การสกัดและการทำแห้งเซนโนไซด์จากใบมะขามแขก (Cassia spp.)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาว สุรัชฎา สิงหัชวงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-743-2

008871

i 18062234

EXTRACTION AND DRYING OF SENNA LEAF SENNOSIDES (CASSIA SPP.)

Miss Suratchada Singchuvong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสกัดและการทำแห้งเชนโนไซด์จากใบมะขามแขก (Cassia spp.)

โดย นางสาว สุรัชฎา สิงห์ยู่วงศ์

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดและการทำแห้งเซนโนไซด์จากใบมะขามแขก (Cassia spp.)
ชื่อนิสิต	นางสาว สุรัชฎา สิงห์ยู่วงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2527

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

มะขามแขกเป็นพืชสมุนไพรที่มีสารเซนโนไซด์อยู่ในใบและฝัก ใช้เป็นยาระบายได้ งานวิจัยนี้ได้ทดลองสกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขกแห้งบดละเอียด ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ได้แก่ วิธีการย่อยสลาย, การแช่ในหลอดแก้ว, การไหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียน และการสกัดในถังกวนอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน วิธีการหลังนี้ให้ผลการสกัดเซนโนไซด์สูงสุดและได้สารละลายสกัดที่สะดวกในการทำแห้ง การสกัดตามวิธีหลังนี้ได้กระทำในถังกวนอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน 2 ขั้นตอน ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายอัตราส่วนระหว่างใบมะขามแขกและน้ำเท่ากับ 1 : 100 โดยน้ำหนัก เวลาในการสกัดแต่ละขั้นตอน 10 นาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ได้ผลการสกัดเซนโนไซด์ร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก ของที่มีอยู่ในใบมะขามแขก เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ในการทำงาน

สารละลายสกัดที่ได้นำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง และเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งชนิดแรก เป็นผงสีน้ำตาล-แดง มีปริมาณเซนโนไซด์ที่สูญเสียไปเนื่องจากความร้อนสูงสุด ร้อยละ 22.34 โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณความชื้นจากร้อยละ 11.07 ถึง 17.54 โดยน้ำหนักแห้ง, สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งชนิดหลัง มีสีน้ำตาลดำแดง มีรูพรุน กรอบ แตกง่าย มีการสูญเสียเซนโนไซด์ในการทำแห้งสูงสุด เพียงร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.6 ถึง 11.04 โดยน้ำหนักแห้ง ผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดีมาก ต้องบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะทันทีที่ได้จากการผลิต เมื่อทดลองเก็บผลิตภัณฑ์นี้ไว้ในภาชนะอลูมิเนียมเคลือบพลาสติค

ปิดอย่างดี เป็นเวลา 1 เดือน ปรากฏว่า ผลิตภัณฑ์ไม่มีความชื้นเพิ่มขึ้นเลย ดังนั้นจึงควรบรรจุ
ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไว้ในภาชนะอลูมิเนียมเคลือบพลาสติค ปิดอย่างดี

Thesis Title Extraction and Drying of Senna Leaf Sennosides (*Cassia* spp.)

Name Miss Suratchada Singchuvong

Thesis Advisor Professor Somsak Damronglerd; Ph.D.

Department Chemical Technology

Academic Year 1984

ABSTRACT

Senna is a medical plant composed of the laxative constituents named sennosides. These compounds exist in leaf and pod. Grinded dry senna leaves were extracted by various method in this research, for example, maceration, shaking in tube, percolation with circulating system and two stages continuous counter-current extraction in agitated tank. In the latter process, it gave the highest yield of sennoside extraction about 95 percent by weight of senna leaves in the steady state operation and its solution was easy to further process. The suitable ratio between senna leaves and water was 1 to 100 by weight with extraction time of 10 minutes in each stage and at 70°C in oil temperature.

Two drying processes were performed: spray dry and freeze dry. The product from spray dryer was red brown grinded and the moisture content was in the range of 11.07 to 17.54 percent (dry basis). The maximum loss of sennoside by heat and air blower in this project was about 22.34 percent by weight. The freeze dryer gave a very good quality product which was reddish dark brown in color, porous, brittle, fragile and moisture content was in the range of 10.6 to 11.04 percent (dry basis). The maximum loss of sennoside was 0.2 percent by weight

Products from these two processes were very hygroscopic, it is suggested to pack them immediately after drying. Aluminium foil coated with plastic is the best packing material for this product. It had no weight increased after one month storage.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงเลิศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำทางด้านวิชาการ ตลอดจนให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือและสถานที่ทำงานของภาควิชาเคมีเทคนิค และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ศศิธร วสุวัต ที่กรุณาให้คำแนะนำทางด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้มาก และได้ให้ความช่วยเหลือเรื่องทุนสนับสนุนการวิจัย ตลอดจนให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้วัสดุ อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำทางด้านวิชาการและการใช้เครื่องมือ ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิจัยเภสัชและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ คุณสังข์ ยมชื่น ที่กรุณาช่วยสร้างและซ่อมแซมเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในการใช้เครื่องมือและห้องทดลอง

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกขอบคุณเป็นอย่างยิ่งที่เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิค ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านแรงกายแรงใจ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฑ

รายการรูปประกอบ ..... ฒ

สัญญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ ..... ถ

บทที่

1 บทนำ 1

2 วารสารปริทัศน์ 3

2.1 มะขามแขกและเซ่นโนไซด์ 3

2.2 การสกัด 10

2.2.1 การถ่ายเทมวลสารในการสกัด (Mass Transfer in Extraction) 11

2.2.2 วิธีการดำเนินการ (Methods of Operation) 12

2.2.3 การสกัดแบบไหลซึมผ่าน (Percolation) 12

2.2.4 การสกัดแบบจุ่มในสารละลาย (Immersion) 13

2.2.5 การสกัดอย่างต่อเนื่องแบบสวนทางกัน (Continuous Countercurrent Extraction) 14

2.2.6 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกตัวทำละลาย 20

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา 20

2.4 การอบแห้ง 22

บทที่ หน้า

2.4.1 ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content) 23
2.4.2 Hyteresis 23
2.4.3 วิธีดำเนินการอบแห้ง (Drying Operation) 23
2.4.4 การอบแห้งสารละลายสกัด 24
2.4.5 เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง (Spray Dryer) 24
2.4.6 เครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง (Freeze Dryer) ... 30

3 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง 35
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 35
3.2 วัตถุดิบและสารเคมี 40

4 การทดลองเรื่องการสกัด 44
4.1 การสกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการย่อยสลาย (Maceration) 44
4.1.1 ศึกษาผลการสกัดเมื่อใช้น้ำและเอทธานอลเป็นตัวทำละลาย 44
4.2 การสกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการเขย่าในหลอดแก้ว (Shaking in Tube) 44
4.2.1 ศึกษาผลของการสกัดเมื่อใช้น้ำและเอทธานอลเป็นตัวทำละลาย 45
4.3 การสกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการไหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียน (Pressure Percolation with Circulating System) 45
4.3.1 ศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการสกัดเมื่อใช้น้ำและเอทธานอลเข้มข้นร้อยละ 15 เป็นตัวทำละลาย 45

บทที่ หน้า

4.4 การสกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขก ด้วยวิธีการสกัดอย่างต่อเนื่อง แบบสวนทางกัน (Continuous Countercurrent Extraction) 46
4.4.1 การทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัด 46
4.4.2 การทดลองหาปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยใบมะขามแขกบดละเอียด 46
4.4.3 การทดลองเพื่อคาดคะเนจำนวนขั้นตอนที่ใช้ในการทำงานและอัตราส่วนของน้ำต่อใบมะขามแขก 47
4.4.4 ศึกษาการสกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขก เมื่อจำนวนขั้นตอน = 2 48
4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเซนโนไซด์ 51

5 การทดลองเรื่องการทำแห้ง 53
5.1 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง 53
5.1.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง (T_i) และอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก (T_o) ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 53
5.2 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง 53
5.3 ศึกษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา 54
5.3.1 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ 54
5.3.2 ศึกษาคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำของผลิตภัณฑ์ 54
5.3.3 ศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา 54
5.4 การวิเคราะห์ 55

6 ผลการทดลองเรื่องการสกัด 56
6.1 การสกัดเซนโนไซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการย่อยสลาย 56

บทที่ หน้า

6.1.1 ผลของการสกัดเมื่อใช้น้ำและเอทธานอลเป็นตัวทำละลาย 56
6.2 การสกัดเซ็นโนไซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการแช่ย่าในหลอดแก้ว 58
6.2.1 ผลการสกัดเมื่อใช้น้ำและเอทธานอลเป็นตัวทำละลาย ... 58
6.3 การสกัดเซ็นโนไซด์จากใบมะขามแขก ด้วยวิธีการไหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียน 60
6.3.1 ผลของเวลาที่มีต่อการสกัดเมื่อใช้น้ำและเอทธานอลเข้มข้นร้อยละ 15 เป็นตัวทำละลาย 60
6.4 การสกัดเซ็นโนไซด์จากใบมะขามแขก ด้วยวิธีการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน 62
6.4.1 ผลการทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัด 62
6.4.2 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยใบมะขามแขกบดละเอียด 64
6.4.3 ผลการทดลองเพื่อคาดคะเนจำนวนขั้นตอนที่ใช้ในการทำงานและอัตราส่วนของน้ำต่อใบมะขามแขก 66
6.4.4 ผลการสกัดเซ็นโนไซด์จากใบมะขามแขก เมื่อจำนวนขั้นตอน = 2 68

7 ผลการทดลองเรื่องการทำแห้ง 70
7.1 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง 70
7.1.1 ผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งและอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออกที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 70
7.2 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง .. 78
7.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา 79

บทที่ หน้า

7.3.1 คุณสมบัติในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ 79

7.3.2 คุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำของผลิตภัณฑ์ 80

7.3.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา 80

8 วิจารณ์ผลการทดลอง 97

9 สรุปผลและเสนอแนะ 113

เอกสารอ้างอิง 117

ภาคผนวก 122

ประวัติผู้เขียน 138

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของใบมะขามแยก อายุ 30 วัน 42

6.1 แสดงปริมาณเซนโนไซด์ที่สกัดได้และผลของการสกัด (yield) โดยใช้น้ำและเอทธานอลความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นตัวทำละลาย ทำการสกัดด้วยวิธีการย่อยสลาย 56

6.2 แสดงปริมาณเซนโนไซด์และผลการสกัดของตัวทำละลาย น้ำและเอทธานอลด้วยวิธีการเยย่าในหลอดแก้ว 58

6.3 แสดงผลการสกัดด้วยวิธีการไหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียนที่เวลาต่าง ๆ กัน ของน้ำและ 15 % เอทธานอล 60

6.4 ปริมาณเซนโนไซด์ที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีของ Muller และคณะ เมื่อใช้เวลาต่าง ๆ กัน 62

6.5 ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยใบมะขามแยกบดละเอียด 64

6.6 ผลการสกัดเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำ : ใบมะขามแยก = 4 : 1 และทำการสกัด 3 ขั้นตอน 66

6.7 ผลการสกัดเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำ : ใบมะขามแยก = 100 : 1 และทำการสกัดขั้นตอนเดียว 67

6.8 ผลการสกัดในแต่ละขั้นตอน เมื่อทำการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน 2 ขั้นตอน 68

7.1 ผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก = 50°ซ. 71

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

7.2 ผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก = 60°ซ. 72

7.3 ผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก = 70°ซ. 73

7.4 ปริมาณเซนโนไซด์ที่สูญเสียไป และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง 78

7.5 แสดงผลการดูดความชื้นสูงสุดในเวลา 2 ชั่วโมง ของผลิตภัณฑ์ได้จากเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิด 79

7.6 แสดงปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในภาชนะพลาสติกและอลูมิเนียมเคลือบพลาสติกที่เวลาต่าง ๆ กัน 81

7.7 แสดงลักษณะและสีของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่เวลาต่าง ๆ กัน 82

ก-1 ปริมาณเซนโนไซด์ในสารละลายกับค่า $E_{510} - E_{800}$ 124

ง-1 ค่าใช้จ่ายในการผลิตผลิตภัณฑ์แห้งจากการสกัดใบมะขามแยกแห้ง 132

รายการรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

2.1 ต้นมะยามแยก 5

2.2 การสกัดแบบหลายขั้นตอน shank system 16

2.3 การสกัดแบบส่วนทางกัน 18

2.4 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง 25

2.5 การกระจายของอุณหภูมิในการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนกับสารละลายในเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง 27

2.6 ห้องอบแห้งผนังหล่อเย็น 30

2.7 แผนภาพของน้ำแสดงการเกิดกระบวนการระเหิด 31

3.1 เครื่องสกัดแบบไหลซึมผ่านอย่างง่าย 35

3.2 เครื่องสกัดแบบคอลัมน์และระบบหมุนเวียน 36

3.3ก เครื่องสกัดแบบถังกวนในอ่างน้ำมัน (ด้านหน้า) 38

3.3ข เครื่องสกัดแบบถังกวนในอ่างน้ำมัน (ด้านบน) 38

3.4 ใบมะยามแยกแห้ง อายุ 30 วัน 41

3.5 ใบมะยามแยกแห้งบดละเอียด 41

4.1 แสดงการสกัด 3 ขั้นตอน 47

4.2 แผนภาพแสดงการทำงานของการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน 2 ขั้นตอน ..... 50.

6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทธานอลกับผลการสกัดด้วยวิธีการย่อยสลาย 57

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการสกัดกับความเข้มข้นของเอทธานอลและน้ำเมื่อทำการสกัดด้วยวิธีการเขย่าในหลอดแก้ว 59

6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการสกัดกับเวลาเมื่อใช้น้ำและเอทธานอล เข้มข้นร้อยละ 15 เป็นตัวทำละลายในสเกลของเซมิลอกการิทึม (semilogarithm) 61

6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซนโนไซด์ที่สกัดได้กับเวลาที่ใช้ในการสกัดด้วยวิธีของ Muller และคณะ 63

6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซนโนไซด์ของสารละลายสกัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ในแต่ละแถวกับแถวของการสกัด ในการสกัดแบบส่วนทางกัน 2 ขั้นตอน 65

7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซนโนไซด์ที่สูญเสียไปกับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออกต่าง ๆ กัน 74

7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซนโนไซด์ที่สูญเสียไปกับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออกต่าง ๆ กัน ในสเกลของลอกการิทึม (logarithm) 75

7.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออกต่าง ๆ กัน 76

7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออกต่าง ๆ กัน ในสเกลของลอกการิทึม (logarithm) 77

7.5 ผลิตภัณฑ์ A_{11} เมื่อเริ่มต้น, หลัง 14 วัน และหลัง 21 วัน 83

7.6 ผลิตภัณฑ์ A_{12} เมื่อเริ่มต้น, หลัง 14 วัน และหลัง 21 วัน 84

7.7 ผลิตภัณฑ์ A_{13} เมื่อเริ่มต้น, หลัง 14 วัน และหลัง 21 วัน 85

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

7.8 ผลิตภัณฑ์ A_{14} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 86

7.9 ผลิตภัณฑ์ A_{15} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 87

7.10 ผลิตภัณฑ์ A_{21} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 88

7.11 ผลิตภัณฑ์ A_{22} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 89

7.12 ผลิตภัณฑ์ A_{23} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 90

7.13 ผลิตภัณฑ์ A_{24} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 91

7.14 ผลิตภัณฑ์ A_{25} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 92

7.15 ผลิตภัณฑ์ A_{31} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 93

7.16 ผลิตภัณฑ์ A_{32} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 94

7.17 ผลิตภัณฑ์ A_{33} เมื่อเริ่มต้น และหลัง 21 วัน 95

7.18 ผลิตภัณฑ์ B เมื่อเริ่มต้น และหลัง 14 วัน 96

ก-1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_{510} - E_{800}$ กับปริมาณเซฟโนไซด์ในสารละลายเริ่มต้น (อัตราส่วนร้อยละ) 125

สัญญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ

A = พื้นที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลว

b = effective thickness ของชั้นฟิลม์ของเหลวรอบ ๆ ของแข็ง

C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย เมื่อเวลา t

C_s = ความเข้มข้นของสารละลายอิ่มตัวที่สัมผัสกับของแข็ง

h_i = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

ΔH_s = ค่าความร้อนแฝงของการระเหิดของน้ำแข็ง

k = diffusion coefficient

k_{ge} = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารจากภายนอกมายังของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

k_{gi} = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารภายในเนื้อของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

L = วัตถุดิบไหลผ่านแต่ละขั้นตอนในการสกัดแบบสวนทางกัน

M = มวลของตัวถูกละลายที่ถูกถ่ายเทไปในเวลา t

N = จำนวนขั้นตอนการสกัด

P_{ew} = ความดันย่อยของไอน้ำที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับเครื่องควบแน่น

P_{fw} = ความดันย่อยของไอน้ำที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับผิวของเยื่อกแข็งที่เกิดการระเหิด

t = เวลาที่ใช้ในการสกัด

T_s = อุณหภูมิที่ผิวของของเยื่อกแข็งที่กำลังอบแห้ง

T_f = อุณหภูมิที่ผิวที่เกิดการระเหิด

V = ปริมาตรของสารละลาย

V_i = ปริมาณของเหลวที่ไหลผ่านแต่ละขั้นตอนในการสกัดแบบสวนทางกัน

x_a = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัตถุดิบบริสุทธิ์

x_b = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัตถุดิบที่ออกจากระบบ

y^* = ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่สภาวะสมดุล

y_a = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่ออกจากระบบ

y_b = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายบริสุทธิ์