นาโนเอนแคปซูเลชันของเคอร์คูมินในไคโตซานเพื่อประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง

นางสาว ณฐพร โสวสด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3549-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NANOENCAPSULATION OF CURCUMIN IN CHITOSAN FOR COSMETIC APPLICATION

Miss Nataporn Sowasod

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN 974-17-3549-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	นาโนเอนแคปซูเลชันของคอร์คูมินในไคโตซานเพื่อประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง
โดย	นางสาว ณฐพร โสวสด
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีรุ้ง ปรีชานนท์)

Uracha ..... กรรมการ

(ดร.อุรชา รังสาดทอง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณฐพร โสวสด : นาโนเอนแคปซูลของเคอร์คูมินในไคโตซานเพื่อประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง (NANOENCAPSULATION OF CURCUMIN IN CHITOSAN FOR COSMETIC APPLICATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ธวัชชัย ชรินพณิชกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล จำนวนหน้า 120 หน้า.
ISBN 974-17-3549-9.

การศึกษานี้เพื่อพัฒนาการเตรียมและบรรจุสารเคอร์คูมิน ในแคปซูลระดับนาโนเมตรของไคโตซานซึ่งทำการเชื่อมโยงโครงข่ายด้วยไตรพอลิฟอสเฟต กระบวนการเตรียมและบรรจุที่เลือกใช้คือ อิมัลชันเชิงซ้อนแล้วระเหยตัวทำละลายออก (muliple emulsion /solvent evaporation) ได้ทำการศึกษาผลของปัจจัยของกระบวนการเอนแคปซูเลชัน และสูตรตำรับต่อการเกิดนาโนแคปซูลและลักษณะการปลดปล่อยสารเคอร์คูมินจากแคปซูล โดยทดลองแปรค่าของสัดส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคน้ำมัน ความเข้มข้นของไคโตซาน สัดส่วนของตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) ระหว่าง สแปน80 กับ ทวีน80 และความเข้มข้นไตรพอลิฟอสเฟต จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DLS ปรากฏว่านาโนอิมัลชันที่เตรียมได้และสนใจมีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 253.8 - 415.2 นาโนเมตร ในขณะที่นาโนแคปซูลอบแห้งแบบแช่แข็งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 87.5 - 600 นาโนเมตร เมื่อวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากการวิเคราะห์ด้วย TEM ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูลอยู่ในช่วง 17.98 - 67.07 %w/w และผลได้ของการผลิตนาโนแคปซูลอยู่ในช่วง 24.99 - 99.28 %w/w พบว่าสัดส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคน้ำมัน ที่อัตราส่วน 4:1 ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 3.0 %w/v สัดส่วนของตัวทำอิมัลชัน ระหว่าง สแปน 80 กับ ทวีน 80 ที่ 50:50 v/v และความเข้มข้นไตรพอลิฟอสเฟตที่ 1.5 % w/v ให้ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูลสูงสุด คือ 52 %w/w ผลได้ของการผลิต (Process Yield) นาโนแคปซูลในลำดับที่ 2 คือ 98 %w/w ให้นาโนแคปซูลขนาดเฉลี่ยเล็กที่สุด คือ 254 นาโนเมตร และให้ค่าคงที่อัตราการปลดปล่อยสารเคอร์คูมินคือ 31.87 % จากนั้นได้วิเคราะห์ยืนยันผลการเชื่อมโยงหมู่ฟังก์ชันของไคโตซานกับไตรพอลิฟอสเฟต โดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) สรุปแล้วนาโนแคปซูลของไคโตซานเหมาะสมที่จะนำมาเตรียมนาโนแคปซูลออกฤทธิ์นานของเคอร์คูมินเนื่องจากมีการปลดปล่อยยาอย่างต่อเนื่องนานกว่า 24 ชั่วโมง

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต.....ณฐพร โสวสด.....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2548	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4770575821 MAJOR ENGINEERING
KEY WORD: CURCUMIN/ CHITOSAN/ NANOCAPSULES/ O/W/O MULTIPLE EMULSION SOLVENT EVAPORATION

NATAPORN SOWASOD: THESIS TITLE. (NANOENCAPSULATION OF CURCUMIN IN CHITOSAN FOR COSMETIC APPLICATION)
THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. TAWATCHAI CHARINPANITKUL, D.Eng.,
THESIS CO-ADVISOR : PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., 120 pp. ISBN 974-17-3549-9

The present study was designed to develop nanocapsules of chitosan containing curcumin. Curcumin extract was encapsulated in chitosan cross-linked with tripolyphosphate (TPP) via multiple emulsion/ solvent evaporation technique. Effects of the encapsulation process and formulation factors on the formation of nanocapsules and release characteristics of curcumin were investigated. The water phase to oil phase ratio, initial chitosan concentration, the ratio of Span 80 to Tween 80 surfactants, and TPP concentration were varied. The obtained nanocapsules in the emulsions of interest were essentially spherical with average particle size of 253.8-415.2 nm measured with the Dynamic Light Scattering (DLS) method. The observed freeze-dried nanocapsules were, however, about 87.5 - 600 nm in size according to TEM analysis. The encapsulation efficiency ranged from 17.98 to 67.07 %w/w. The process yield ranged from 24.99 to 99.28 %w/w. A water phase to oil phase ratio of 4:1, chitosan concentration of 3 %w/v, ratio of Span 80 to Tween 80 surfactants of 50/50 v/v and TPP concentration of 1.5 %w/v were found to give the highest encapsulation efficiency of 52 %w/w, second highest process yield of 98 %w/w, the smallest average capsule size of 254 nm, and showed a significantly higher release rate constant of 31.87 %. FT-IR analysis confirmed that tripolyphosphate (TPP) cross-linked with the ammonium groups of chitosan in the wall of nanocapsules. In conclusion, chitosan was suitable to prepare sustained release nanocapsules of curcumin because the capsules were found to display extended release profile lasting more than 24 hours.

Department Chemical Engineering	Student's signature Nataporn Sowasod
Field of study Chemical Engineering	Advisor's signature T. Charinpanitkul
Academic year 2005	Co-advisor's signature W. Tanthapanichakoon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำและชี้แนะความรู้ความเข้าใจต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณปรีชา แสงธีระปิติกุล ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและชี้แนะความรู้ต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ศิริพร ดำรงศักดิ์กุล ประธานกรรมการ ผศ.ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์ และดร.อุรชา รังสาดทอง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับความช่วยเหลือตั้งแต่การตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอกราบพระคุณทีมคณาจารย์และนักวิจัย ของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้ให้โอกาสได้ทำงานวิจัย รวมทั้งช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์พื้นที่ และเงินทุนสำหรับการทำวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการทำงาน รวมทั้งคำแนะนำต่างๆซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าต่อไปในอนาคต

ขอขอบคุณ พี่กู้เกียรติและพี่จรุงโรจน์ (ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) สำหรับความช่วยเหลือในการวิเคราะห์เคอร์คูมิน

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค และกลุ่ม Biotec Pilot Plant ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ตลอดเวลาที่ทำงานวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัว ให้ความสนับสนุน และช่วยเหลือต่างๆ ที่มีความเข้าใจให้กำลังใจ จนทำให้ผู้วิจัยทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฏ

สัญลักษณ์.....ฒ

บทที่

1. บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....1

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2

1.3 วัตถุประสงค์โครงงานวิจัย.....4

1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย.....4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5

2. ความรู้พื้นฐาน.....6

2.1 ขมิ้นชันและเคอร์คูมิน.....6

2.2 อนุมูลอิสระ.....8

2.3 ไคตินและไคโตซาน.....8

2.4 กระบวนการเอนแคปซูเลชัน.....10

2.5 อิมัลชัน.....11

2.6 ระบบ HLB (Hydrophilic-lipophilic balance).....11

2.7 การดูดซึมสารผ่านผิวหนัง.....14

3. อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินการทดลอง.....16

3.1 อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์.....16

3.1.1 อุปกรณ์.....16

3.1.2 สารเคมี.....17

บทที่ หน้า

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง.....19
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมนาโนแคปซูล.....19
3.2.1 กลไกการเกิดนาโนแคปซูล.....21
3.2.2 เงื่อนไขของการเตรียมนาโนแคปซูลที่ศึกษา.....22
3.2.2.1 ผลกระทบของความเข้มข้นของไคโตซาน.....22
3.2.2.2 ผลกระทบของสัดส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำกับวัฏภาคน้ำมัน.....22
3.2.2.3 ผลกระทบของสัดส่วนระหว่าง Span 80 :Tween 80.....23
3.2.2.4 ผลกระทบของความเข้มข้นของไตรพอลิฟอสเฟต 23
3.2.3 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณลักษณะของนาโนแคปซูล.....24
3.2.3.1 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาค.....24
3.2.3.2 สัณฐาน (morphology) ของนาโนแคปซูล.....25
3.2.3.3 ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูล.....26
3.2.3.4 ผลได้ (Process Yield) ของการผลิตนาโนแคปซูล.....27
3.2.3.5 คุณลักษณะสมบัติกายภาพและเคมีของไคโตซาน.....27
3.2.3.6 การปลดปล่อยเคอร์คูมินจากนาโนแคปซูล.....27
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....28
4.1ผลเบื้องต้นของการเตรียมนาโนแคปซูล.....28
4.1.1 ผลการทดสอบการละลายของไคโตซาน.....28
4.1.2 ผลการทดสอบการเตรียม O/W Emulsion.....29
4.1.3 ผลการทดสอบการเตรียม O/W/O Emulsion.....30
4.1.4 ผลการทดสอบการเตรียมนาโนแคปซูล.....33
4.2 ผลิตนาโนแคปซูล 36
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของนาโนแคปซูล.....41
4.3.1 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูล.....41
4.3.2 ผลการศึกษาสัณฐาน (morphology) ของนาโนแคปซูล.....43
4.3.3 ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูล.....47
4.3.4 ผลได้ (Process Yield) ของการผลิตนาโนแคปซูล.....48
4.3.5 การหาคุณลักษณะสมบัติกายภาพและเคมีของไคโตซาน.....50
4.3.6 การปลดปล่อยเคอร์คูมินจากนาโนแคปซูล.....53

บทที่ หน้า

4.4 การยืนยันผลการผลิตนาโนแคปซูลสำหรับ Formulation 79.....55
4.4.1 การผลิตนาโนแคปซูล.....55
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของนาโนแคปซูลที่สังเคราะห์ซ้ำ.....56
4.4.2.1 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายอนุภาคของนาโนแคปซูล.....56
4.4.2.2 ผลการศึกษาสัณฐานของนาโนแคปซูล.....57
4.4.2.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไคโตซาน ด้วยเทคนิคจุลวิเคราะห์ EDS.....58
4.4.2.4 ประสิทธิภาพของการบรรจุแคปซูล.....59
4.4.2.5 ผลได้ของการผลิต (Process Yield) นาโนแคปซูล.....60
4.4.2.6 ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากนาโนแคปซูล.....60
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....62
5.1 สรุปผลการทดลอง.....62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....63

รายงานอ้างอิง.....64
ภาคผนวก.....66
ภาคผนวก ก ผลการวัดการกระจายขนาดด้วยเครื่อง Nanosizer.....67
ภาคผนวก ข FT-IR.....72
ภาคผนวก ค ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล.....81
ภาคผนวก ง กราฟมาตราฐานของเคอร์คูมิน ด้วยเครื่อง HPLC.....91
ภาคผนวก จ ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากนาโนแคปซูล.....94
ภาคผนวก ฉ ค่าการคำนวณ N_p V_{inside} S_{total}.....97
ภาคผนวก ช ผลงานทางวิชาการของงานวิจัย.....100
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....105

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่า HLB ของสารทำอิมัลชัน....12
3.1 ปัจจัยกำหนดในการเตรียมนาโนแคปซูลของเคอร์คูมิน....22
3.2 ปัจจัยกำหนดในการเตรียมนาโนแคปซูลของเคอร์คูมิน....22
3.3 ปัจจัยกำหนดในการเตรียมนาโนแคปซูลของเคอร์คูมิน....23
3.4 ปัจจัยกำหนดในการเตรียมนาโนแคปซูลของเคอร์คูมิน....23
4.1 ลักษณะของไคโตซานลักษณะของไคโตซานในกรดอะซิติกแต่ละความเข้มข้น....28
4.2 ลักษณะสมบัติของไคโตซาน....29
4.3 คุณลักษณะของo/w/oอิมัลชัน....30
4.4 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของอิมัลชัน....31
4.5 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของอิมัลชัน....32
4.6 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน....37
4.7 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน (Core to Wall ratio 1:3)....38
4.8 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน (Core to Wall ratio 1:4)....39
4.9 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน (Core to Wall ratio 1:5)....40
4.10 Formulation ที่นาโนแคปซูลมีลักษณะเป็นผง....41
4.11 ผลการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่วัดโดย Nanosizer และ TEM....47
4.12 ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูล....47
4.13 ผลได้ของการผลิตนาโนแคปซูลสำหรับ Formulation ที่นาโนแคปซูลมีลักษณะเป็นผง....48
4.14 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายอนุภาคของนาโนแคปซูลสำหรับ Formulation 79....56
4.15 ประสิทธิภาพการบรรจุเคอร์คูมินสำหรับ Formulation 79....59
4.16 ผลได้ของการผลิต (Process Yield) นาโนแคปซูลในแคปซูลสำหรับ Formulation 79....60

ตารางที่ หน้า

ก1 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน.....68
ก2 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน
(Core to Wall ratio 1:3).....69
ก3 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน
(Core to Wall ratio 1:4).....70
ก4 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูลในอิมัลชัน
(Core to Wall ratio 1:5).....71
ง1 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเคอร์คูมิน.....93
จ1 ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมินออกจากนาโนแคปซูล
Formulation 28 43 62 70 71 79 และ 80 ตามลำดับ.....95
จ2 ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากนาโนแคปซูลสำหรับ Formulation 79 (No.3)..96
ฉ1 แสดงค่าการคำนวณ N_p V_{inside} S_{total} ที่ผนังไคโตซานหนา 5 นาโนเมตร.....98
ฉ2 แสดงค่าการคำนวณ N_p V_{inside} S_{total} ที่ผนังไคโตซานหนา 10 นาโนเมตร.....98
ฉ3 แสดงค่าการคำนวณ N_p V_{inside} S_{total} ที่ผนังไคโตซานหนา 20นาโนเมตร.....98
ฉ4 แสดงค่าการคำนวณ N_p V_{inside} S_{total} ที่ผนังไคโตซานหนา 50 นาโนเมตร.....99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn.).....6

2.2 โครงสร้างโมเลกุลของ curcumin, demethoxycurcumin และ bisdemethoxycurcumin.....7

2.3 กลไกการทำงานของ antioxidant แบบเป็นตัวจับอนุมูลอิสระ.....8

2.4 ไคโตซาน.....9

2.5 โครงสร้างโมเลกุลของไคตินและไคโตซาน.....8

2.6 Nanocapsule.....10

2.7 โครงสร้างโมลกุลของ Sorbitan monooleate.....13

2.8 โครงสร้างโมลกุลของ Polyxyethylene sorbitan monooleate.....13

2.9 ภาพตัดขวางของผิวหนังชั้นอิพีเดอร์มิส เดอร์มิส ซึ่งเป็นชั้นผิวหนังที่มีความสำคัญทางเครื่องสำอาง.....14

3.1 ขั้นตอนการเตรียมนาโนแคปซูลของเคอร์คูมิน (curcumin) ที่หุ้มด้วยไคโตซาน.....20

3.2 แสดงการสังเคราะห์นาโนแคปซูลโดยใช้วิธีการอิมัลชันเชิงซ้อน.....21

3.3 Nanocapsules emulsion.....24

3.4 เครื่อง Nanosizer รุ่น Nano-ZS บริษัท Malvern.....25

3.5 Transmission Electron Microscope (TEM) รุ่น JEM 2010 บริษัท JEOL.....25

4.1 การกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของO/W/O emulsion.....31

4.2 การกระจายขนาดอนุภาคของO/W/O emulsion.....32

4.3 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (E).....33

4.4 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (F).....34

4.5 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (G).....34

4.6 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (H).....35

4.7 การกระจายขนาดอนุภาคของนาโนแคปซูล.....42

4.8 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (28).....43

4.9 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (43).....43

4.10 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (62).....44

4.11 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (70).....44

รูปที่ หน้า

4.12 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (71).....45
4.13 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (79).....45
4.14 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation (80).....46
4.15 ประสิทธิภาพการบรรจุแคปซูลสำหรับ Formulation 28 43 62 70 71 79 80 ตามลำดับ.....48
4.16 ผลได้ (Process Yield) ของนาโนแคปซูล Formulation 28 43 62 70 71 79 80 ตามลำดับ.....49
4.17 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต.....50
4.18 โครงสร้างโมเลกุลไคโตซาน.....50
4.19 FT-IR สเปกตรัมของไคโตซานบริสุทธิ์ และ Formulation 28 43 62 70 71 79 80 ตามลำดับ (a-h).....52
4.20 ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากนาโนแคปซูลสำหรับ Formulation 28 43 62 70 71 79 และ 80 ตามลำดับ.....50
4.21 o/w emulsion, o/w/o emulsion และ Nanocapsules ที่ผลิตตาม Formulation 79.....55
4.22 การกระจายขนาดของนาโนแคปซูล.....56
4.23 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 79 (No. 1).....57
4.24 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 79 (No. 2).....57
4.25 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 79 (No. 3).....58
4.26 องค์ประกอบทางเคมีของไคโตซานวิเคราะห์ด้วย EDS.....59
4.27 ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากนาโนแคปซูลสำหรับ Formulation 79 (เก่า) และ Formulation 79 ซ้ำ (No.3).....60
ข1 FT-IR สเปกตรัมของไคโตซานบริสุทธิ์.....73
ข2 FT-IR สเปกตรัมของ Formulation 28.....74
ข3 FT-IR สเปกตรัมของ Formulation 43.....75
ข4 FT-IR สเปกตรัมของ Formulation 62.....76
ข5 FT-IR สเปกตรัมของ Formulation 70.....77
ข6 FT-IR สเปกตรัมของ Formulation 71.....78
ข7 FT-IR สเปกตรัมของ Formulation 79.....79

รูปที่ หน้า

ข8 FT-IR สเปกตรัมของ Formulation 80.....80
ค1 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 28.....82
ค2 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 43.....83
ค3 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 62.....84
ค4 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 70.....85
ค5 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 71.....86
ค6 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 79.....88
ค7 ภาพถ่าย TEM ของนาโนแคปซูล Formulation 80.....90
ง1 Chromatogram ของเคอร์คูมินอยด์ ด้วย เครื่อง HPLC.....92
ง2 กราฟมาตรฐานสำหรับหาความเข้มข้นของเคอร์คูมินวิเคราะห์โดย HPLC.....93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

°C	=	องศาเซลเซียส
cm	=	เซนติเมตร
g	=	กรัม
mg	=	มิลลิกรัม
ml	=	มิลลิลิตร
mm	=	มิลลิเมตร
rpm	=	รอบต่อนาที
min	=	นาที
hr	=	ชั่งโมง
µL	=	ไมโครลิตร
µm	=	ไมโครเมตร
nm	=	นาโนเมตร
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน
o/w	=	น้ำมันในน้ำ
o/w/o	=	น้ำมันในน้ำในน้ำมัน
%	=	เปอร์เซ็นต์
%v/v	=	เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร
%w/v	=	เปอร์เซ็นต์มวลต่อปริมาตร
%w/w	=	เปอร์เซ็นต์มวลต่อมวล
No.	=	จำนวน
SD	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
PDI.	=	ค่าการกระจายตัว (Polydispersibility index)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย