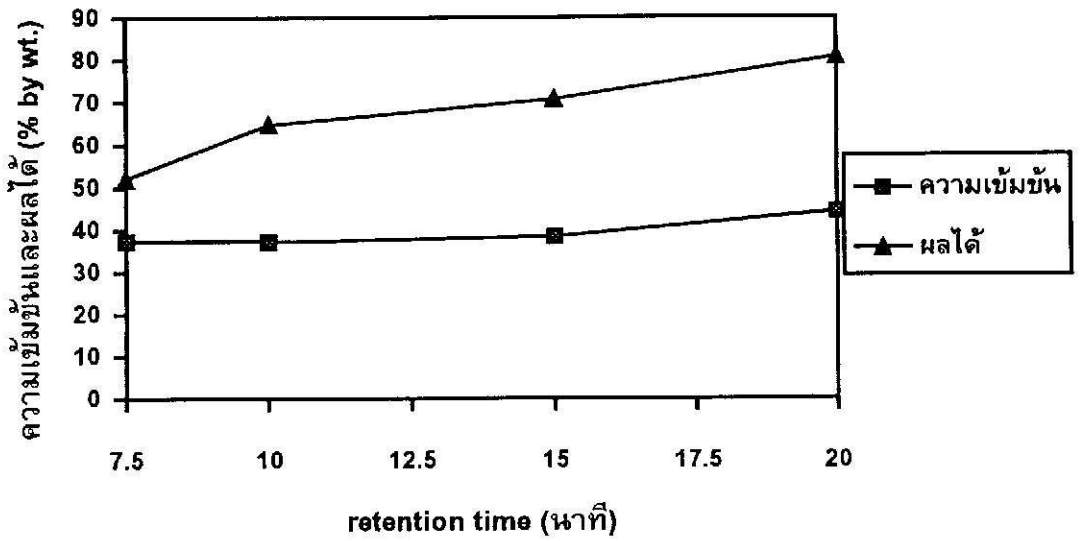
จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า การสกัดของเหลวด้วยเครื่องสกัดแบบไหลสวนทางแบบต่อเนื่องมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องลดอิทธิพลของการผสมย้อนกลับให้มีน้อยที่สุด องศาของความเอียงรางสกัดที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับความยาวของรางสกัด องศาที่เหมาะสมก่อให้เกิดการสกัดสูงตลอดรางสกัด แต่ต้องไม่เกิดการผสมย้อนกลับสูงเกินไป (ความเอียงที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการสกัดเพียงบางส่วน ของรางสกัดเท่านั้น) ในอุปกรณ์การสกัดที่ใช้ทดลองนี้พบว่าความเอียงที่เหมาะสมคือ 5 องศา หากจัดให้ความเอียงสูงมากกว่านี้ การสกัดจะเกิดขึ้นเพียงในบางส่วนของรางเท่านั้น จึงได้เลือกใช้ความเอียง 5 องศาในการทดลองต่อไปทั้งหมด

4.4 เวลารีเทนชัน (Retention time)

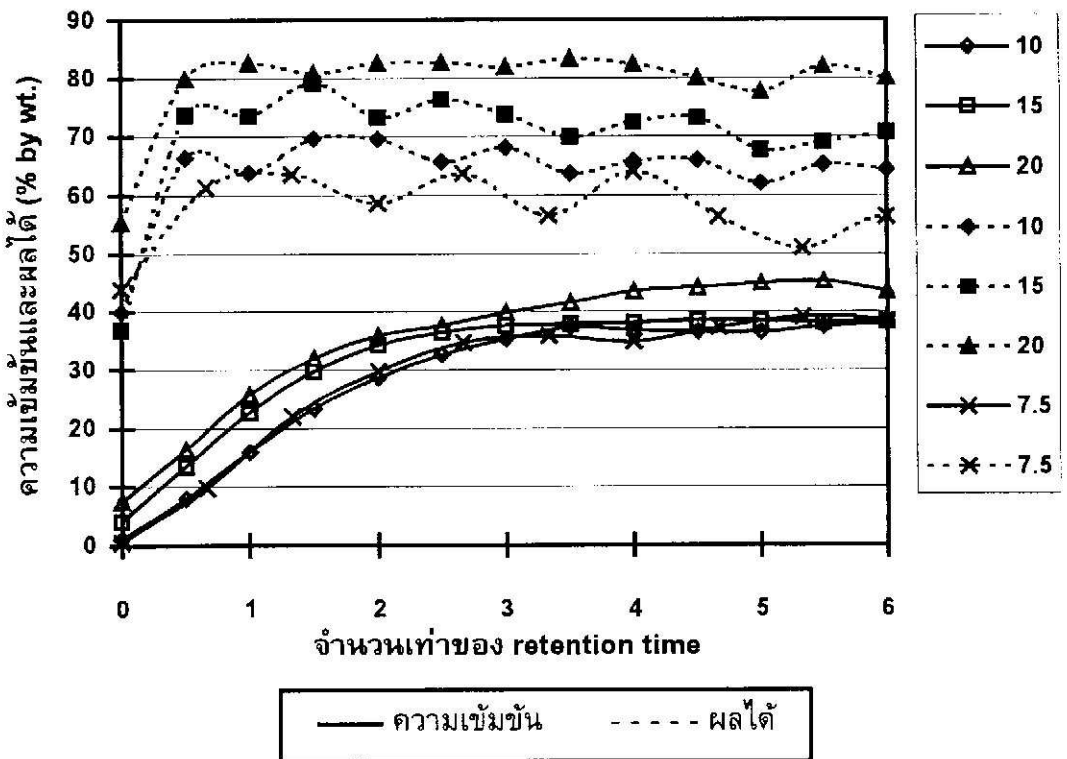
สภาวะของการทดลองคือ ความเอียงรางสกัด 5 องศา ดรั๊ฟท์ = 1

ตาราง 4.4 ผลของเวลารีเทนชัน(t) ต่อความเข้มข้นของ raffinate และผลได้

จำนวนเท่าของ t		ความเข้มข้นที่จุด A (%by wt)				ผลได้ (%)			
เฉพาะ 7.5		7.5	10	15	20	7.5	10	15	20
0.0	0.0	0.5346	1.0778	4.1226	7.4176	43.83	39.86	36.84	55.34
0.5	0.7	9.7405	7.9608	13.4428	16.3482	61.36	66.33	73.56	79.83
1.0	1.3	22.0054	15.9444	22.6665	25.7256	63.54	63.83	73.38	82.56
1.5	2.0	29.6960	23.3348	29.6853	31.9224	58.61	69.55	79.14	80.82
2.0	2.7	34.6635	28.5882	34.1774	35.8249	63.68	69.48	73.17	82.60
2.5	3.3	35.7570	32.5657	36.4074	37.5439	56.48	65.70	76.26	82.68
3.0	4.0	34.7599	35.2102	37.5582	39.7989	64.05	68.02	73.70	81.87
3.5	4.7	37.2687	37.2294	37.7619	41.5250	56.32	63.68	69.83	83.32
4.0	5.3	39.0305	36.7755	38.0013	43.4976	51.03	65.80	72.43	82.39
4.5	6.0	38.4337	36.4932	38.4480	44.1624	56.33	65.93	73.09	80.07
5.0	6.7	34.8993	36.4360	38.3372	44.8699	49.53	62.06	67.70	77.66
5.5	7.3	35.4961	37.4652	38.1371	45.2237	53.58	65.24	68.97	82.04
6.0	8.0	38.0263	38.0227	38.2515	43.4333	49.16	64.35	70.64	80.03
เฉลี่ย 5 จุดสุดท้าย		37.1772	37.0385	38.235	44.2374	51.93	64.68	70.57	80.44



ภาพประกอบ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและผลได้กับเวลา
รีเทนชัน



ภาพประกอบ 4.7 ผลของเวลารีเทนชัน (retention time)

การทดลองชุดนี้ มีวัตถุประสงค์จะศึกษาถึงเวลาที่เฟสของแข็งใช้ในการเคลื่อนผ่านในรางสก็ด ซึ่งมีผลถึงปริมาณการผลิต (capacity) ด้วย หากเวลาริเทนชันน้อย ปริมาณการผลิตก็จะสูงและหากเวลาริเทนชันสูงปริมาณการผลิตที่ได้ในอุปกรณ์การสก็ดขนาดเดียวกันก็จะต่ำลง อย่างไรก็ตามเวลาริเทนชันยังหมายถึงเวลาที่ใช้ในการถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสของแข็งและเฟสสก็ดอีกด้วย เมื่อใช้เวลาสูงขึ้นปริมาณตัวละลายที่ถูกถ่ายโอนควรจะสูงขึ้น

การทดลองได้แปรเวลาริเทนชันของของแข็งจาก 7.5 นาที ถึง 20 นาที ด้วยการปรับอัตราความเร็วรอบของสกรู อัตราการป้อนเฟสของแข็งและเฟสสก็ด เวลาริเทนชันที่น้อยกว่านี้ได้ถูกทดลองเช่นกัน แต่พบว่าปริมาณเศษของแข็งที่แตกออกจากเปลือกมีอัตราสูงเกินกว่าที่ใบสกรูจะพาออกมาได้ทัน ทำให้เกิดการสะสมเศษของแข็งในรางและเกิดการอุดตันในด้านล่างของรางทำให้ไม่สามารถดำเนินการได้

จากผลการทดลอง (ภาพประกอบ 4.6) แสดงให้เห็นว่าผลได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาริเทนชันมีค่ามากขึ้น ผลได้สูงสุดในการทดลองมีค่าประมาณร้อยละ 80 เมื่อใช้เวลาริเทนชัน 20 นาที ส่วนความเข้มข้นของเฟสสก็ดเพิ่มขึ้นตามเวลาริเทนชันที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มากนัก

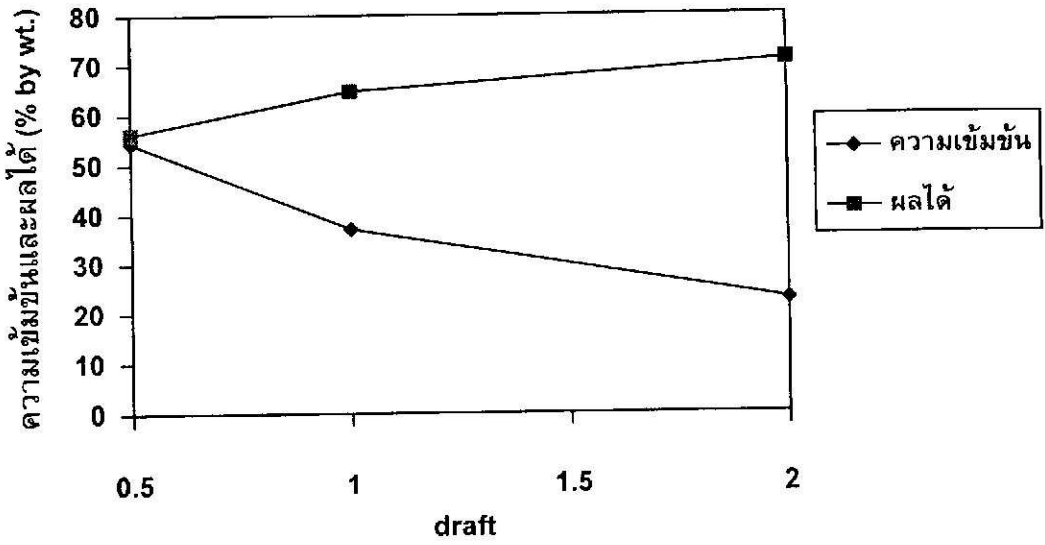
หมายเหตุ เวลาริเทนชันที่นานมากกว่า 20 นาทีไม่ได้ทำการศึกษาเพราะใช้เวลาในการทดลองนานเกินไป

4.5 ดราฟท์ (Draft)

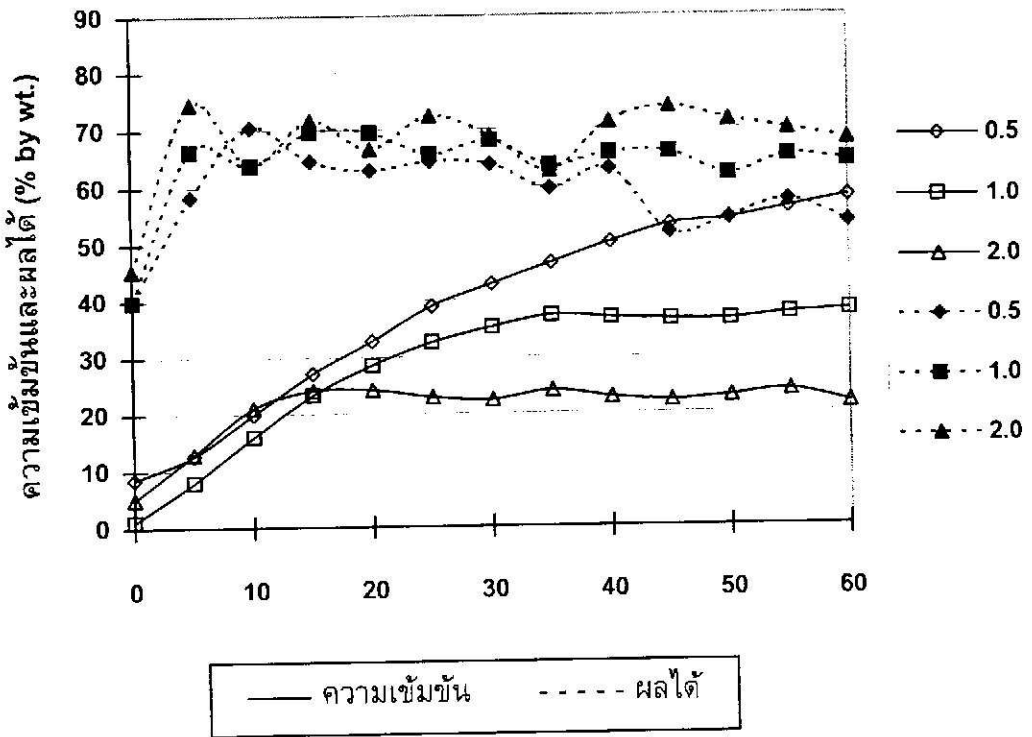
สภาวะของการทดลองคือ รวงสกัดเอียง 5 องศา retention time = 10 นาที

ตาราง 4.5 ผลของดราฟท์ต่อความเข้มข้นของ raffinate และผลได้

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นที่จุด A (% by wt.)			ผลได้ (%)		
	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
0	8.5218	1.0778	4.9910	39.69	39.86	45.37
5	12.6352	7.9608	12.8496	58.38	66.33	74.53
10	19.8719	15.9444	21.1013	70.45	63.83	63.94
15	27.1301	23.3348	24.0996	64.53	69.55	71.61
20	32.8016	28.5882	24.2211	62.89	69.48	66.57
25	38.9412	32.5657	22.8845	64.42	65.70	72.40
30	42.8544	35.2102	22.3628	63.93	68.02	68.85
35	46.5281	37.2294	23.9459	59.66	63.68	62.75
40	50.1412	36.7755	22.7630	63.09	65.80	71.24
45	53.2753	36.4932	22.1591	51.83	65.93	73.83
50	54.2402	36.4360	22.8953	54.42	62.06	71.60
55	56.1807	37.4652	23.8351	57.46	65.24	69.89
60	58.0462	38.0227	21.6659	53.60	64.35	68.09
เฉลี่ย 5 จุด สุดท้าย	54.3767	37.0385	22.6637	56.08	64.68	70.93



ภาพประกอบ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและผลได้เฉลี่ยกับดราฟท์



ภาพประกอบ 4.9 ผลของดราฟท์ต่อความชื้นและผลได้

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเฟสของแข็งต่อเฟสสกัด เฟสสกัดคือเฟสตัวทำละลายซึ่งในอุตสาหกรรมจะต้องนำเฟสสกัดไปแยกเอาตัวละลาย (solute) ออกจากตัวทำละลายด้วยกระบวนการแยกเชิงกายภาพ เช่น การระเหย, การกลั่น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูง หากเฟสสกัดมีปริมาณต่ำค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะน้อยลง แต่ความเข้มข้นเฟสสกัดที่ออกจะสูงขึ้น ซึ่งส่งผลถึงประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลต่ำลง ทำให้ต้องใช้เวลารีเทนชันสูงขึ้น หรือผลได้ที่ต่ำลง

การทดลองได้ใช้สภาวะวางเอียง 5 องศา และเวลารีเทนชัน 10 นาที และใช้ดริฟท์เท่ากับ 0.5, 1 และ 2 จากผลการทดลอง (ภาพประกอบ 4.8) แสดงให้เห็นชัดเจนว่าดริฟท์สูงจะให้ผลได้ที่สูงขึ้น แต่ความเข้มข้นของเฟสสกัดจะต่ำลงอย่างมาก ในขณะที่ดริฟท์ 0.5 จะให้ผลได้ที่ต่ำลงแต่เฟสสกัดมีความเข้มข้นสูง

4.6 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ส่งไปวิเคราะห์ คือ CNSL ที่ผ่านกระบวนการแยกดินแฮกเซนแล้ว

ตาราง 4.6 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ CNSL

ITEM	RESULT	METHOD
Colour	reddish-brown	by microscope
Appearance	transparent	by microscope
Specific gravity, 30/30 C	0.966	IS:840-1964
Viscosity at 30 C. in cp	265.12	IPO-CNVIS1.0
Moisture, %wt.	0.00	IPO-CNMOI1.0
Matter insoluble in toluene, %wt.	0.57	IPO-CNSOL1.0
Ash, %wt.	0.532	IPO-CNASH1.0
Iodine value (Catalytic), %wt.	423.960	IPO-CNIOD1.0
Gel Time, sec.	3,277.5	IPO-CNGEL1.0

หมายเหตุ วิเคราะห์โดย บริษัท 25 อินดัสเทรียล โปรดักส์ จำกัด

เลขที่ 88/8 หมู่ 1 ตำบลมะเกลือใหญ่ อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา 30170

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ถูกเลือกนำมาใช้คือเฮกเซน ซึ่งพิจารณาจากความเหมาะสมของราคา ความปลอดภัยและความเหมาะสมในเชิงอุตสาหกรรม และสภาพการเลือก (selectivity) ในการสกัดตัวละลาย (ไวกูณฑ์, 2538 ; ประธาน, 2534)

เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้เป็นแบบผ่าครึ่งซีก จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นพบว่ามีเปลือกผิวชั้นนอก (endocarp) และเปลือกผิวชั้นใน (epicarp) ที่แข็งและไม่เอื้อต่อการซึมผ่านและการแพร่ของตัวทำละลาย จึงต้องพิจารณาดำเนินการบดหรือย่อยขนาดเปลือกให้เหมาะสมต่อการสกัดก่อน มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ทดลองสกัดด้วยการบดย่อยขนาดให้เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีขนาดเล็กมาก (Tyman และคณะ, 1989) ซึ่งสามารถกระทำได้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการแช่แข็งแล้วค่อยนำมาลดขนาด แต่วิธีดังกล่าวนี้ไม่เหมาะสมในเชิงอุตสาหกรรม จากการศึกษาการลดขนาดเบื้องต้นด้วยใบมีดหมุนตัด และพบว่ามีปัญหาในอัตราการดำเนินการลดขนาดที่กระทำได้น้อย เพราะ CNSL ที่ไหลออกมาในระหว่างการลดขนาดมีความหนืดสูง เกาะติดที่อุปกรณ์และใบมีดตัด และมีการสูญเสีย CNSL เป็นจำนวนมาก

การศึกษาลดขนาดเปลือกจึงทดลองกระทำด้วยเครื่องลดขนาดแบบลูกกลิ้ง (two-roll mill) โดยได้ออกแบบและจัดสร้างเครื่องลดขนาดแบบลูกกลิ้ง ที่ภาควิศวกรรมเคมี การทดลองบดลดขนาดเปลือกได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถบดให้เปลือกชั้น endocarp และ epicarp แตกออกและเป็นชิ้นเล็กกลง โดยตัวทำละลายสามารถแพร่เข้าไปละลายสกัด CNSL ออกมาได้ อัตราการบดกระทำได้รวดเร็วและกระทำได้โดยไม่ยุ่งยาก

เนื่องจากเฮกเซนสามารถละลาย CNSL ได้ดี แม้ว่าสภาพการแพร่ (diffusivity) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งหากสกัดที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพการสกัดที่สูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูงเฮกเซนจะระเหยได้มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อการดำเนินการและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิห้องในการทดลองการสกัดทั้งหมด

ชนิดของเครื่องมือการสกัดได้ถูกนำมาพิจารณาในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากวัตถุประสงค์มุ่งเน้นในทางที่จะใช้ดำเนินการเชิงอุตสาหกรรม จึงได้พิจารณาอุปกรณ์ที่สามารถดำเนินการได้แบบต่อเนื่อง (continuous) โมเดลเครื่องสกัดแบบต่อเนื่องหลายแบบได้ถูกนำมาพิจารณา ได้พิจารณาประเด็นความง่ายในการดำเนินการ การสามารถจัดหาจัดสร้างในประเทศ และราคาค่าก่อสร้าง จากการพิจารณาพบว่าเครื่องสกัดแบบไหลสวนทางแบบเกลียวลำเลียง (screw conveyor) เป็นโมเดลที่น่าสนใจที่จะศึกษามากที่สุด

เครื่องสกัดแบบไหลสวนทางแบบแบบเกลียวลำเลียง มีข้อดีอยู่ที่อาจเกิดการกอง (en masse) ที่ด้านใดด้านหนึ่งของรางสกัด ซึ่งได้มีผู้แก้ไขอุปสรรคนี้ด้วยการพัฒนาให้สกรูหมุนย้อนกลับได้ (reversing counter current extractor) แต่อุปกรณ์ควบคุมการทำงานไม่ง่ายต่อการดำเนินการ และมีอุปสรรคในด้านความคงทนของอุปกรณ์ควบคุม เช่น อินเวอร์เตอร์ และต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมอัตราการหมุนเดินหน้าและย้อนกลับ ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องสกัดแบบเกลียวลำเลียงอย่างง่ายในการทดลอง

เครื่องสกัดแบบไหลสวนทางแบบแบบเกลียวลำเลียง ได้ถูกออกแบบและจัดสร้างด้วยวัสดุเหล็กไร้สนิม มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในรางสกัดประมาณ 15.60 ซม. ความยาวที่ใช้ในการสกัด 180 ซม. และความยาวตลอดรางสกัด 225 ซม. สามารถปรับความเอียงของรางสกัดได้ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส แบบปรับรอบได้เป็นต้นกำลังขั้วสกรู และใช้เฟืองโซ่เป็นตัวทดรอบอีกครั้งหนึ่ง

การศึกษาการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบไหลสวนทางเบื้องต้น ได้ทำการศึกษาความเอียงของรางสกัด ซึ่งมีผลต่อปริมาตรเฟสสกัดในรางและค่าการผสมย้อนกลับ (backmixing) พบว่า CNSL สามารถละลายและแพร่ในเฮกเซนได้ดี เมื่อวางรางสกัดในแนวนอน 0 องศา จะเกิดการผสมย้อนกลับสูงมาก การเอียงรางสกัดจะช่วยให้เฟสสกัดไหลเร็วขึ้นและลดการผสมย้อนกลับทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงขึ้น

แม้ว่าการเอียงรางสก็ดจะทำให้เฟสของแข็งบางส่วนไม่ได้อยู่ในเฟสสก็ด ซึ่งเป็นการลดประสิทธิภาพของการสก็ดลง อันเป็นข้อด้อยของอุปกรณ์ชนิดนี้ ดังนั้นควรจะต้องจัดระดับความเอียงที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพการสก็ดที่สูงที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าความเอียง 5 องศาจะได้ประสิทธิภาพในการสก็ดสูงสุด

เวลารีเทนชันได้ถูกศึกษาในลำดับถัดมา และพบว่าเมื่อเวลารีเทนชันสูงขึ้น จะได้ผลได้การสก็ดที่มากขึ้นและความเข้มข้นของเฟสสก็ดที่สูงขึ้น แต่เวลารีเทนชันที่สูงขึ้นจะทำให้ความสามารถในการผลิตน้อยลง ซึ่งต้องศึกษาด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมต่อไป

ในการศึกษาอัตราส่วนโดยปริมาตรของเฟสของเหลวต่อเฟสของแข็ง (ดราฟท์) ซึ่งพบว่าดราฟท์สูงจะให้ผลได้การสก็ดที่ดีขึ้นกว่าดราฟท์ต่ำ แต่ความเข้มข้นของเฟสสก็ดก็จะลดลง

จากการศึกษาทั้งหมดพบว่าเครื่องสก็ดแบบไหลสวนทางแบบเกลียวลำเอียงมีความเหมาะสมในเชิงอุตสาหกรรมดีมาก ปัญหาการกองไปด้านใดด้านหนึ่งไม่เป็นอุปสรรคที่สำคัญมากนัก การดำเนินการกระทำได้ง่าย และราคาอุปกรณ์ไม่สูง สภาวะที่เหมาะสมในการสก็ดจะต้องจัดความเอียงให้เหมาะสม และใช้เวลารีเทนชันที่เหมาะสมด้วย เวลารีเทนชันที่เหมาะสมหรือมากขึ้นอาจกระทำได้โดยออกแบบเพิ่มความยาวของรางสก็ดเพิ่มขึ้น หรือเพิ่มชุดอุปกรณ์การสก็ดเป็นอนุกรมต่อเนื่อง โดยใช้ความเร็วรอบการหมุนสกรูที่เหมาะสม เพื่อลดอิทธิพลการเกิดการผสมย้อนกลับมากกว่าการลดอัตราการหมุนของสกรูเพื่อให้ของแข็งอยู่ในรางนานขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการผสมย้อนกลับของของเหลวสูงอันเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพการสก็ดลดลง

ปริมาณดราฟท์ที่เหมาะสมนั้น คณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรอยู่ในช่วง 0.8-1.5 เพื่อที่จะได้ผลได้ที่เหมาะสมและปริมาณเฟสสก็ดที่ไม่สูงมากเกินไป อย่างไรก็ตามในการออกแบบใช้ในอุตสาหกรรมจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงสภาวะที่เหมาะสมอีกครั้ง

การวิจัยครั้งนี้มีอุปสรรคบางประการในด้านการจัดหาวัตถุดิบ เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งได้มาจาก 2 แหล่งคือจากจังหวัดสงขลา และจังหวัดระนอง ความแตกต่างของสายพันธ์ซึ่งทำให้วัตถุดิบมีปริมาณ CNSL ในเปลือกเริ่มต้นไม่เท่ากัน และโครงสร้างเปลือกแตกต่างกันอันส่งผลให้การทดลองมีความแปรปรวนสูง การทดลองได้ลงทุนในด้านอุปกรณ์เครื่องมือค่อนข้างสูง และมีความสิ้นเปลืองในด้านตัวทำละลายและเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นจำนวนมาก ซึ่งไม่สามารถทำการทดลองที่มากไปกว่านี้จากข้อจำกัดของทรัพยากร อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยได้เรียนรู้ข้อเท็จจริงที่เป็นข้อมูลเบื้องต้น ที่สามารถให้แนวทางในการศึกษาในระดับที่สูงขึ้นได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

- กรรณิการ์ สถาปิตานนท์, ศิลปชัย อรัญยนาถ, จีรวัดน์ สินธุวณิชเศรษฐ และ เพิ่มสุข มานะ. 2532. "การผลิตวาร์นิชจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในระดับกึ่งการผลิตต้นแบบ". วารสารวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 4(1):5-19.
- จันทนา คงสังข์ และ มลฤดี ประภากรรัตนา. 2536. การสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประธาน วงศ์ศรีเวช และ สุวีพร สุรัตน์. 2534. การสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประเทืองศรี สินชัยศรี. 2534. "คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีและการแปรรูปของมะม่วงหิมพานต์". อุตสาหกรรมสาร. 34(7) : 9-16.
- ปรีดีผาติ สุวิทย์รัตน์ และ วชิระ เสาวภาคย์. 2537. การสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยวิธีการทอด. ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พັນ มาลีวรรณ และ ทุ่น อารีย์. 2522. พันธ์และการปรับปรุงบำรุงพันธ์มะม่วงหิมพานต์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาเรื่องมะม่วงหิมพานต์สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ณ สำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น. 6-8 กันยายน 2522.
- วิจิตร วรรณชิต. 2528. มะม่วงหิมพานต์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไวภูณท์ ฤทธิรุฒม์. 2538. “การสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.”
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดภูเก็ต. 2532. “มะม่วงหิมพานต์.” อุตสาหกรรมสาร.
32 (1): 28-29.

Aggarwal, J. 1972. Chemistry and uses of cashew nut shell liquid. Hyderabad
India : Paint Manufacture.

Chemical safety data sheets volumel : Solvents. 1989. Royal Society of
Chemistry Information Services.

Gonsalves, A. M. D'A. R. and Costa, A. M. B. S. R. C. S. 1975.
Chromatography of cashew nut shell liquid. J. of Chromatography.
104:225-227

Ohler, J.G. 1979. Cashew. Koninklijk Instituut voor de Tropen. Amsterdam.

Rousseau, R. W. 1987. Handbook of separation process technology. John
Wiley & Sons.

Schwartzberg, H. G. 1980. Continuous conunter-current extraction in the food
industry “What’s happening today in leaching technology-with extensive
documentation”. AIChE J., 76(4) : 67-85.

Schweitzer, P.A. 1979. Handbook of separation techniques for chemical
engineers. McGraw-Hill Book Company.

Treybal, R.E. 1980. Mass-transfer operations. 3rd ed. McGraw-Hill Book Company.

Tychopoulos, V. and Tyman, J. H. P. 1990. Long chain phenols-The thermal and oxidation deterioration of phenolic lipids from the cashew (*Anacardium Occidentale*) nut shell. J. Sci. Food and Agri. 52 : 71-83.

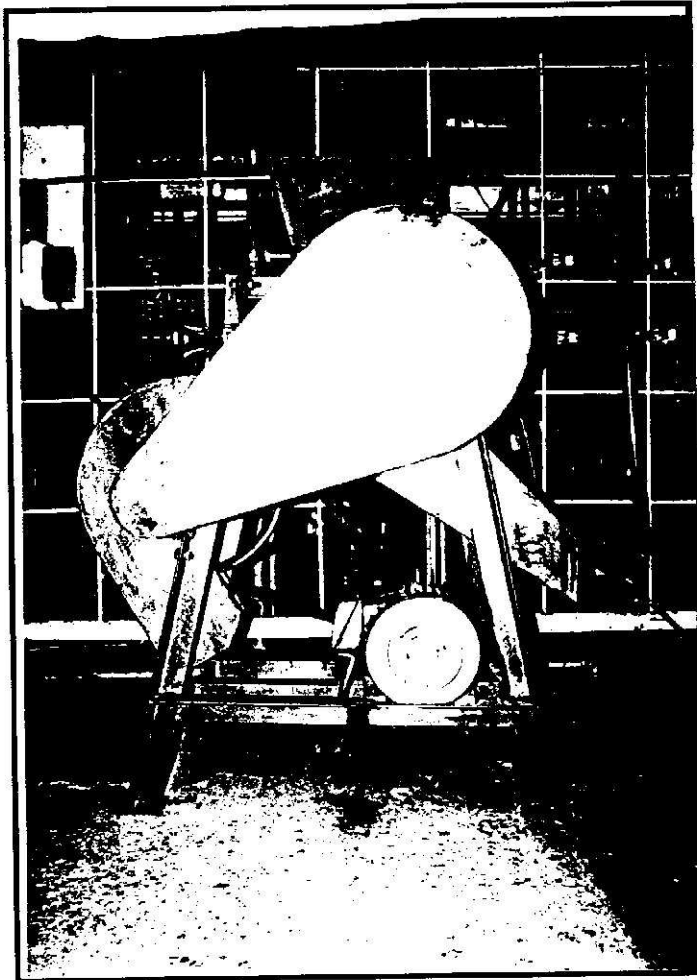
Tyman, J. H. P., Johnson, R. A, Muir, M. and Rokhger, R. 1989. The extraction of natural cashew nut shell liquid from the cashew nut (*Anacardium Occidentale*) JOACS. 66(4) : 553-557.

Weidner, E. In Proceedings of the 10th congress of esseential oils. edited by B.M. Lawrence. Amsterdam. Elsevir Science Publishers.

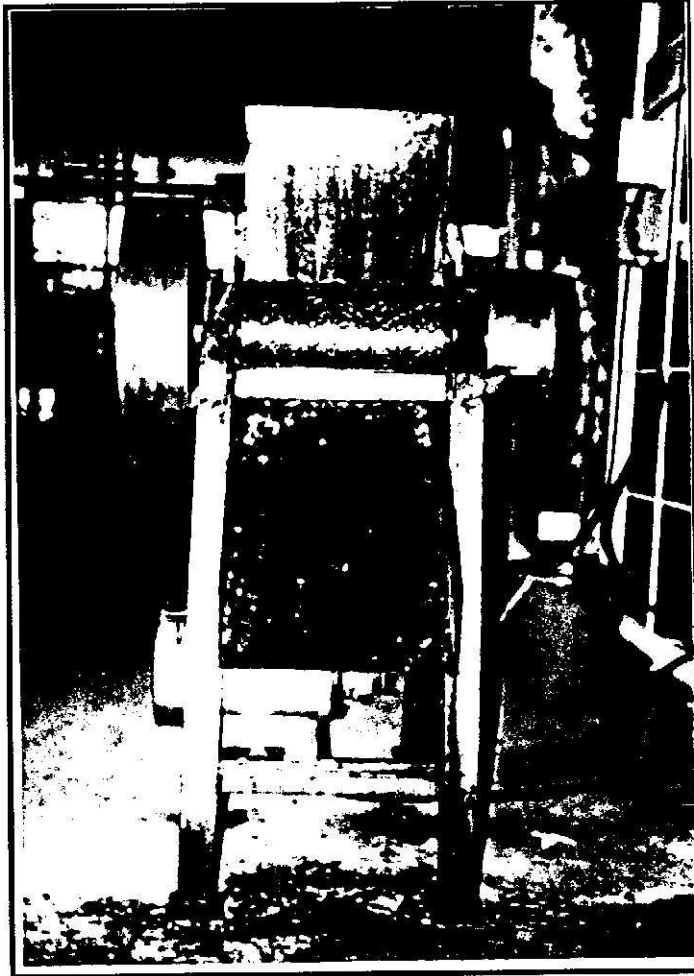
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

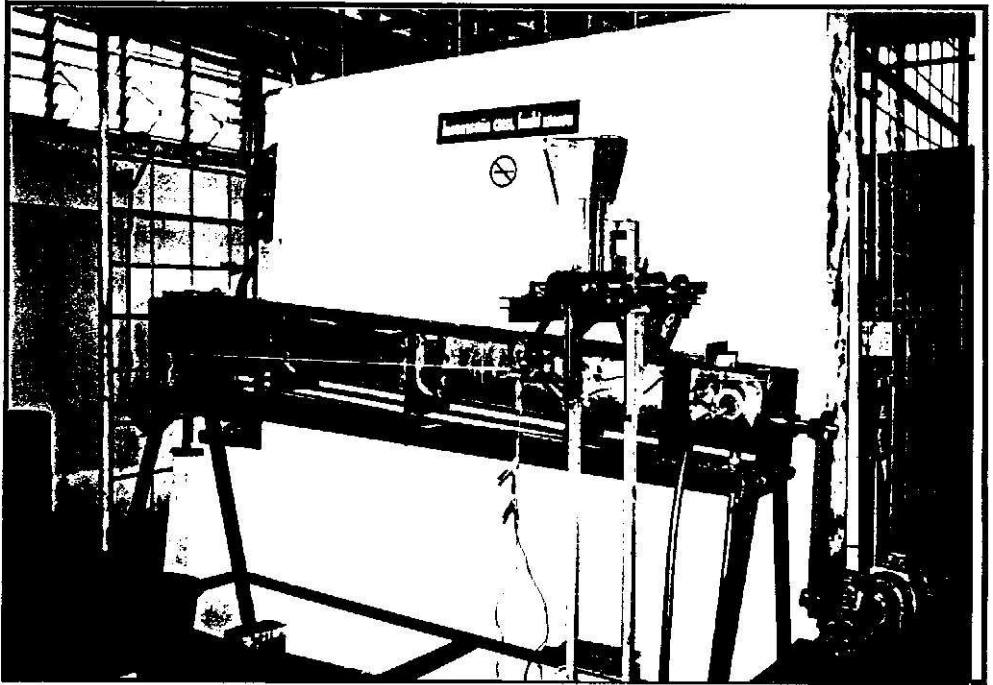
แสดงภาพของเครื่องมือและเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



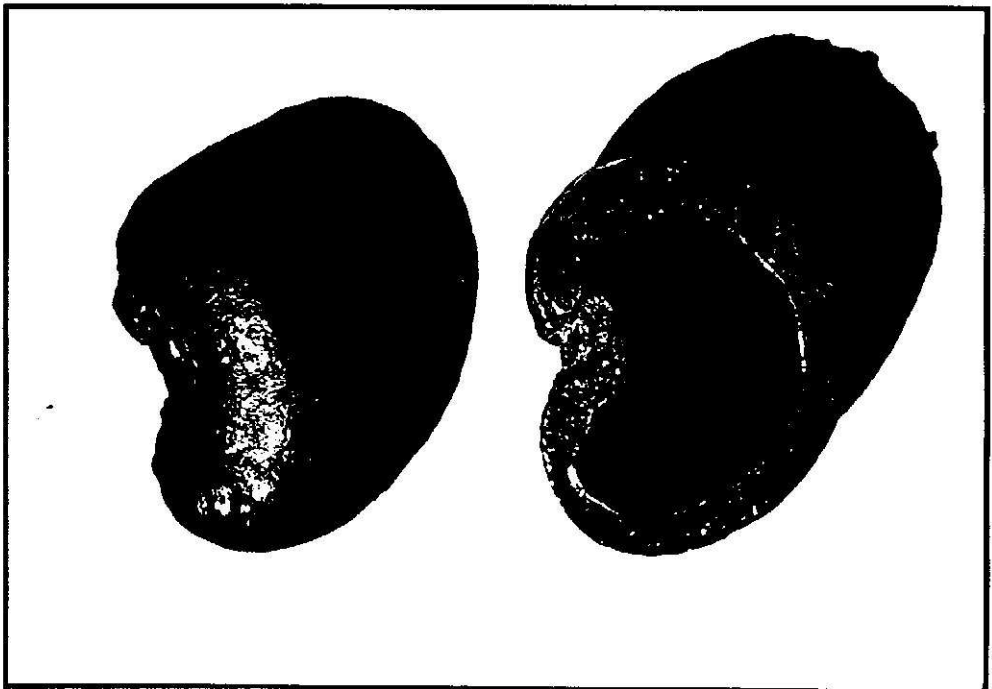
ภาพประกอบ ก. 1 ภาพด้านข้างของเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



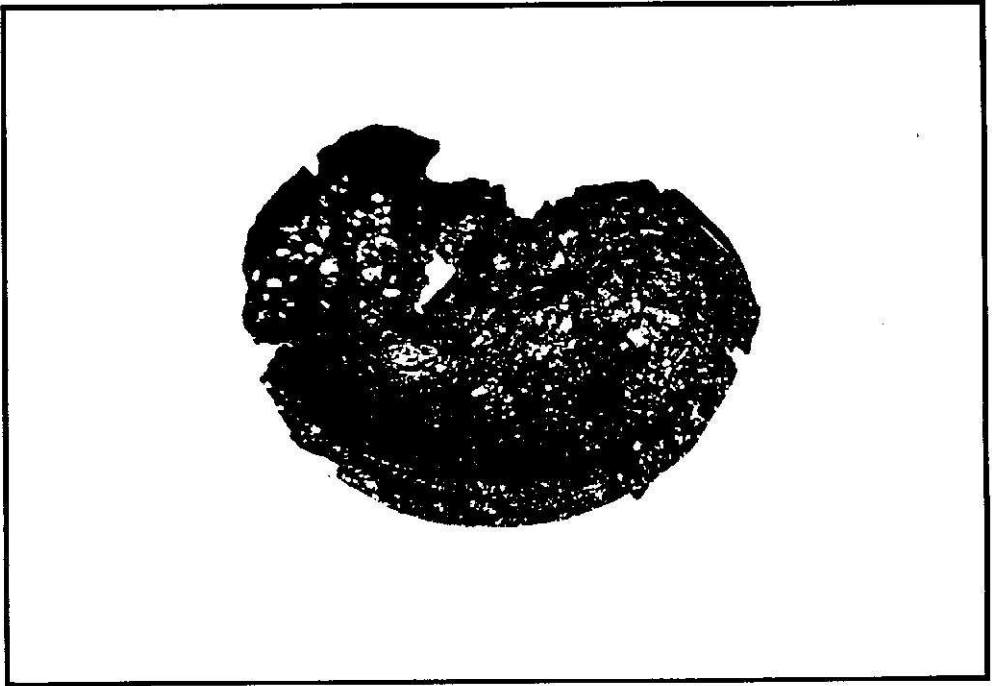
ภาพประกอบ ก. 2 ภาพด้านหน้าของเครื่องย่อยเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



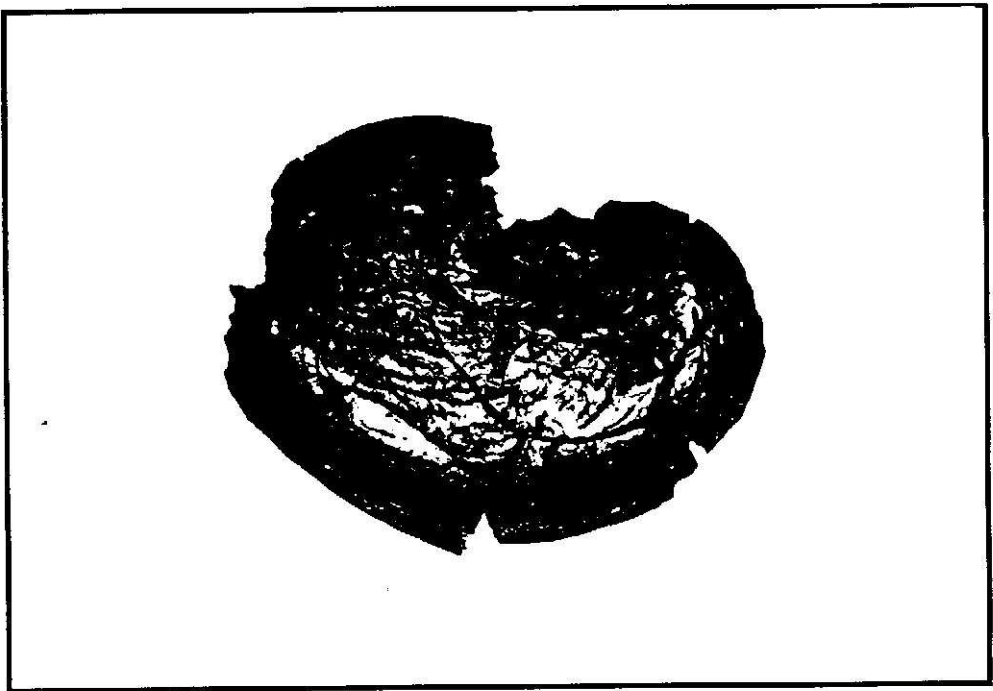
ภาพประกอบ ก. 3 ภาพด้านข้างของรางสกัด



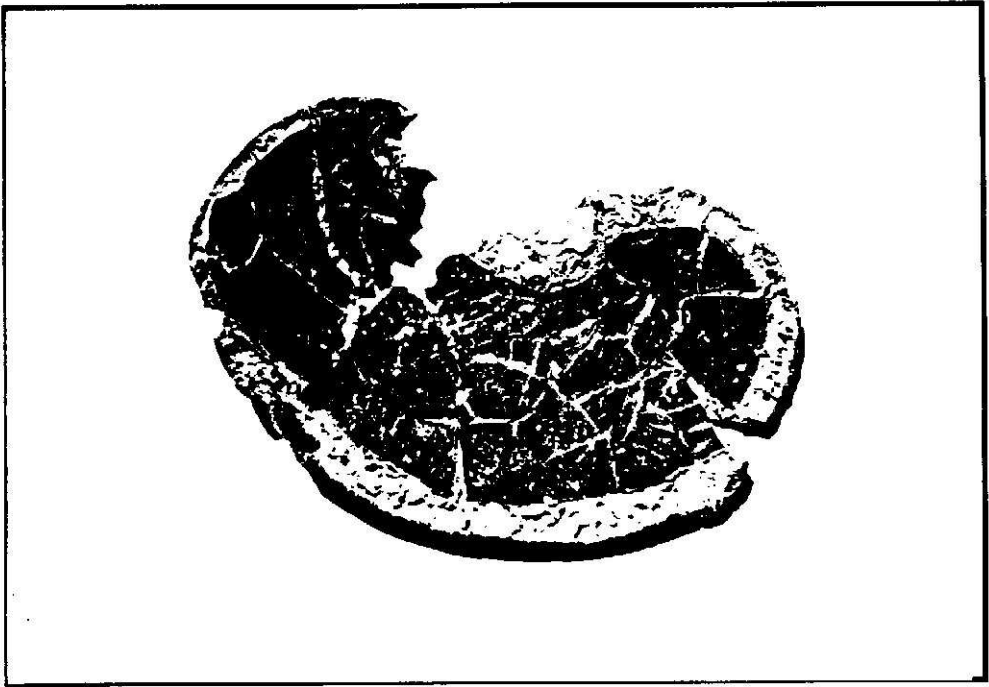
ภาพประกอบ ก. 4 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ยังไม่ผ่านการบด ด้านนอก (ซ้าย) และด้านใน (ขวา)



ภาพประกอบ ก. 5 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการย่อยแล้ว



ภาพประกอบ ก. 6 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สกัดแล้ว



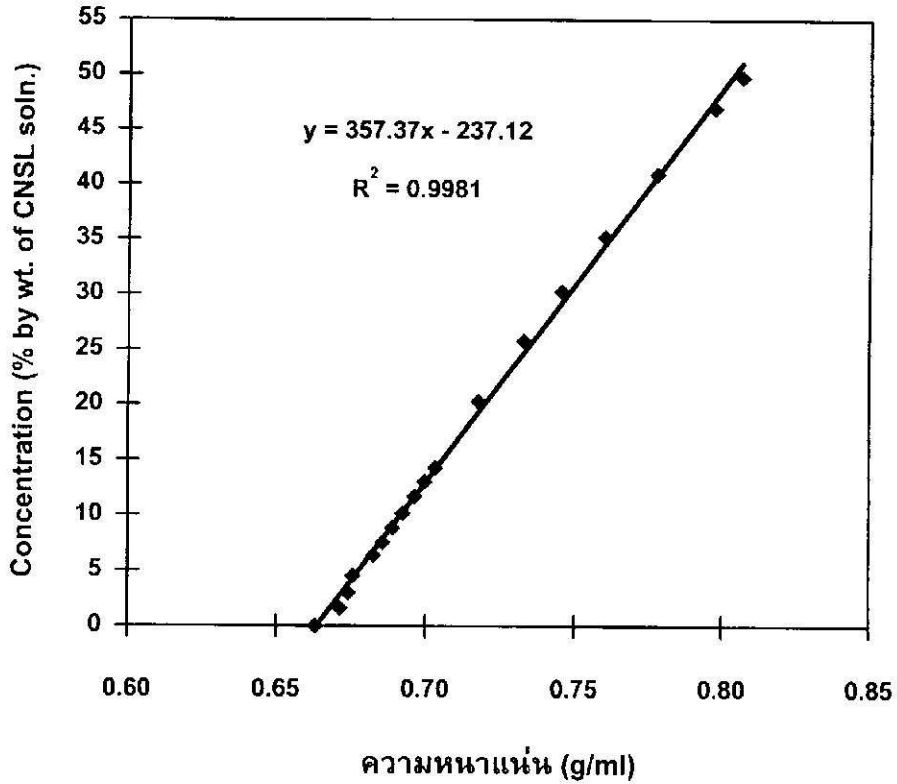
ภาพประกอบ ก. 7 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สกัดด้วยวิธี soxhlet แล้ว

ภาคผนวก ข.

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นโดยน้ำหนัก

ตาราง ข. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นโดยน้ำหนัก

ขวดที่	ความหนาแน่นเฉลี่ย (g/ml)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (% by wt. of CNSL soln.)
0	0.6630	0.0000
1	0.6713	1.6010
2	0.6740	2.9964
3	0.6755	4.5314
4	0.6824	6.3861
5	0.6855	7.5488
6	0.6888	8.8799
7	0.6922	10.1795
8	0.6962	11.7136
9	0.6996	13.0540
10	0.7031	14.3371
11	0.7175	20.3320
12	0.7327	25.8004
13	0.7455	30.3081
14	0.7602	35.2605
15	0.7777	40.9551
16	0.7972	46.9888
17	0.8065	49.8245



ภาพประกอบ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นโดยน้ำหนัก

ภาคผนวก ค.

ค. 1 การเอียงรางสกัด

ค. 1.1 เอียงรางสกัด 0 องศา retention time 10 นาที และ draft = 1

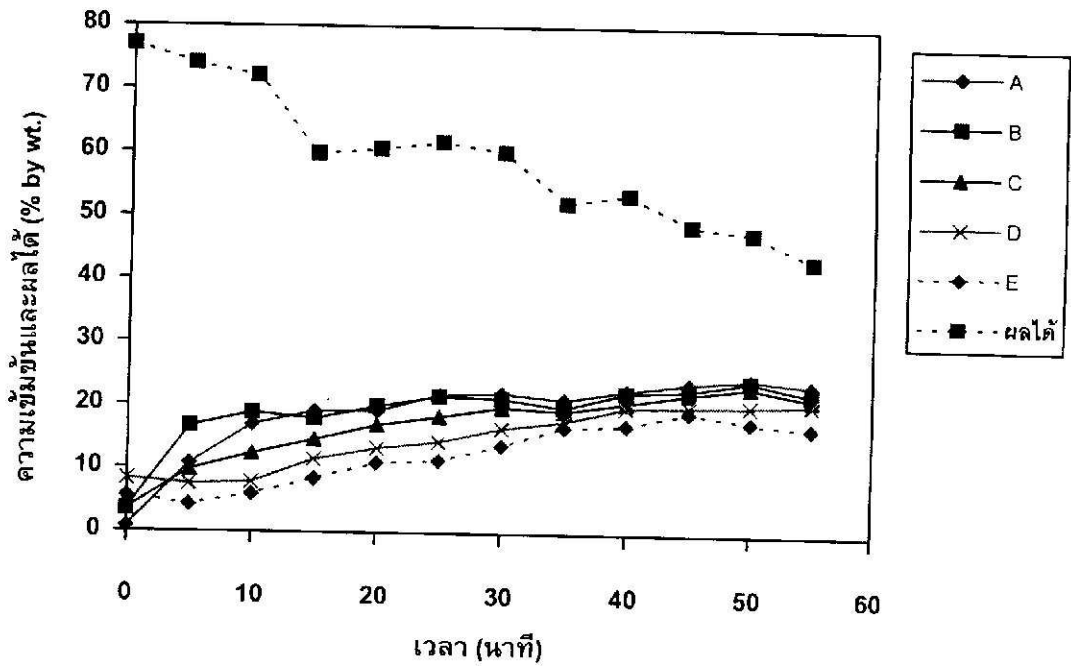
ตาราง ค. 1 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

เวลา (นาที)	ผลได้ (ร้อยละ)*	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	76.98	0.8169	3.5758	3.5115	8.2610	5.5986
5	74.00	10.7340	16.6234	9.7190	7.4783	4.2691
10	72.09	16.9451	18.8498	12.3314	7.8500	6.0060
15	59.80	19.0821	17.9242	14.6186	11.4701	8.4361
20	60.63	19.1786	19.9291	16.9701	13.2677	10.9770
25	61.73	21.7946	21.5480	18.3352	14.3363	11.4344
30	60.27	22.1126	21.2549	19.9041	16.5412	13.8502
35	52.33	21.1692	19.8898	19.3573	17.7027	16.7985
40	53.65	22.6415	22.3199	20.6831	19.9863	17.1809
45	48.83	23.8566	22.7344	22.1519	20.1221	19.2644
50	47.68	24.5713	24.2140	23.3134	20.2793	17.7277
55	43.23	23.6064	22.1841	21.5051	20.6295	16.8664

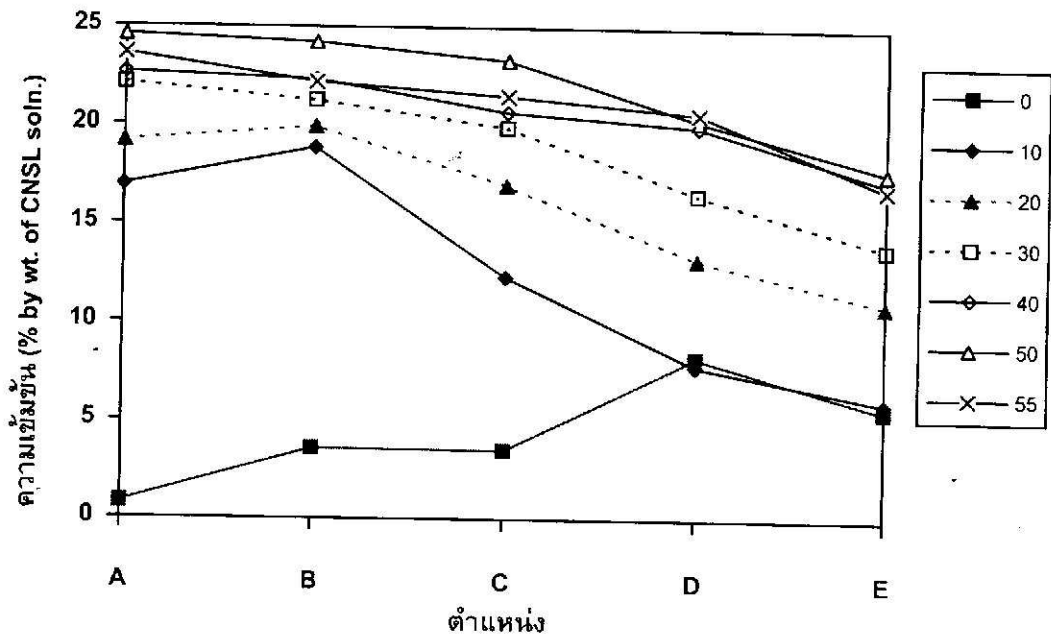
* ร้อยละของ CNSL ทั้งหมด

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 35.36% ความชื้น 5.96% และ inert 58.68%

ความเข้มข้นของ CNSL = 61.96% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค. 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อเอียงรางสกัด 0 องศา



ภาพประกอบ ค. 2 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (นาที) เมื่อเอียงรางสกัด 0 องศา

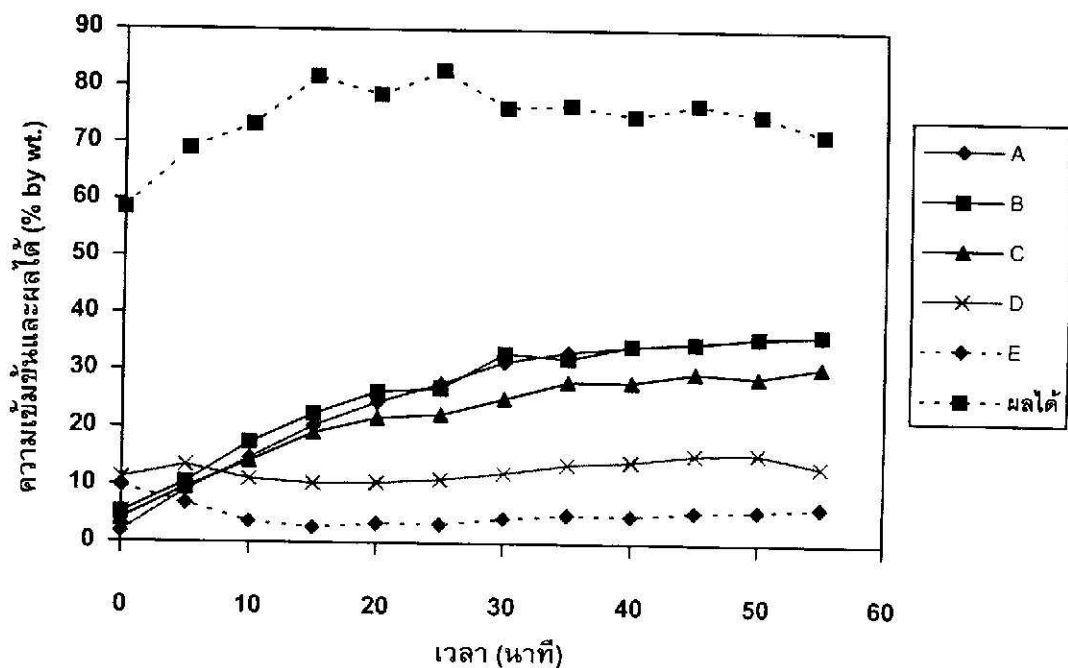
ค. 1.2 เอียงรางสกัด 2.5 องศา retention time 10 นาที และ draft = 1

ตาราง ค. 2 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

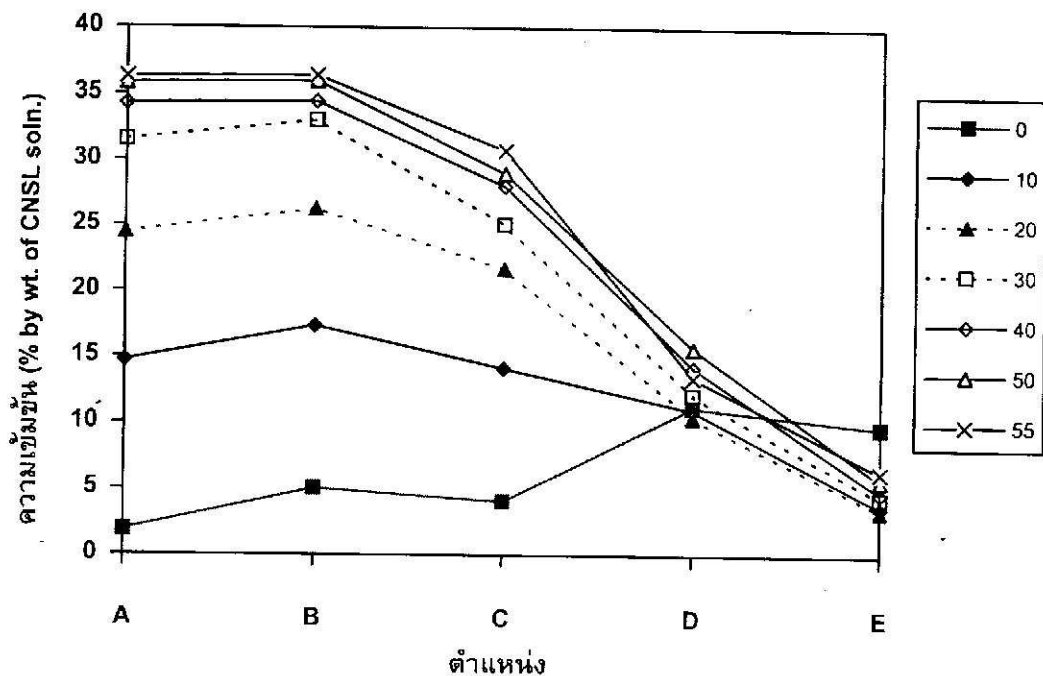
เวลา (นาที)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	58.44	1.8748	5.0339	4.0440	11.1735	9.6797
5	68.94	8.9221	10.4516	9.4975	13.4285	6.8065
10	73.25	14.6972	17.3668	14.1326	10.9734	3.6545
15	81.70	20.3115	22.3521	19.0714	10.2372	2.6574
20	78.49	24.4570	26.2653	21.7267	10.4266	3.3900
25	82.76	27.6411	26.8549	22.3235	11.0699	3.2399
30	76.25	31.5400	33.0517	25.0967	12.1456	4.3406
35	76.65	33.2876	32.1047	28.0378	13.6823	4.9231
40	74.85	34.2918	34.4455	28.0342	14.2469	4.7695
45	76.86	35.1173	34.8743	29.6567	15.4548	5.5056
50	75.03	35.8321	35.9857	29.0099	15.6800	5.7129
55	71.67	36.2966	36.4110	30.7681	13.4607	6.3347

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 37.80% ความชื้น 5.83% และ inert 56.37%

ความเข้มข้นของ CNSL = 67.06% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค. 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อเอียงรางสกัด 2.5 องศา



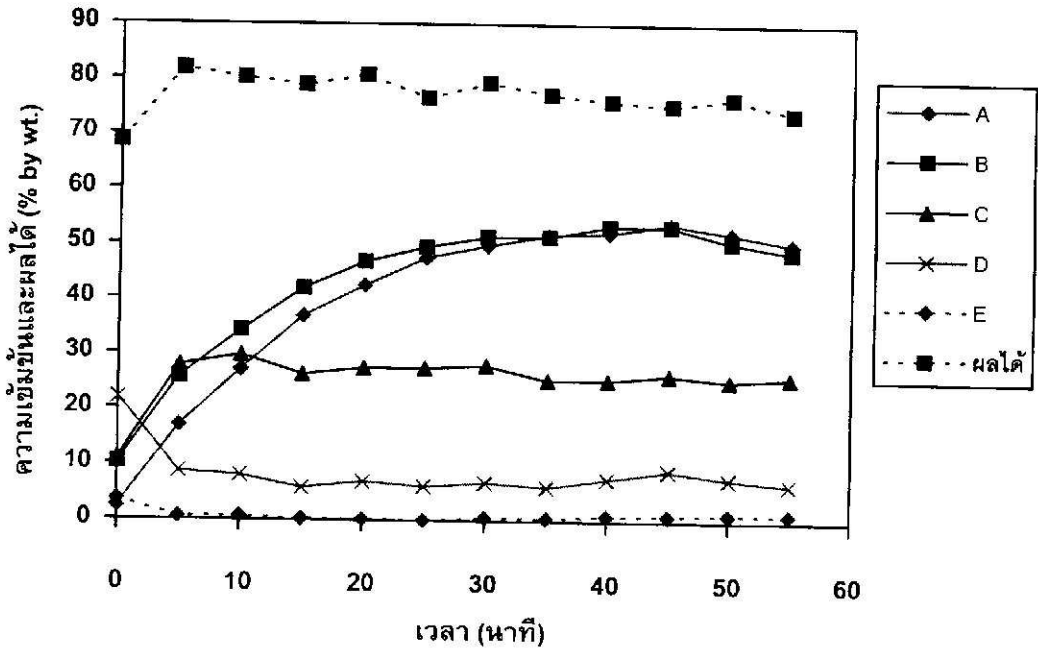
ภาพประกอบ ค. 4 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (นาทื) เมื่อเอียงรางสกัด 2.5 องศา

ค. 1.3 เอียงรางสกัด 5 องศา retention time 10 นาที และ draft = 1

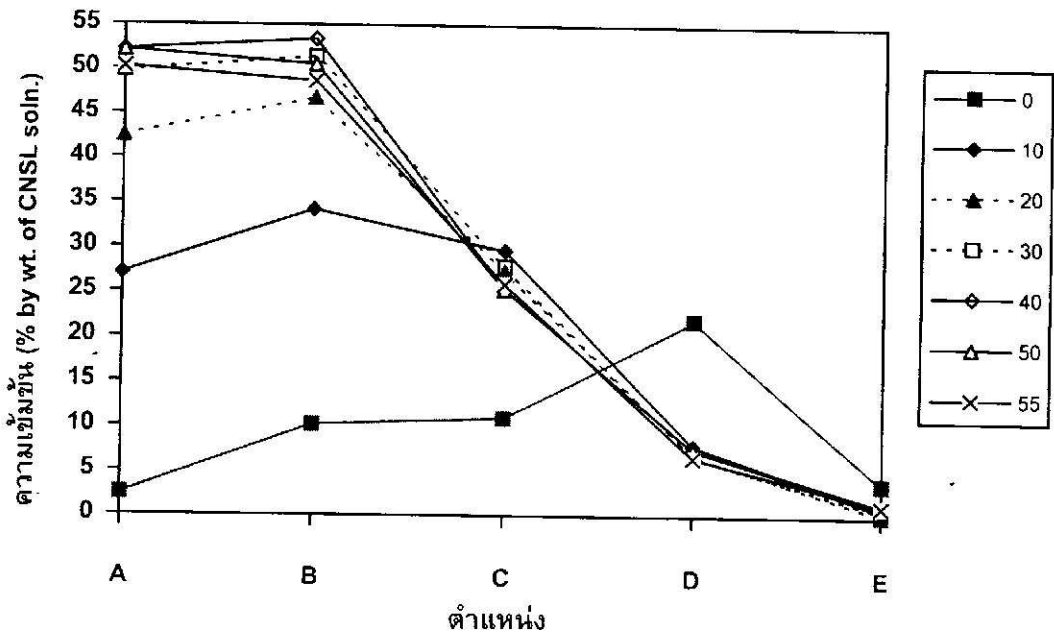
ตาราง ค. 3 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

เวลา (นาที)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	68.61	2.4072	10.2158	10.9734	21.9161	3.6688
5	81.80	16.9844	25.7399	27.8484	8.6719	0.5990
10	80.21	27.0586	34.1917	29.6567	7.9965	0.6776
15	78.94	36.8363	41.8752	26.2009	5.8058	0.2344
20	80.67	42.4506	46.7604	27.3660	6.9244	0.2273
25	76.55	47.5145	49.5015	27.3517	6.0774	0.0700
30	79.37	49.8017	51.4205	27.8949	6.7529	0.5632
35	77.25	51.7529	51.4313	25.3218	6.0596	0.5025
40	76.05	52.1925	53.4182	25.3397	7.5033	0.9849
45	75.29	53.8113	53.3360	26.3296	9.0186	1.0421
50	76.55	52.1281	50.5486	25.2896	7.5534	1.2565
55	73.87	50.2376	48.6938	25.9115	6.6063	1.2458

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 38.91% ความชื้น 4.44% และ inert 56.65%
 ความเข้มข้นของ CNSL= 68.68% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา



ภาพประกอบ ค.6 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (นาท.) เมื่อเอียงรางสกัด 5 องศา

ค. 2 Retention Time (t)

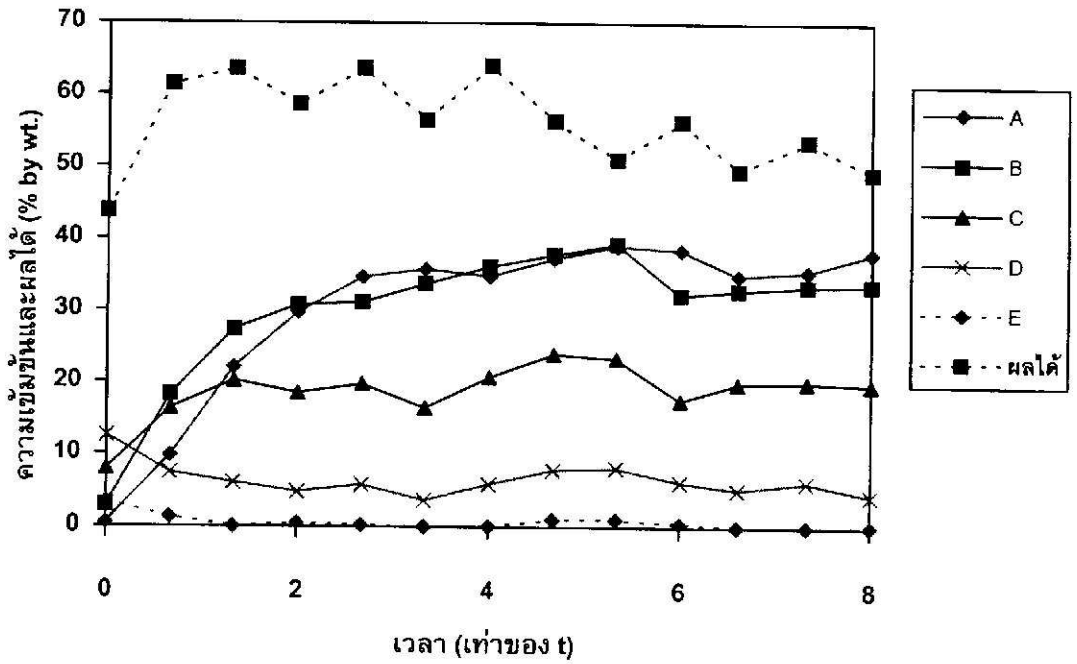
ค. 2.1 retention time 7.5 นาที เอียงรางสกัด 5 องศา และ draft = 1

ตาราง ค. 4 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

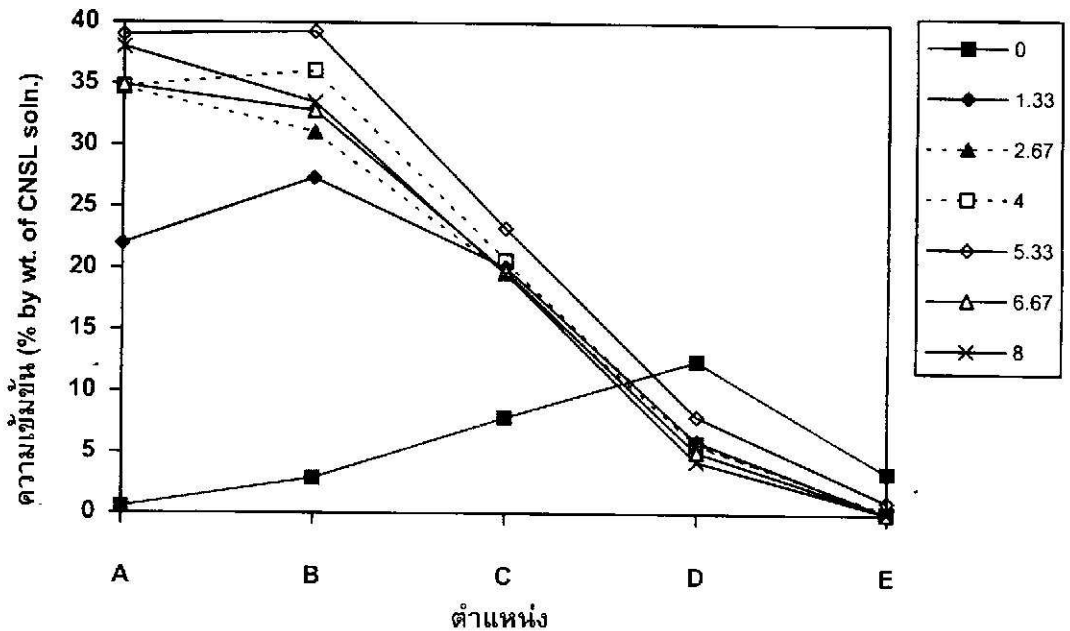
เวลา (เท่าของ t)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	43.83	0.5346	2.8825	7.8929	12.5208	3.3900
0.67	61.36	9.7405	18.1887	16.3054	7.3425	1.3387
1.33	63.54	22.0054	27.3409	20.1364	5.9881	0.0629
2.00	58.61	29.6960	30.7431	18.4210	4.7373	0.5275
2.67	63.68	34.6635	31.1005	19.6646	5.6986	0.2416
3.33	56.48	35.7570	33.6950	16.4126	3.6509	0.0593
4.00	64.05	34.7599	36.1001	20.6331	5.8023	0.0843
4.67	56.32	37.2687	37.8119	23.8852	7.7499	1.0064
5.33	51.03	39.0305	39.3021	23.2777	8.0251	1.0278
6.00	56.33	38.4337	32.1547	17.4632	6.1132	0.5525
6.67	49.53	34.8993	32.8230	19.8112	5.0947	0.0629
7.33	53.58	35.4961	33.4162	19.9756	6.0739	0.0307
8.00	49.16	38.0263	33.5199	19.6075	4.3085	0.0843

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 34.45% ความชื้น 5.96% และ inert 59.59%

ความเข้มข้นของ CNSL = 57.81% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค. 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อมี retention time 7.5 นาที



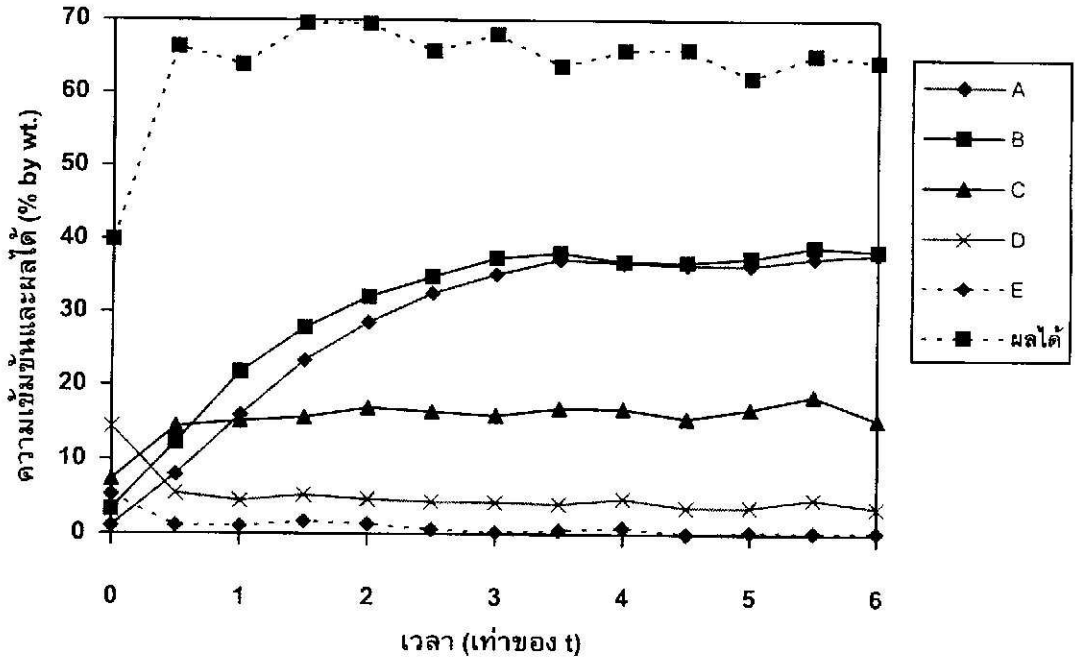
ภาพประกอบ ค. 8 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (เท่าของ t) เมื่อมี retention time 7.5 นาที

ค. 2.2 retention time 10 นาที เอียงรางสกัด 5 องศา และ draft = 1

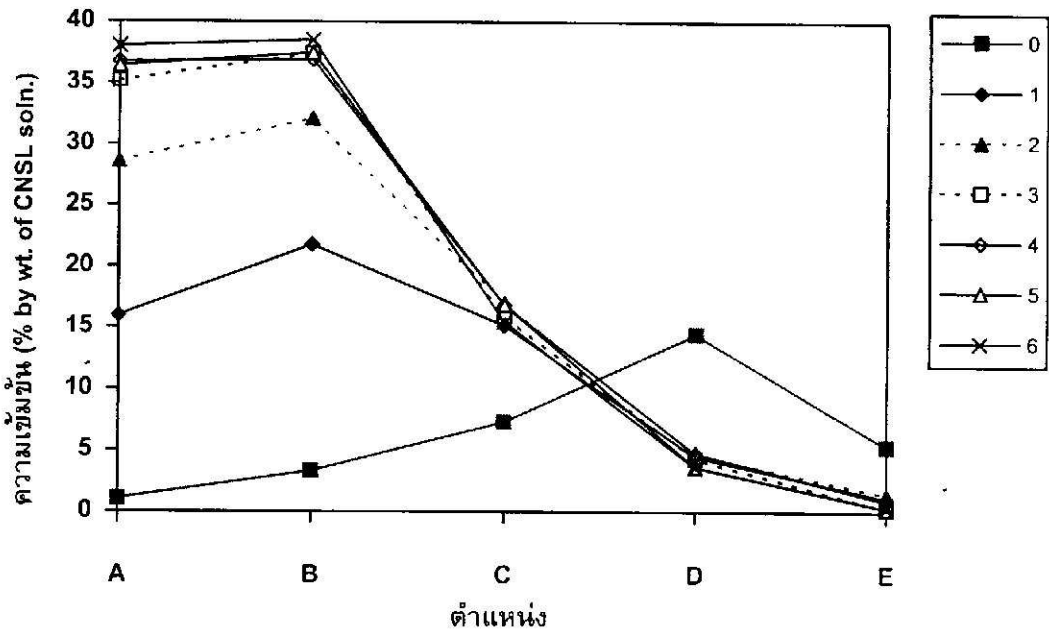
ตาราง ค. 5 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

เวลา (เท่าของ t)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	39.86	1.0778	3.3185	7.3068	14.4363	5.3091
0.5	66.33	7.9608	12.3064	14.4399	5.4377	1.1350
1.0	63.83	15.9444	21.7517	15.1475	4.5050	1.0778
1.5	69.55	23.3348	27.8162	15.6371	5.2376	1.7032
2.0	69.48	28.5882	32.1118	16.9665	4.6551	1.3709
2.5	65.70	32.5657	34.8600	16.4483	4.3728	0.6597
3.0	68.02	35.2102	37.4116	15.9123	4.3192	0.2416
3.5	63.68	37.2294	38.1836	16.9165	4.0404	0.5203
4.0	65.80	36.7755	36.9328	16.8164	4.7659	0.8777
4.5	65.93	36.4932	36.8649	15.5799	3.6044	0.0522
5.0	62.06	36.4360	37.4724	16.8164	3.6473	0.2988
5.5	65.24	37.4652	39.0341	18.6068	4.7409	0.2809
6.0	64.35	38.0227	38.5159	15.4512	3.6259	0.2988

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 33.85% ความชื้น 7.21% และ inert 58.94%
 ความเข้มข้นของ CNSL = 57.43% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค. 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อมี retention time 10 นาที



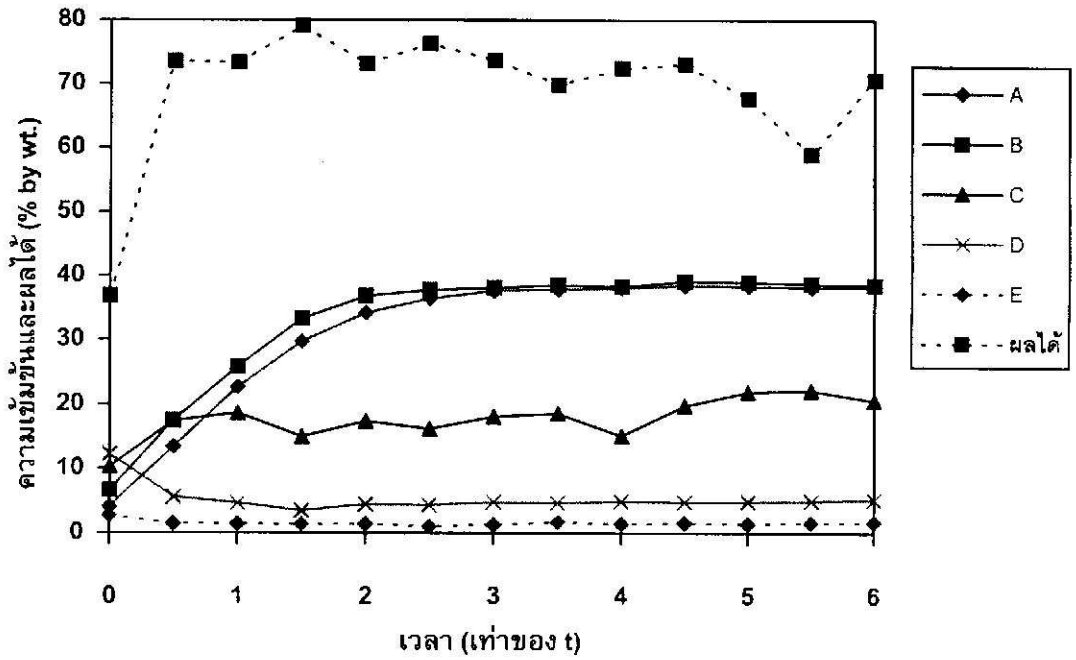
ภาพประกอบ ค. 10 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (เท่าของ t) เมื่อมี retention time 10 นาที

ค. 2.3 retention time 15 นาที เอียงรางสกัด 5 องศา และ draft = 1

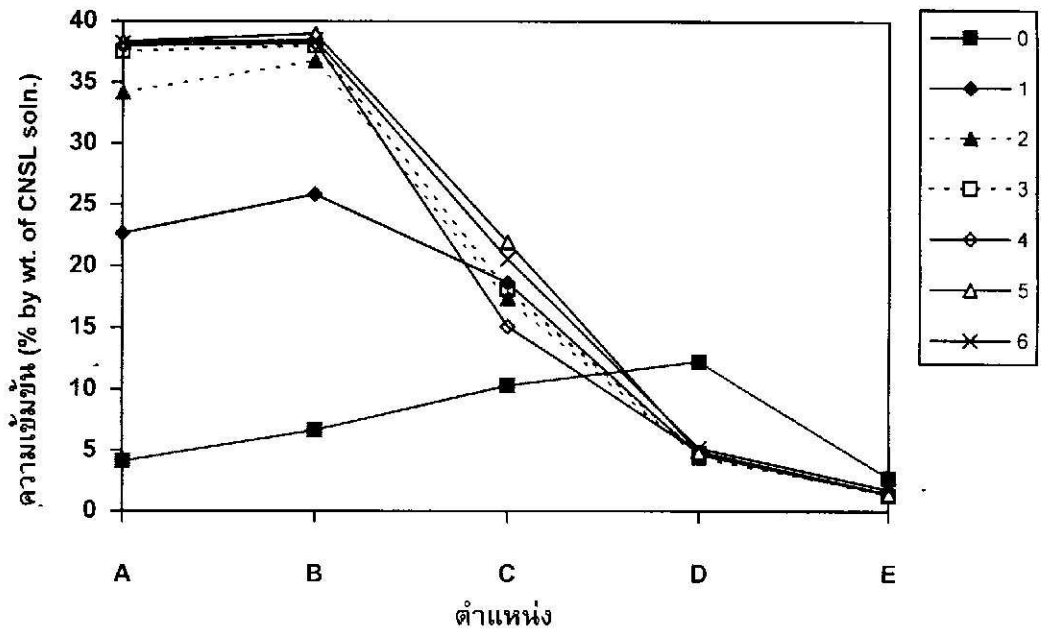
ตาราง ค. 6 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

เวลา (เท่าของ t)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	36.84	4.1226	6.6492	10.3123	12.2849	2.7503
0.5	73.56	13.4428	17.5562	17.4418	5.6343	1.5067
1.0	73.38	22.6665	25.8328	18.6604	4.7051	1.4209
1.5	79.14	29.6853	33.2733	14.9795	3.5044	1.4102
2.0	73.17	34.1774	36.7934	17.4025	4.4657	1.4459
2.5	76.26	36.4074	37.7368	16.1767	4.3978	1.0278
3.0	73.70	37.5582	38.0263	18.0708	4.7873	1.3244
3.5	69.83	37.7619	38.4587	18.5425	4.6837	1.7068
4.0	72.43	38.0013	38.2336	15.1046	4.9196	1.4316
4.5	73.09	38.4480	39.0770	19.7861	4.8302	1.6032
5.0	67.70	38.3372	38.9984	21.9518	4.8874	1.4495
5.5	58.97	38.1371	38.6803	22.1841	5.0303	1.6532
6.0	70.64	38.2515	38.5052	20.5688	5.1912	1.7604

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 34.09% ความชื้น 6.26% และ inert 59.65%
 ความเข้มข้นของ CNSL = 57.15% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค. 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัด เมื่อมี retention time 15 นาที



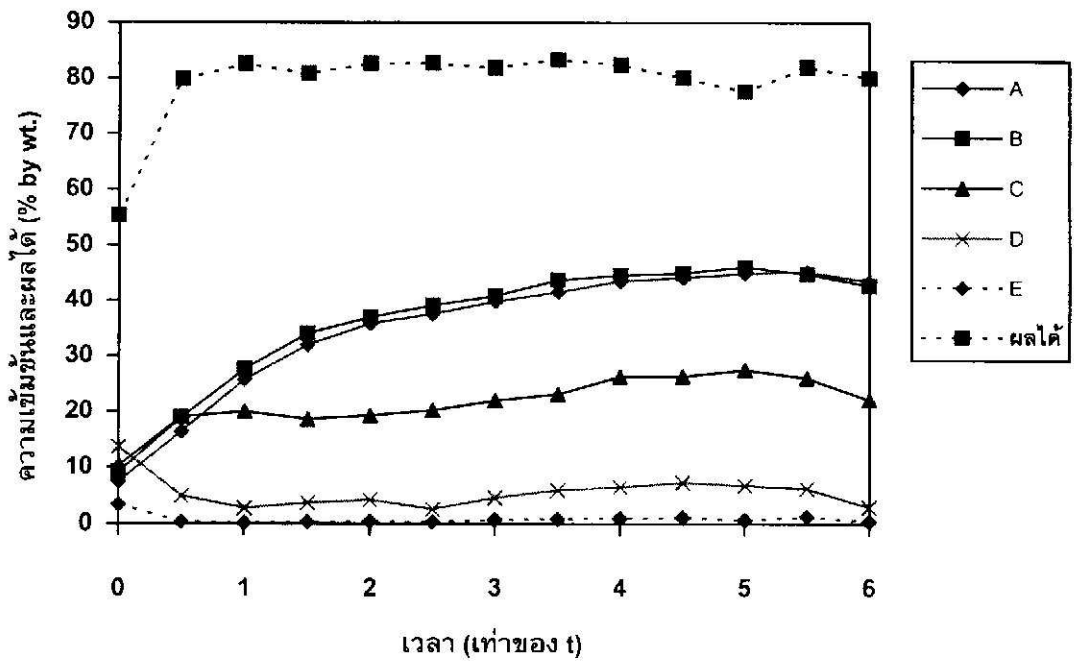
ภาพประกอบ ค. 12 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (เท่าของ t) เมื่อมี retention time 15 นาที

ค. 2.4 retention time 20 นาที เอียงรางสกัด 5 องศา และ draft = 1

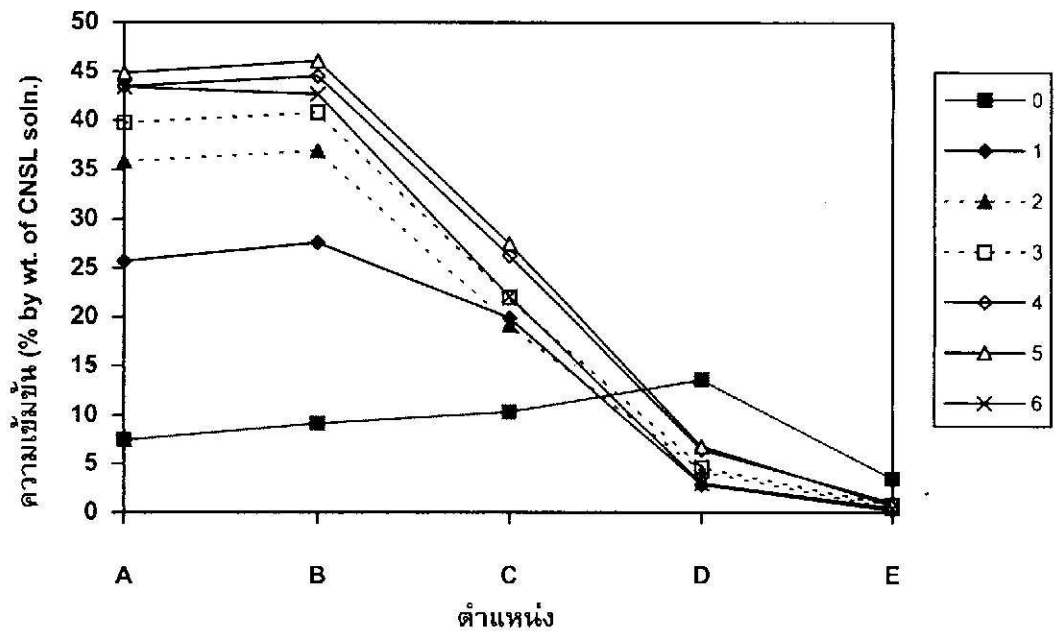
ตาราง ค. 7 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

เวลา (เท่าของ t)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	55.34	7.4176	9.1472	10.3158	13.6108	3.4543
0.5	79.83	16.3482	18.8749	18.9964	4.9446	0.3845
1.0	82.56	25.7256	27.6018	19.9077	2.8289	0.1915
1.5	80.82	31.9224	34.0881	18.5211	3.6759	0.3238
2.0	82.60	35.8249	36.9685	19.2215	4.2155	0.4238
2.5	82.68	37.5439	39.1270	20.1435	2.5538	0.3488
3.0	81.87	39.7989	40.8460	21.9447	4.5943	0.7169
3.5	83.32	41.5250	43.6763	23.0775	5.9130	0.8384
4.0	82.39	43.4976	44.5412	26.2760	6.4527	0.9813
4.5	80.07	44.1624	44.9950	26.3260	7.2603	1.1314
5.0	77.66	44.8699	46.0850	27.4982	6.7529	0.6954
5.5	82.04	45.2237	44.8306	26.0580	6.1668	1.2887
6.0	80.03	43.4333	42.7150	22.1019	2.9647	0.4310

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 39.10% ความชื้น 4.32% และ inert 56.58%
 ความเข้มข้นของ CNSL = 69.11% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค. 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัด
ได้ต่อเวลาในการสกัด เมื่อมี retention time 20 นาที



ภาพประกอบ ค. 14 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (เท่าของ t)
เมื่อมี retention time 20 นาที

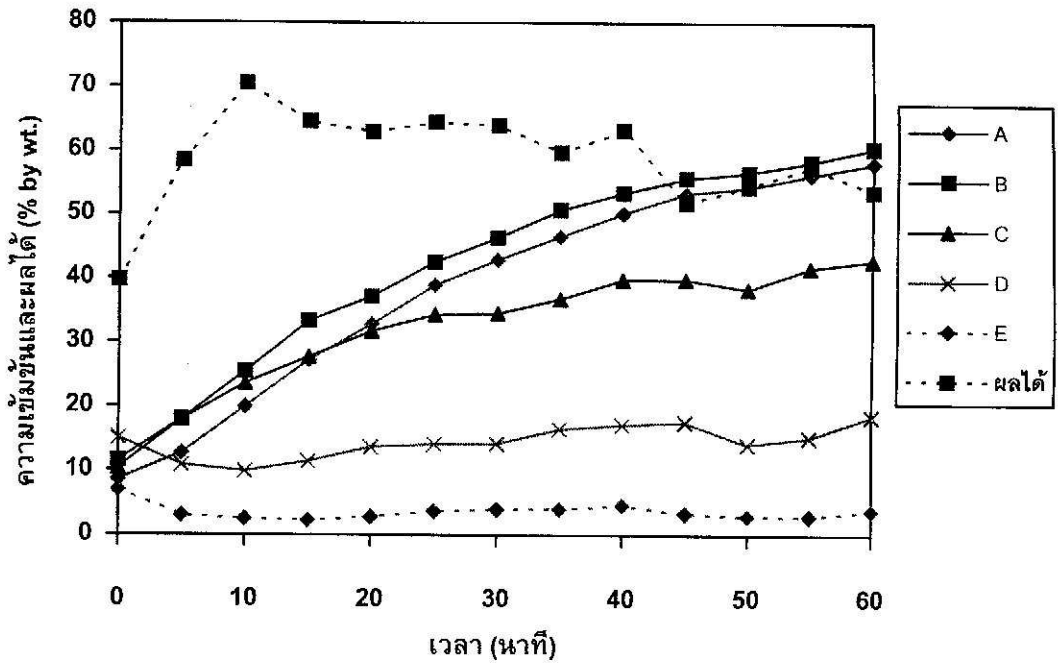
ค. 3 Draft

ค. 3.1 draft = 0.5 retention time 10 นาที และ เอียงรางสกัด 5 องศา

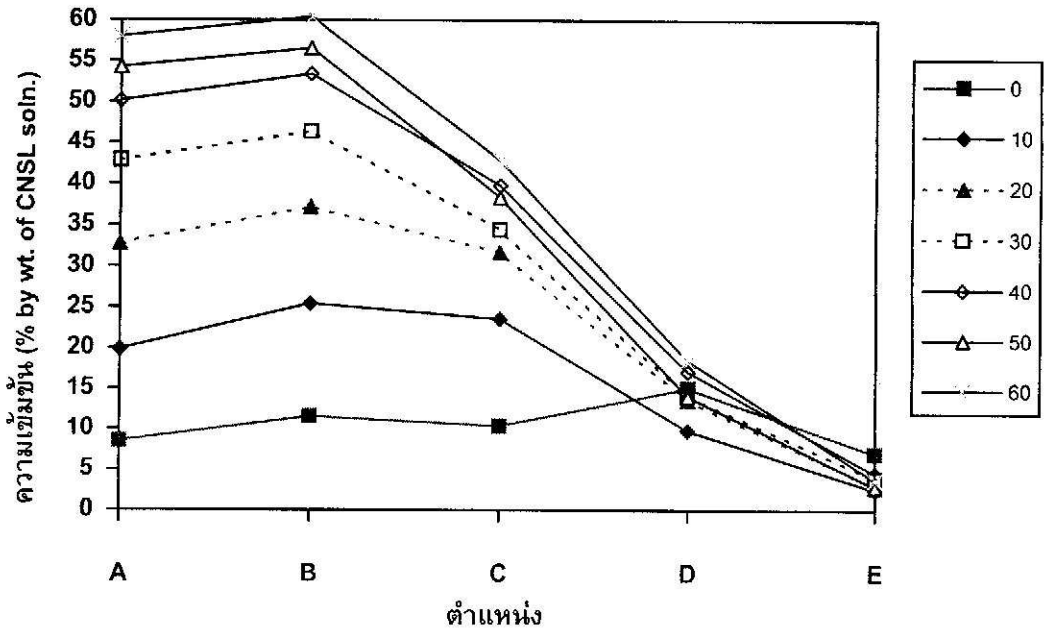
ตาราง ค. 8 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

เวลา (นาที)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln)				
		A	B	C	D	E
0	39.69	8.5218	11.5309	10.3587	15.0153	6.9315
5	58.38	12.6352	17.9207	17.8599	10.7911	2.9933
10	70.45	19.8719	25.4147	23.5278	9.8227	2.4787
15	64.53	27.1301	33.2947	27.6304	11.3594	2.2429
20	62.89	32.8016	37.1615	31.6866	13.5893	2.7896
25	64.42	38.9412	42.5470	34.2489	14.0611	3.6473
30	63.93	42.8544	46.3173	34.4705	14.1075	3.8796
35	59.66	46.5281	50.6486	36.7684	16.3697	3.9368
40	63.09	50.1412	53.3718	39.7953	17.0773	4.5372
45	51.83	53.2753	55.6947	39.8668	17.5026	3.2721
50	54.42	54.2402	56.5631	38.3015	14.0146	2.8754
55	57.46	56.1807	58.2677	41.5857	15.0796	2.8397
60	53.60	58.0462	60.3941	42.7936	18.4317	3.6973

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 34.18% ความชื้น 5.59% และ inert 60.23%
 ความเข้มข้นของ CNSL = 56.75% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อใช้ draft = 0.5



ภาพประกอบ ค. 16 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (นาที) เมื่อใช้ draft = 0.5

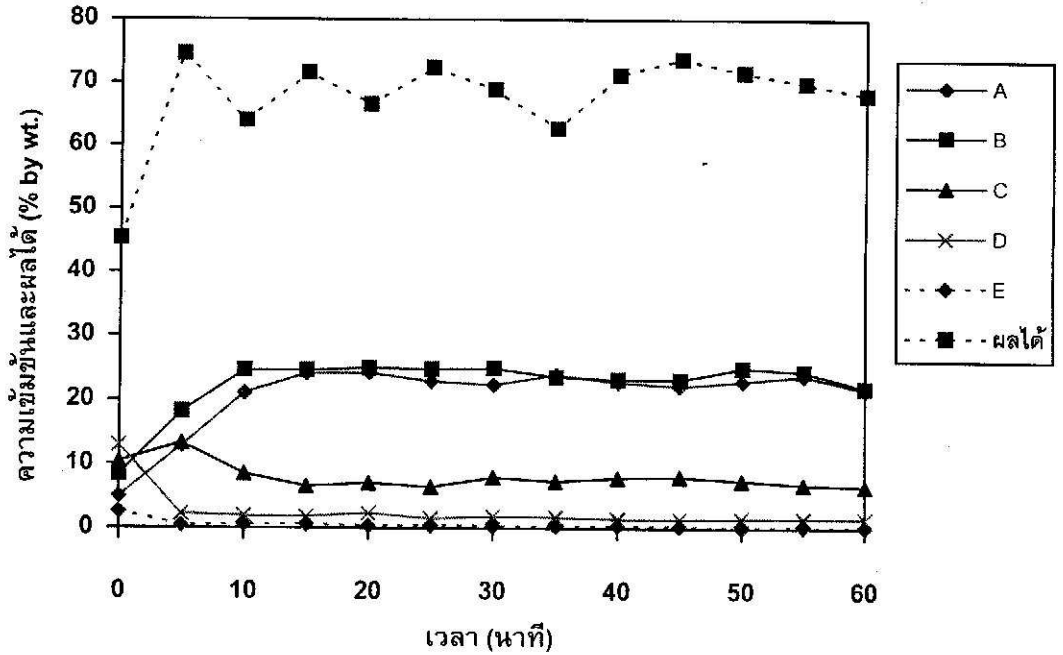
ค. 3.2 draft = 1.0 retention time 10 นาที และ เอียงรางสกัด 5 องศา แสดงไว้ใน ค. 2.2

ค. 3.3 draft = 2.0 retention time 10 นาที และ เอียงรางสกัด 5 องศา

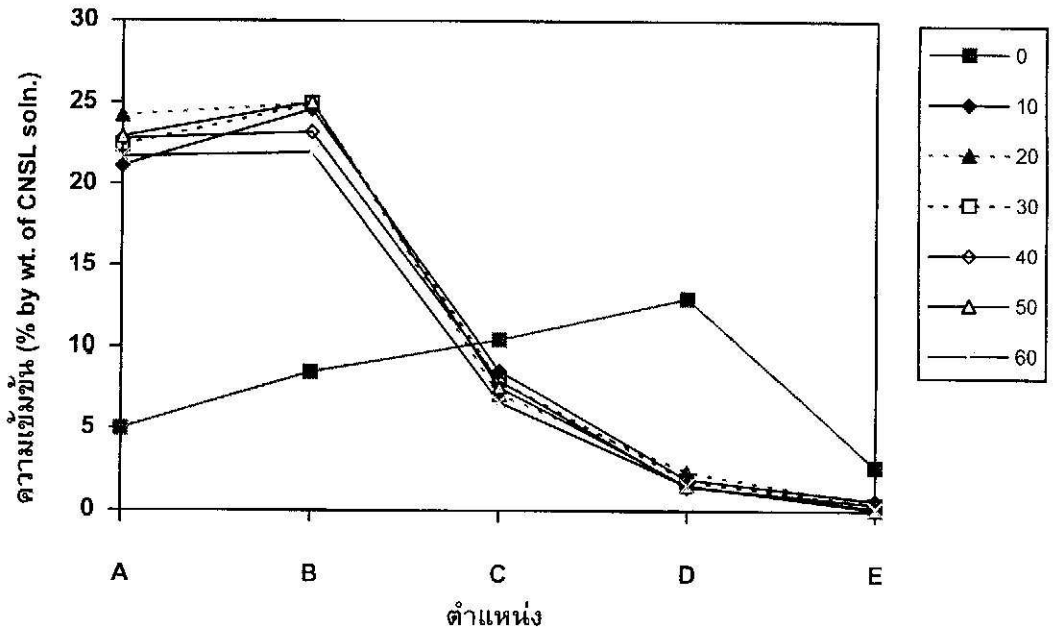
ตาราง ค. 9 ความเข้มข้นของสารละลาย extract ที่จุดต่างๆ

เวลา (นาที)	ผลได้ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (% by wt. of CNSL soln.)				
		A	B	C	D	E
0	45.37	4.9910	8.4289	10.3980	12.9532	2.6395
5	74.53	12.8496	18.1887	13.3106	2.2143	0.4346
10	63.94	21.1013	24.5999	8.5004	1.9141	0.6132
15	71.61	24.0996	24.6071	6.6099	1.8176	0.6132
20	66.57	24.2211	24.9466	7.0781	2.3751	0.4167
25	72.40	22.8845	24.7965	6.4813	1.5102	0.4739
30	68.85	22.3628	24.9358	7.9465	1.8355	0.3595
35	62.75	23.9459	23.6136	7.3497	1.7282	0.3774
40	71.24	22.7630	23.2026	7.8857	1.4674	0.3952
45	73.83	22.1591	23.1597	8.0716	1.3852	0.3559
50	71.60	22.8953	25.0359	7.4962	1.5353	0.0843
55	69.89	23.8351	24.4677	6.9101	1.5317	0.2702
60	68.09	21.6659	21.9304	6.5885	1.5353	0.1451

เปลือกบดใหม่ มี CNSL 35.03% ความชื้น 6.11% และ inert 58.86%
 ความเข้มข้นของ CNSL = 59.51% โดยน้ำหนักของ inert



ภาพประกอบ ค.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่สกัดได้ ต่อเวลาในการสกัด เมื่อใช้ draft = 2.0



ภาพประกอบ ค. 18 Concentration Profile ของการสกัด ที่เวลาต่างกัน (นาที) เมื่อใช้ draft = 2.0