

การสกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางในคอลลิเจนแบบพัลส์ประเภทวงแหวนกับจาน

นายสมศักดิ์ วรมงคลชัย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-569-879-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15526 S

15526 S

EXTRACTION OF TANNIN FROM THE BARK OF RHIZOPHORA SPP.
IN DISC AND RING PULSED COLUMN

Mr. Somsak Woramongconchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemical Technology
Graduate School
Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-569-879-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางในคอลัมน์แบบพลัส

ประเภทงานแหวนกับจาน

โดย

นายสมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชา

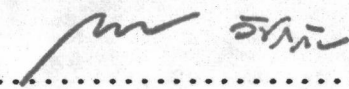
เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา

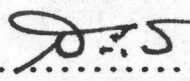
รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ บารมี

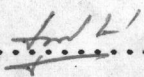
รองศาสตราจารย์ ดร. พล ส่าเกทอง

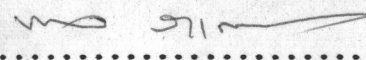
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิชัยกร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ บารมี)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พล ส่าเกทอง)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมษุต)



สมัครดี วรมงคลชัย : การสกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางในคอลัมน์แบบพัลส์ประเภท
วงแหวนกับจาน (EXTRACTION OF TANNIN FROM THE BARK OF RHIZOPHORA SPP.
IN DISC AND RING PULSED COLUMN) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ชูชาติ บารมี
อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.พล ส่า เกทอง , 112 หน้า.

แทนนินเป็นส่วนประกอบเชิงซ้อนพวก "ฟีนอลิก" ซึ่งเป็นสารที่ให้ความฝาด พบตามส่วนต่าง ๆ
ของพืช ใช้น้ำมากในอุตสาหกรรมฟอกหนัง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อ
การแยกสกัดเอาแทนนินออกจากเปลือกไม้โกงกางในคอลัมน์แบบพัลส์ประเภทวงแหวนกับจานที่ทำงานแบบ
ต่อเนื่อง โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแยกสกัดเอาแทนนินออกจากเปลือกไม้
โกงกาง ได้แก่ ขนาดอนุภาคของเปลือกไม้ 0.25 - 2 มิลลิเมตร ผลคูณของความถี่และระยะทางการ
เคลื่อนที่ของลูกสูบ 1.29 - 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำ 54.9 - 116.7 ลิตรต่อ
ชั่วโมง อัตราการป้อนเปลือกไม้ 148.2 - 255 กรัมต่อชั่วโมง การเติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์
0 - 3% น้ำหนักต่อปริมาตร และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้คือ อุณหภูมิห้อง (28 - 31 °C) - 50 °C

จากการทดลองพบว่า ถ้าทำที่อุณหภูมิห้อง ตัวแปรที่เหมาะสมในการแยกสกัดที่ดีที่สุดคือ ขนาด
อนุภาคของเปลือกไม้ 0.355 - 0.5 มิลลิเมตร ผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ
1.29 เซนติเมตรต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำ 54.9 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนเปลือกไม้ 180
กรัมต่อชั่วโมง และเติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ 3% น้ำหนักต่อปริมาตรให้ผลการสกัด 52.32% ของที่มี
อยู่ในเปลือกไม้ เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้น ผลการสกัดจะดีขึ้น พบว่าถ้าทำที่อุณหภูมิ 50 °C
ตัวแปรที่เหมาะสมคือ ขนาดอนุภาคของเปลือกไม้ 0.355 - 0.5 มิลลิเมตร ผลคูณของความถี่และระยะ
ทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำ 54.9 ลิตรต่อชั่วโมง และ
อัตราการป้อนเปลือกไม้ 180 กรัมต่อชั่วโมง โดยไม่เติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ ให้ผลการสกัด 52.54%
ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ การทำที่อุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะให้ผลการสกัดที่ดีกว่า แต่เนื่องจากขีดจำกัดของ
หลอดแก้วและปั๊มน้ำของ เครื่องสกัดนี้ จึงทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงที่สุด 50 °C

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต *Das Amun*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Subh*

SOMSAK WORAMONGCONCHAI : EXTRACTION OF TANNIN FROM THE BARK OF
RHIZOPHORA SPP. IN DISC AND RING PULSED COLUMN. THESIS ADVISOR :
ASSO.PROF.SHOOSHAT BARAMEE, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASSO.PROF.
PHOL SAGETHONG, Ph.D. 112 PP.

Tannins are phenolic compounds from plants and astringent substances. They are found in many parts of plants and widely used in hide industry. In this research, tannin was extracted from the Rhizophora spp. bark in a disc and ring pulsed column using water as a solvent.

Several variables which affected this type of extraction were studied, such as : size of bark particles 0.25 - 2 mm., the product of frequency and amplitude of piston 1.29 - 3.54 cm./sec., the flow rate of water 54.9 - 116.7 l/h, the flow rate of bark 148.2 - 255 g/h, the concentration of sodium sulfite 0 - 3% w/v and temperature of water room (28 - 31°C) - 50°C

It was found that at room temperature, the suitable variables were as follow : particle size 0.355 - 0.5 mm., the product of frequency and amplitude of piston 1.29 cm./sec., the liquid flow rate 54.9 l/h, the flow rate of bark 180 g/h and the concentration of sodium sulfite 3% w/v, the extraction yield was 52.32%. At higher temperature, the extraction yield increased. At 50°C the suitable conditions were as follow : particle size 0.355 - 0.5 mm., the product of frequency and amplitude of piston 3.54 cm./sec., the liquid flow rate 54.9 l/h, the flow rate of bark 180 g/h and the concentration of sodium sulfite 0% w/v, the extraction yield was 52.54%. It is probably that the higher the temperature, the better the yield is. The highest temperature performed in this study was only 50°C because of the limitation of glass column and water pump.

ภาควิชาเคมีเทคนิค
สาขาวิชาเคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต *Phol Sagethong*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Phol Sagethong*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ
 รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์
 ดร.พล สาเกตอง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็น
 ต่าง ๆ ของการวิจัยด้วยดีตลอดมา และเนื่องจากทศการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุน
 การวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย ขอขอบคุณ คุณสุนทรี
 พิระกุล ที่กรุณาเอื้อเฟื้อจัดหาวัสดุดิบมาใช้ในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณสนิท ปรีนคร และ คุณสังข์
 ชมชื่น ที่ให้คำแนะนำและซ่อมแซมเครื่องมือในการวิจัยนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค
 และบรรดาเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและ
 ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา และ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติพิทย์
 ศิริไพศาลพิพัฒน์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยกรุณาจัดหาทุนพิเศษเพื่อใช้เป็น
 ค่าใช้จ่ายและทุนการวิจัยจนสำเร็จการศึกษามา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	6
2.1 แทนนิน.....	6
2.1.1 แทนนินในเปลือกไม้.....	6
2.1.2 ประเภทของแทนนิน.....	6
2.1.3 สมบัติของแทนนิน.....	11
2.1.4 แหล่งแทนนิน.....	13
2.1.5 การตรวจสอบสมบัติของแทนนิน.....	18
2.1.6 การตรวจปริมาณแทนนิน.....	19
2.2 การแยกสกัดสารจากของแข็งด้วยของเหลว.....	20
2.2.1 ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการสกัด.....	20
2.2.2 กลไกของการสกัด.....	21
2.2.3 วิธีการแยกสกัดแบบต่อเนื่อง.....	21
2.2.4 วิธีการวิเคราะห์หาขั้นตอนคิดแบบ Countercurrent Multistage.....	22
2.3 ตัวทำละลายในการสกัดแทนนินจากเปลือกไม้.....	28
2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	28

บทที่

3. อุปกรณ์ วัสดุ และวิธีการทดลอง.....	41
3.1 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองทั่วไป.....	41
3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหลัก.....	43
3.1.3 วัสดุดิบและสารเคมี.....	45
3.2 วิธีการทดลอง.....	46
3.2.1 วิเคราะห์ปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์แทนนิน.....	46
3.2.2 ศึกษาวิธีการสกัดแบบต่อเนื่องส่วนทางกัน.....	48
4. ผลการทดลอง.....	54
4.1 ผลการหาช่วงเวลาที่เกิดสถานะคงตัว.....	54
4.2 ศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำกับขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	57
4.3 ศึกษาผลของ af กับขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	60
4.4 ศึกษาผลของ af กับอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิห้อง.....	63
4.5 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเปลือกไม้กับอัตราการป้อนเปลือกไม้.....	66
4.6 ศึกษาผลของ af กับอัตราการป้อนเปลือกไม้.....	69
4.7 ศึกษาผลของ af กับเติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์.....	72
4.8 ศึกษาผลของ af กับการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ.....	75
4.9 ศึกษาผลของ af กับอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิ 40 °ซ.....	78
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	81
6. สรุปผลและเสนอแนะ.....	88
เอกสารอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าแทนหินธรรมชาติ และแทนหินสังเคราะห์.....	3
2.1 แสดงปริมาณแทนหินจากเปลือกไม้ป่าชายเลนบางชนิด ในท้องที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย.....	14
2.2 แสดงปริมาณแทนหินของเปลือกไม้โกงกางใบใหญ่ ในถิ่นต่าง ๆ ของโลก.....	15
2.3 แสดงปริมาณแทนหินของเปลือกไม้โกงกางบางชนิด โดยใช้วิธี Lowenthal.....	16
2.4 แสดงส่วนประกอบของเปลือกไม้.....	30
2.5 แสดงปริมาณแทนหินในเปลือกไม้ที่มีขนาดลำต้นต่าง ๆ.....	31
2.6 แสดงปริมาณและชนิดของแทนหินที่มีอยู่ในไม้ชายเลน ทางภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย.....	33
2.7 แสดงการวิเคราะห์เปลือกไม้ชายเลนบางชนิด ในประเทศไทยโดยวิธีประมาณ.....	36
2.8 แสดงประสิทธิภาพการสกัดแทนหินและข้อมูลอื่น ๆ เมื่อสกัดวัตถุดิบแบบสวนทางกัน 6 ขั้นตอน.....	37
2.9 แสดงปริมาณแทนหินในเปลือกไม้ชายเลนในประเทศไทย.....	38
3.1 แสดงส่วนประกอบของเปลือกไม้โกงกางใบใหญ่ ที่อบแห้งก่อนนำมาสกัด.....	46
4.1 แสดงผลการหาช่วงเวลาที่เกิดสถานะคงตัว.....	54
จ.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากสภาวะดังนี้ : ขนาดอนุภาคของเปลือกไม้ 1-2 มม., af 1.29 ซม./วินาที, อัตราการป้อนเปลือกไม้ 148.2 ก./ชม., อุณหภูมิห้อง 30 °ซ, อัตราส่วนเปลือกไม้ ต่อน้ำที่ใช้แช่ 1:3 โดยแปรค่าอัตราการไหลของน้ำ 54.9, 78.3, 101.6, และ 116.7 ล./ชม.....	110

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าแทนนินธรรมชาติ และแทนนินสังเคราะห์.....	4
2.1 แสดงตัวอย่างไฮโดรไลซ์เซเปิลแทนนิน.....	8
2.2 แสดงตัวอย่างคอนเดนซ์แทนนิน.....	9
2.3 แสดงวิธีการแยกสกัดแบบต่าง ๆ.....	23
2.4 แสดงวิธีการแยกสกัดแบบ Countercurrent Multistage.....	26
2.5 แสดงวิธีการแยกสกัดแบบ Countercurrent Multistage โดยวิธีสามเหลี่ยมมุมฉาก.....	27
3.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องสกัดในคอลัมน์แบบฟิลล์ ประเภทวงแหวนกับจาน.....	44
3.2 แสดงแผนผังการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์.....	52
4.1 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับอัตราการไหลของน้ำ และขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	58
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย ที่ได้จากการสกัดกับอัตราการไหลของน้ำ และขนาด อนุภาคของเปลือกไม้.....	58
4.3 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้ เฉพาะที่เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับอัตราการไหลของน้ำ และ ขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	59
4.4 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับ af และขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	61
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย ที่ได้จากการสกัดกับ af และขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	61
4.6 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้ เฉพาะที่เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับ af และขนาดอนุภาค ของเปลือกไม้.....	62

ภาพที่	หน้า
4.7 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับ af และอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิห้อง.....	64
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากการสกัดกับ af และอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิห้อง.....	64
4.9 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้เฉพาะที่เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับ af และอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิห้อง.....	65
4.10 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับอัตราการป้อนเปลือกไม้ และขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	67
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากการสกัดกับอัตราการป้อนเปลือกไม้ และขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	67
4.12 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้เฉพาะที่เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับอัตราการป้อนเปลือกไม้ และขนาดอนุภาคของเปลือกไม้.....	68
4.13 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับ af และอัตราการป้อนเปลือกไม้.....	70
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากการสกัดกับ af และอัตราการป้อนเปลือกไม้.....	70
4.15 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้เฉพาะที่เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับ af และอัตราการป้อนเปลือกไม้.....	71
4.16 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับ af และเปอร์เซ็นต์ Na_2SO_3	73
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากการสกัดกับ af และเปอร์เซ็นต์ Na_2SO_3	73
4.18 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้เฉพาะที่เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับ af และเปอร์เซ็นต์ Na_2SO_3	74

ภาพที่

หน้า

4.19 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับ af และอุณหภูมิของน้ำ.....76

4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย ที่ได้จากการสกัดกับ af และอุณหภูมิของน้ำ.....76

4.21 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้เฉพาะที่ เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับ af และอุณหภูมิของน้ำ.....77

4.22 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่) กับ af และอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิ 40 °ซ.....79

4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากการสกัด กับ af และอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิ 40 °ซ.....79

4.24 แสดงร้อยละการสกัด (เทียบกับผลิตภัณฑ์แทนนินที่ติดมากับเปลือกไม้เฉพาะที่ เกิดจากการสกัดภายในคอลัมน์) กับ af และอัตราการไหลของน้ำ ที่อุณหภูมิ 40 °ซ.....80

ก.1 การเทียบมาตรฐานกรดแทนนิกที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.3 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร.....100

ก.2 การเทียบมาตรฐานกรดแทนนิกที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร.....100

ข.1 การเทียบมาตรฐานเครื่องวัดความถี่ของลูกสูบ.....103

ข.2 การเทียบมาตรฐานเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ.....103

ข.3 การเทียบมาตรฐานเครื่องบ่อนเปลือกไม้.....104

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ

- L ปริมาณของตัวไม่ถูกละลายในของแข็งที่เข้าและออกจากระบบทาง heavy phase (underflow)
- V ปริมาณของตัวทำละลายที่เข้าและออกจากระบบทาง light phase (overflow)
- x เศษส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายทาง heavy phase
- y เศษส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายทาง light phase
- Λ ตัวถูกละลาย
- S ตัวทำละลาย
- a ระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ
- f ความถี่