



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การตรวจสอบปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันแบบรู้
ผลเร็วด้วยเหี่ยวอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

โดย ดร. ศุมาพร เกษมสำราญ และคณะ

มีนาคม 2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การตรวจสอบปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันแบบรู้ผลเร็วด้วย
เอนไซม์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

ผู้วิจัย

สังกัด

ดร. ศุมาพร เกษมสำราญ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นางสาววรารักษ์ อภิวัฒนาภิวัฒน์

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร. พิลานี ไถนหอมสัตย์

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นางวารุณี ธนะแพสย์

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยโครงการนี้สำเร็จลงด้วยดี ด้วยการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยทุกท่านจากสถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้แก่ น.ส.วราภรณ์ อภิวัฒนาวิวัฒน์ และดร.พิลาณี ไวกอนมสัถย์ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่อง HPLC ตลอดจนดูแลควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์จนเสร็จสิ้นงานวิจัย ขอขอบคุณที่ปรึกษาโครงการ นางวราณี ธนะแพสย์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้จนสำเร็จลงตามความมุ่งหมายทุกประการ

ขอขอบคุณ ดร.ณัฐภรณ์ สุทธิวิจิตรภักดี และทีมผู้ช่วยนักวิจัย ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ น.ส.ศิริมาตา มงคลวิทย์ น.ส.ธีระนัน อ่อนสุขใส น.ส.บุษบา ปัญญาชน และนายทศพล อุมะมานิต ที่ช่วยงานวิจัยด้วยความตั้งใจ มุ่งมั่น

ตลอดจนขอขอบพระคุณ บริษัท บุญ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นอย่างยิ่งที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์การวัด 30 capsules-sample plate และ 6 vials-sample plate จนทำให้งานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ
ผู้วิจัย

Abstract

Project Code: RSA5580032

Project Title: A Rapid Curcumin Assay in Turmeric Herbal Medicine by Near Infrared Spectroscopy

Investigator: Dr. Sumaporn Kasemsumran

Nondestructive Quality Evaluation Unit

Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute

Kasetsart University

E-mail Address: aapspk@ku.ac.th

Project Period: 1.5 Years

In this study, Fourier transform-near infrared (FT-NIR) spectroscopy was used to determine the curcumin content in commercial turmeric herbal medicine. Two different sample presentations originating from a turmeric capsule and powder were evaluated and compared using an FT-NIR spectrometer equipped with a 30-capsule sample plate in the wavenumber region of 11500–6000 cm^{-1} (transmittance mode) and a 6-vial sample plate in the wavenumber region of 10000–4000 cm^{-1} (reflectance mode), respectively. 256 samples of turmeric herbal medicines were divided into two sets; a training set with 208 samples and a prediction set with 48 samples. High quality FT-NIR spectra for the turmeric powder containing the informative regions of curcumin (6850, 6000, and 4600 cm^{-1}) were obtained while collecting FT-NIR data on the powder samples in the glass vials. A successful partial least squares (PLS) calibration model for curcumin content in commercial turmeric herbal medicine powders was then obtained by utilizing the combined three spectral regions found by moving window partial least square regression (MWPLSR) as well as a multiplicative scattering correction (MSC) spectral pretreatment containing 14 principle components (PCs). The corresponding statistical values for curcumin were: a coefficient of determination (R^2) of 0.97, a root mean squares error of prediction (RMSEP) of 0.19% dry wt. and a ratio of RMSEP to the standard deviation (SD) of curcumin content in a prediction set (RPD) of 6.11. These statistical values confirmed the efficacy of FT-NIR spectroscopy in quality assurance level for the rapid and non-destructive analysis of curcumin content in turmeric herbal medicine.

Keywords: FT- near infrared spectroscopy, turmeric, curcumin, herbal medicine

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RSA5580032

ชื่อโครงการ : การตรวจสอบปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันแบบรวดเร็วด้วยเนียร์อินฟราเรด-สเปกโตรสโกปี

ชื่อนักวิจัย : ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย

ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : aapspk@ku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 1.5 ปี

ในการศึกษานี้ ได้ใช้ฟลูอริเยทรานฟอรั่ม-เนียร์อินฟราเรด (FT-NIR) สเปกโตรสโกปีเพื่อตรวจสอบปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันที่ขายในร้านขายยา โดยทำการประเมินและเปรียบเทียบการสแกนตัวอย่างที่แตกต่างกันสองแบบด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ประกอบพร้อมภาตวางตัวอย่างชนิดแคปซูล 30 แคปซูล สแกนในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$ (ระบบตรวจจับแสงส่องทะลุผ่านตัวอย่าง) และเครื่องที่ประกอบพร้อมภาตวางตัวอย่างบรรจุในขวดแก้ว vial 6 ขวด สแกนในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ (ระบบตรวจจับแสงสะท้อนแสงจากตัวอย่าง) ตามลำดับ ใช้ตัวอย่างยาสมุนไพรขมิ้นชัน 256 ตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสร้างสมการ 208 ตัวอย่างและชุดทดสอบสมการ 48 ตัวอย่าง สเปกตรัม FT-NIR ของผงยาขมิ้นชันบรรจุใน glass vial ให้สัญญาณที่มีคุณภาพสูงและครอบคลุมพีคที่มีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของเคอร์คูมิน ($6850, 6000$ และ 4600 cm^{-1}) ทำให้ได้สมการ calibration ชนิด PLS ที่ประสบความสำเร็จในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชัน โดยคำนวณจากการใช้ข้อมูลสเปกตรัมใน 3 ช่วงเลขคลื่นร่วมกัน ซึ่งเลือกช่วงด้วยวิธี moving window partial least square regression (MWPLSR) และปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี multiplicative scattering correction (MSC) ใช้องค์ประกอบหลักเป็น 14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เป็น 0.97 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ปริมาณของตัวอย่างชุดทดสอบ (RMSEP) 0.19% โดยน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณเคอร์คูมินในชุดทดสอบต่อค่า RMSEP (RPD) เป็น 6.11 ค่าสถิติเหล่านี้ยืนยันประสิทธิภาพของ FT-NIR สเปกโตรสโกปีระดับการประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง

คำหลัก : ฟลูอริเยทรานฟอรั่ม-เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ขมิ้นชัน เคอร์คูมิน ยาสมุนไพร

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
Abstract	(2)
บทคัดย่อ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญภาพ	(6)
Executive summary	(8)
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	19
อุปกรณ์และวิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	27
สรุปผลการวิจัย	39
เอกสารอ้างอิง	41
Output	45
ภาคผนวก	46

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อกำหนดมาตรฐานของการผลิตขี้มันชั้น	6
2	การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	13
3	การแบ่งช่วงคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด	14
4	ค่าสถิติของปริมาณเคอร์คิวมินในยาขี้มันชั้นที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 1	31
5	ค่าสถิติของปริมาณเคอร์คิวมินในยาขี้มันชั้นที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2	31
6	ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คิวมินในยาขี้มันชั้นบรรจุแคปซูลในช่วงความยาวคลื่น $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$	32
7	ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คิวมินในผงยาขี้มันชั้นบรรจุ glass vial ในช่วงความยาวคลื่น $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ การทดลองชุดที่ 1	34
8	ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คิวมินในผงยาขี้มันชั้นบรรจุ glass vial ในช่วงความยาวคลื่น $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ การทดลองที่ 2	36
9	ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คิวมินในผงยาขี้มันชั้นบรรจุ glass vial เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้เลขคลื่นตลอดช่วงและที่เลือกช่วงเลขคลื่นด้วยวิธี MWPLSR	38

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขมิ้นชัน ช่อดอก (1) และเหง้าใต้ดินของต้นขมิ้นชัน (2), (3)	2
2	สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids)	5
3	การดูดกลืนของโมเลกุล X-H ทำให้เกิดพีคในสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด	15
4	ลักษณะ Sample presentations ในเทคนิคเนียร์อินฟราเรด	16
5	แสดงลักษณะแคปซูลของตัวอย่างที่เก็บรวบรวมจากร้านขายยาสมุนไพร	22
6	แสดงการวางแคปซูลลงบนถาดวัด บนเครื่อง FT-NIR spectrophotometer	23
7	การบรรจุผงขมิ้นชันจากแคปซูลลงในขวด glass vial (ซ้าย) และการวางขวดที่บรรจุตัวอย่างบนถาดวัดสำหรับ vial บนเครื่อง FT-NIR spectrophotometer ระบบวัดแสงส่องผ่าน	24
8	แสดงการสกัดด้วยสารเคมี (ซ้าย) การทำให้สารสกัดเคอร์คูมินอยด์เข้มข้น (กลาง) และการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC (ขวา)	24
9	แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์การใช้แคปซูลสีต่างๆ เพื่อบรรจุผงยาสมุนไพรขมิ้นชัน	27
10	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดในช่วง $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$ ของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลสีต่างๆ	28
11	โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน curcumin ความเข้มข้น 0.300 mg/ml	28
12	กราฟมาตรฐาน curcumin	29
13	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดที่ไม่ปรับแต่งของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลชนิดใสในช่วง $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$	29
14	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดภายหลังปรับแต่งให้เรียบของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลชนิดใส ในช่วง $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$	30
15	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดที่ไม่ปรับแต่งของผงขมิ้นบรรจุใน glass vial ในช่วง $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$	30
16	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลชนิดใส ภายหลังปรับแต่งให้เรียบร่วมกับวิธี MSC (ซ้าย) และวิธี 2D (ขวา) ในช่วง $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$	32

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
17	พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คิวมินในยาขมิ้นชันที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากยาบรรจุแคปซูลสีที่สร้างจากสเปกตรัม ปรับแต่งวิธี Smoothing + MSC ทั้งช่วงเลขคลื่น (แกน Y)	33
18	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของผงขมิ้นภายหลังปรับแต่งวิธี MSC (ซ้าย) และวิธี 2D (ขวา) ในช่วง $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$	33
19	พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คิวมินในยาขมิ้นชันที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากผงยาสมุนไพรขมิ้นชันที่บรรจุ glass vial สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งวิธี Second derivative ทั้งช่วงเลขคลื่น (แกน Y)	34
20	พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คิวมินในยาขมิ้นชันที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากผงยาสมุนไพรขมิ้นชันที่บรรจุ glass vial สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งวิธี MSC ทั้งช่วงเลขคลื่น (แกน Y)	36
21	พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเลขคลื่น (แกน X) และค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คิวมิน (แกน Y) ของสมการทำนาย PLS จากการคำนวณ MWPLSR ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผงยาขมิ้นที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC	37
22	พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คิวมินในยาขมิ้นชันที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากผงยาสมุนไพรขมิ้นชันที่บรรจุ glass vial สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งวิธี MSC ในช่วงเลขคลื่นที่พบด้วยวิธี MWPLSR ตั้งแต่ $7304 - 6600$, $6400 - 5600$ และ $5400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ (แกน Y)	38

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

ทุนพัฒนานักวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจสอบปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันแบบรวดเร็วด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

(ภาษาอังกฤษ) A Rapid Curcumin Assay in Turmeric Herbal Medicine by Near Infrared Spectroscopy

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ขมิ้นชัน (turmeric) เป็นพืชสมุนไพรในเขตร้อน อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae ต้นที่โตเต็มที่จะมีความสูงถึงหกเมตรมักปลูกในพื้นที่เขตร้อนทางใต้และตะวันออกเฉียงใต้ของเอเชีย ส่วนใหญ่มักจะพบการปลูกขมิ้นในอินเดีย จีน อินโดนีเซีย ไทยและประเทศในเขตร้อนอื่นๆ ขมิ้นชันมีสารสำคัญสีเหลือง-ส้ม กลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoid) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญตัวหนึ่งโดยพบอยู่ในเหง้า ผงขมิ้นชันถูกนำมาใช้ผสมอาหารเป็นเครื่องเทศ สีย้อม เครื่องปรุงและใช้เป็นยาแผนโบราณ ในทางการแพทย์ขมิ้นมีสรรพคุณทางยาในการรักษาโรคหลายชนิด เช่น โรคเกี่ยวกับระบบการย่อยอาหาร รักษาโรคผิวหนังบางชนิด มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียและรา ฤทธิ์ต้านอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิตามินซีและวิตามินอี จากงานวิจัยหลายชิ้นพบว่า สารเคอร์คูมินมีฤทธิ์ช่วยป้องกันโรคมะเร็งปอด มะเร็งลำไส้ สารเคอร์คูมินอยด์เป็นสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenolic compound) โครงสร้างทางเคมีของสารเคอร์คูมินอยด์ประกอบด้วย ferric acid 2 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า diferuloylmethane สารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ เคอร์คูมิน (curcumin) เป็นเคอร์คูมินอยด์ที่พบมากที่สุดที่พบในขมิ้นชัน คือ ประมาณ 49-60%w/w สำหรับ demethoxycurcumin และ bisdemethoxycurcumin เป็นเคอร์คูมินอยด์ที่พบในขมิ้นชันในปริมาณที่น้อย

การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพยาสมุนไพรมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยมีกระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญที่ทำหน้าที่ออกฤทธิ์ เนื่องจากปริมาณสารนี้ที่มีอยู่จริงในยาจะสะท้อนถึงคุณภาพในการรักษาโรคต่างๆ โดยวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการตรวจสอบเนื้อยาหรือปริมาณสารเคอร์คูมินมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ spectrophotometric methods, thin-layer chromatography (TLC), high performance thin-layer chromatography (HPTLC), capillary electrophoresis, supercritical fluid chromatography, ultra performance liquid chromatography (UPLC) และ high performance liquid chromatography (HPLC) อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้เป็นเวลาที่ใช้เวลาค่อนข้างนานและมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการที่รวดเร็วและเชื่อถือได้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของ curcumin แสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (near infrared spectroscopy) ที่รู้จักกันดีในด้านวิธีการที่ไม่ทำลายอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีการเตรียมตัวอย่างน้อยมากหรือไม่มีการเตรียมตัวอย่างเลย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งในเชิงปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้รายงานความสำเร็จในการประยุกต์ใช้แสงเนียร์อินฟราเรดในการวิเคราะห์

ปริมาณเคอร์คูมินอยต์ในเหง้าขมิ้นไว้แล้วในโครงการ MRG5180181 ที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยร่วมกับสำนักงานการอุดมศึกษา ในงานวิจัยนี้จึงมีความประสงค์จะต่อยอดงานวิจัยเดิม นำองค์ความรู้จากงานวิจัยที่ผ่านมา มาใช้ประโยชน์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินที่เป็นส่วนประกอบในยาสมุนไพรขมิ้นชัน

2. วัตถุประสงค์

2.1 สร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินในผงยาสมุนไพรขมิ้นชันด้วยการใช้แสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเทียบกับวิธีอ้างอิง HPLC

2.2 สร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันบรรจุแคปซูลด้วยการใช้แสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเทียบกับวิธีอ้างอิง HPLC

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ปีที่หนึ่ง : สร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

3.1 รวบรวมและจัดซื้อยาสมุนไพรขมิ้นชันจากท้องตลาดและร้านขายยา (ตัวอย่างชุดสร้างสมการ)

3.2 คัดเลือกตัวอย่างที่รวบรวมได้ โดยเน้นยาที่มีปริมาณเคอร์คูมินในช่วงกว้าง ทั้งปริมาณ ต่ำ กลาง และสูง

3.3 ศึกษาอิทธิพลของแคปซูลต่อคุณภาพสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดที่ได้จากการสแกน

3.4 เตรียมการวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อใช้เป็นวิธีการอ้างอิง

3.5 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสแกนวัดตัวอย่างยาขมิ้นชันด้วยแสงเนียร์อินฟราเรด (1100-2500 นาโนเมตร) สำหรับ

3.5.1 ผงยาขมิ้นชัน จะถูกบรรจุในขวดแก้วพร้อมฝาปิดสำหรับการสแกน

3.5.2 ยาขมิ้นชันบรรจุแคปซูล จะทำการสแกนโดยตรง

3.6 สแกนตัวอย่างทั้งหมดแล้วนำผงขมิ้นที่ผ่านการสแกนมาสกัดด้วยสารเคมี และวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC

3.7 คำนวณสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชัน โดยนำข้อมูลการดูดกลืนแสง NIR ของตัวอย่างและค่าปริมาณเคอร์คูมินที่วิเคราะห์ได้จากวิธี HPLC มาคำนวณด้วยวิธี Partial Least Squares (PLS) regression โดยสร้างสมการแยกระหว่างตัวอย่างที่วิเคราะห์จากผงยาขมิ้นชันและจากยาขมิ้นชันบรรจุแคปซูล

3.8 ปรับปรุงประสิทธิภาพของสมการในข้อ 3.7 ให้มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด ด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม

3.9 รายงานผลการทดลอง

หกเดือนหลัง : ทดสอบประสิทธิภาพของสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

3.10 ปรับปรุงประสิทธิภาพของสมการในข้อ 3.7 ให้มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด (ต่อ) ด้วยวิธีการเลือกช่วงคลื่น

3.11 รวบรวมและจัดซื้อยาสมุนไพรชั้นจากท้องตลาดและร้านขายยาชุดใหม่ เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของสมการ (ตัวอย่างชุดทดสอบสมการ)

3.12 สแกนเก็บข้อมูลการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของตัวอย่างชุดทดสอบสมการตามขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการสร้างสมการที่ได้จากการศึกษาในปีแรก ทั้งจากการสแกนตัวอย่างผงยาและยาที่บรรจุในแคปซูล

3.13 นำตัวอย่างที่ผ่านการสแกนไปวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC ตามวิธีข้อ 3.6

3.14 ใช้สมการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดทำนายปริมาณเคอร์คูมินในตัวอย่างชุดทดสอบสมการ

3.15 เปรียบเทียบผลการทำนายด้วยสมการที่สร้างจากวิธีเนียร์อินฟราเรดที่ดีที่สุด กับปริมาณเคอร์คูมินที่วิเคราะห์ได้จากวิธี HPLC

3.16 สรุปประสิทธิภาพของสมการและรายงานผลการทดลองฉบับสมบูรณ์

4. รายชื่อนักวิจัย

4.1 ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย

ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ฯ 10900

โทรศัพท์ 02-9428600-3 ต่อ 502, 507 โทรสาร 02-5620339 e-mail: aapspk@ku.ac.th

4.2 ชื่อผู้ร่วมวิจัย หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

4.2.1 นางสาววารภรณ์ อภิวัฒนาภักดิ์

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเอนไซม์และการจัดการของเสีย

ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ฯ 10900

โทรศัพท์ 02-9428600-3 ต่อ 707 โทรสาร 02-5620338 e-mail: aapwpa@ku.ac.th

4.2.2 ดร.พิลาณี ไวกนอมสัตย์

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเอนไซม์และการจัดการของเสีย

ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ฯ 10900

โทรศัพท์ 02-9428600-3 ต่อ 706 โทรสาร 02-5620339 e-mail: aappln@ku.ac.th

4.3 ชื่อที่ปรึกษาโครงการ หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

นางวารุณี ธนะแพสย์

ผู้อำนวยการ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ๙ 10900
โทรศัพท์ 02-9428600-3 ต่อ 201 โทรสาร 02-5620338 e-mail: aapwnt@ku.ac.th

5. งบประมาณทั้งโครงการ 465,000 บาท

6. ระยะเวลาดำเนินงาน 1.5 ปี

บทนำ

ขมิ้นชัน (turmeric) เป็นพืชสมุนไพรในเขตร้อน อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae ต้นที่โตเต็มที่将有 ความสูงถึงหกเมตรมักปลูกในพื้นที่เขตร้อนทางใต้และตะวันออกเฉียงใต้ของเอเชีย ส่วนใหญ่มักจะพบ การปลูกขมิ้นในอินเดีย จีน อินโดนีเซีย ไทยและประเทศในเขตร้อนอื่นๆ ขมิ้นชันมีสารสำคัญสีเหลือง-ส้ม กลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoid) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญตัวหนึ่งโดยพบอยู่ในเหง้า ผง ขมิ้นชันถูกนำมาใช้ผสมอาหารเป็นเครื่องเทศ สีย้อม เครื่องปรุงและใช้เป็นยาแผนโบราณ ในทาง การแพทย์ขมิ้นมีสรรพคุณทางยาในการรักษาโรคหลายชนิด เช่น โรคเกี่ยวกับระบบการย่อยอาหาร รักษาโรคผิวหนังบางชนิด มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียและรา ฤทธิ์ต้านอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า วิตามินซีและวิตามินอี จากงานวิจัยหลายชิ้นพบว่า สารเคอร์คูมินมีฤทธิ์ช่วยป้องกันโรคมะเร็งปอด มะเร็ง ลำไส้ สารเคอร์คูมินอยด์เป็นสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenolic compound) โครงสร้างทางเคมีของ สารเคอร์คูมินอยด์ประกอบด้วย ferric acid 2 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า diferuloylmethane สารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ เคอร์ คูมิน (curcumin) เป็นเคอร์คูมินอยด์ที่พบมากที่สุดที่ขมิ้นชัน คือ ประมาณ 49-60%w/w สำหรับ demethoxycurcumin และ bisdemethoxycurcumin เป็นเคอร์คูมินอยด์ที่พบในขมิ้นชันในปริมาณที่น้อย

การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพยาสมุนไพรมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยมีกระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญที่ทำหน้าที่ออกฤทธิ์ เนื่องจากปริมาณสารนี้ที่มีอยู่จริงใน ยาจะสะท้อนถึงคุณภาพในการรักษาโรคต่างๆ โดยวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการตรวจสอบเหี่ยวหรือ ปริมาณสารเคอร์คูมินมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ spectrophotometric methods, thin-layer chromatography (TLC), high performance thin-layer chromatography (HPTLC), capillary electrophoresis, supercritical fluid chromatography, ultra performance liquid chromatography (UPLC) และ high performance liquid chromatography (HPLC) อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้เป็นเวลาที่ใช้เวลาค่อนข้าง นานและมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการที่รวดเร็วและเชื่อถือได้สำหรับการ วิเคราะห์ปริมาณของ curcumin แสงอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (near infrared spectroscopy) ที่ รู้จักกันดีในด้านวิธีการที่ไม่ทำลายอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีการเตรียมตัวอย่างน้อยมากหรือไม่มีการ เตรียมตัวอย่างเลย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งในเชิงปริมาณวิเคราะห์และ คุณภาพวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้รายงานความสำเร็จในการประยุกต์ใช้แสงอินฟราเรดในการวิเคราะห์ ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ในเหง้าขมิ้นไว้แล้วในโครงการ MRG5180181 ที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัยร่วมกับสำนักงานการอุดมศึกษา ในงานวิจัยนี้จึงมีความประสงค์จะต่อยอด งานวิจัยเดิม นำองค์ความรู้จากงานวิจัยที่ผ่านมา มาใช้ประโยชน์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินที่เป็นส่วนประกอบในยาสมุนไพร ขมิ้นชัน

1. ขมิ้นชัน

ขมิ้นชันเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ขิงข่ามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* L. ชื่อพ้อง *C. domestica* Valetton วงศ์ Zingiberaceae ชื่อสามัญ ได้แก่ turmeric, curcuma, Indian saffron และ yellow root ส่วนชื่อท้องถิ่น โดยทั่วไปเรียก ขมิ้น แลบภาคเหนือในจังหวัดเชียงใหม่ เรียก ขมิ้นแกง ขมิ้น-หยวก ขมิ้นหัว และแลบภาคใต้ เรียก ขมิ้นหมื่น (นิจศิริ, 2542) ขมิ้นชันเป็นสมุนไพรอย่างหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายในทุกภาคของประเทศ มีถิ่นกำเนิดในประเทศแถบเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ปลูกกันมากในอินเดียจีน อินโดนีเซีย ไทยและประเทศในเขตร้อนอื่นๆ ขมิ้นชันเป็นพืชเก่าแก่ที่รู้จักกันมานาน นิยมนำมาทำอาหาร ประกอบอาหาร และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพต่างๆ มากมายทั้งในรูปยาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเครื่องสำอาง

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ขมิ้นเป็นพืชล้มลุกมีอายุหลายปี สูง 30-90 เซนติเมตร มีเหง้าใต้ดิน (ภาพที่1) ลักษณะเป็นแท่งยาวและมีข้อปล้องชัดเจน มีการแตกแขนงไม่เป็นระเบียบ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่าหัวหลัก (mother rhizome) และแง่ง (rhizome) ภายในประกอบด้วยสารสำคัญ 2 ชนิด คือ สารสีเหลืองกลุ่มเคอร์คูมินอยด์และน้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นหอมเฉพาะตัวและมีรสมันปนเผ็ดเล็กน้อย มีรากจำนวนมาก ลักษณะอวบน้ำจืดกลุ่มสีภายในเหง้าขมิ้นชันแบ่งได้เป็น 3 โทนสี คือ ส้ม เหลือง และเหลืองส้ม พบว่าโทนสีเดียวกันมีเปอร์เซ็นต์เคอร์คูมินอยด์ใกล้เคียงกัน



(1)



(2)



(3)

ภาพที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขมิ้นชัน ช่อดอก (1) และเหง้าใต้ดินของต้นขมิ้นชัน (2), (3)

1.2 ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์

เหง้าแห้ง และเหง้าสด รวมทั้งใบเป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ (วันดี, 2537) โดยมีอายุที่เก็บเกี่ยวได้ คือ 9-10 เดือน (วันดี, 2538) องค์ประกอบที่พบส่วนใหญ่เป็นแป้งและเยื่อใยแต่ปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเพาะปลูกและอายุการเก็บเกี่ยวโดยแป้งจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 40-50 ของน้ำหนัก

แห้ง และองค์ประกอบที่สำคัญ คือรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ได้แก่สารประกอบเคอร์คูมินอยด์และน้ำมันหอมระเหย (กานดา, 2540; Govindarajan, 1980)

1.3 พันธุ์และการคัดเลือกพันธุ์

ขมิ้นชันที่ดีในตลาดโลกมีมากกว่า 50 สายพันธุ์ส่วนมากมาจากอินเดียซึ่งจำแนกสายพันธุ์โดยใช้คุณสมบัติต่างๆทางด้านรูปร่าง ลักษณะ สี กลิ่น และอายุที่สมบูรณ์พร้อมเก็บเกี่ยว (maturity of rhizome) มีทั้งสายพันธุ์อายุพร้อมเก็บเกี่ยวสั้น 7 เดือน สายพันธุ์อายุพร้อมเก็บเกี่ยว 9 เดือน และสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีมีปริมาณสารสำคัญสูง (Atal and Kapur, 1989) ซึ่งประเทศอินเดียเป็นผู้ผลิตและใช้ขมิ้นชันมากที่สุดถึง 80% ของโลกและเป็นประเทศที่ส่งออกมากที่สุดโดยมีพันธุ์มากกว่า 50 พันธุ์ พันธุ์การคัดเลือกส่งออกมีลักษณะเนื้อในแข็งสีส้มเข้มให้สารเคอร์คูมินสูง เช่น พันธุ์Roma (PCT-10) และ Suroma (PTS-24) มีปริมาณเคอร์คูมินสูง 9.3 เปอร์เซ็นต์พันธุ์ดีของประเทศอินเดียที่ได้รับการยอมรับคือกลุ่มพันธุ์ Alleppey (Niir board, n.d.) นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ Erode Rajapore และพันธุ์ Sangli (India AGRO Industry, 2005)

สำหรับประเทศไทยนั้น งานรวบรวมพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ปลูกยังมีผู้ดำเนินการน้อยส่วนใหญ่โดยยังคงใช้พันธุ์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นหรือแหล่งขายวัตถุดิบ ในปี พ.ศ. 2543 มีรายงานผลการรวบรวมพันธุ์ไว้ที่ศูนย์วิจัยพืชสวนตรังของกรมวิชาการเกษตรจำนวน 10 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ชุมพร 10018801 ให้ผลผลิต 4.5 ตันต่อไร่ใกล้เคียงกับสายพันธุ์อื่นๆ ที่ปลูกไว้ทั้ง 9 สายพันธุ์ (กรมวิชาการเกษตร, 2544) อย่างไรก็ตามผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในขมิ้นชันที่เก็บจากแหล่งปลูกต่างๆ ในประเทศไทยจำนวน 44 ตัวอย่างที่ไม่ได้ระบุสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวพบว่าการแปรผันสูงมากระหว่างภูมิภาคของประเทศโดยพบปริมาณเคอร์คูมินอยด์มีค่าแปรผันระหว่าง 3.81-15.32% และปริมาณน้ำมันหอมระเหยระหว่าง 4.70-16.14% ตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งปลูกภายในจังหวัดเดียวกันก็มีความแปรผันสูงอีกด้วย (Chavalittumrong and Dechatiwongse, 1988; สมภพและคณะ, 2543)

อย่างไรก็ตามได้มีการรวบรวมตัวอย่างขมิ้นชันทั่วประเทศไทย 129 ตัวอย่าง เพื่อจำแนกสายพันธุ์โดยใช้ Microsatellite markers ในปี พ.ศ. 2549 โดยสามารถจำแนกสายพันธุ์ได้ทั้งหมด 34 สายพันธุ์ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะสัณฐานวิทยาที่แบ่งขมิ้นชันของไทยได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A มีช่อดอกที่มีใบประดับสีขาว ปลายใบประดับสีม่วงเข้มหรือสีชมพู เส้นกลางใบสีเขียว เนื้อในแข็งสีส้มหรือเหลือง กลิ่นฉุนน้อย แง่มีขนาดปานกลางหรือใหญ่ มีสารเคอร์คูมินอยด์ต่ำ กลุ่ม B มีช่อดอกที่มีใบประดับสีขาว ปลายใบประดับสีเขียวอ่อน เส้นกลางใบสีเขียว เนื้อในแข็งสีส้มเข้มหรือส้มอมแดง กลิ่นฉุนปานกลางหรือมาก แง่เรียวยาว มีสารเคอร์คูมินอยด์สูง และกลุ่ม C มีเส้นกลางใบสีน้ำตาลอ่อน เนื้อในแข็งสีเหลือง กลิ่นฉุนน้อย สารเคอร์คูมินอยด์ต่ำ (นันทวรรณ, 2549)

ในปี 2552 ศูนย์วิจัยพืชสวนตรัง กรมวิชาการเกษตร มีการปรับปรุงพันธุ์ขมิ้นชันพันธุ์ใหม่ได้เสร็จสมบูรณ์ ซึ่งคณะกรรมการวิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชกรมวิชาการเกษตรได้พิจารณาเห็นชอบให้เป็นพันธุ์แนะนำชื่อ “ขมิ้นชันพันธุ์ตรัง2” โดยขมิ้นชันพันธุ์นี้มีความสูงของต้นประมาณ 0.8-1.1 เมตร หลังปลูก 9 เดือน ก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตจำหน่ายได้ ให้ผลผลิตหัวสดในภาคใต้ประมาณ 2.59 ตัน/ไร่นอกจากนี้

ยังมีความโดดเด่นที่มีสารสำคัญเคอร์คูมินอยด์เฉลี่ย 11.04 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานยาสมุนไพรไทย 120.80 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำมันหอมระเหยเฉลี่ย 7.78 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ามาตรฐานยาสมุนไพรไทย 29.67 เปอร์เซ็นต์ เนื้อในหัวมีสีส้มแกมแดง หรือ Orange group 28 B โดยใช้แผ่นเทียบสีของ The Royal Horticulture Society (RHS) (หนังสือพิมพ์คมชัดลึก, 2552) ซึ่งการคัดเลือกจากพันธุ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานการผลิตยาสมุนไพรไทยกำหนดให้ผงวัตถุดิบขมิ้นชันที่ใช้ผลิตยาต้องมีปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ไม่ต่ำกว่า 5% และปริมาณน้ำมันหอมระเหยไม่ต่ำกว่า 6% (Thai Herbal Pharmacopoeia, 1995)

1.4 องค์ประกอบทางเคมี

เหง้าของขมิ้นจะมีน้ำมันหอมระเหยและสารสีเหลือง ซึ่งน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) มีสีส้ม-เหลืองให้กลิ่นหอมที่เกิดจากส่วนผสมของ turmerone และ *ar*-turmerone (Bainiam, 1985) และสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids) มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองสะสมอยู่ในเซลล์พาราเรโนไมมาของชั้นคอร์เท็กซ์ในเหง้าประกอบด้วยสาร curcumin demethoxycurcumin และ bisdemethoxycurcumin (Tang and Eisenbrand, 1992) องค์ประกอบทางเคมีในเหง้าของขมิ้นชันแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

กลุ่มสารประกอบเทอร์ปีนอยด์ (terpenoid compounds) หรือเทอร์ปีน (terpenes)

สารประกอบเทอร์ปีนอยด์ (terpenoid compounds) หรือเทอร์ปีน (terpenes) เป็นกลุ่มสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) ซึ่งมีทั้งที่เป็นชนิดโมโนเทอร์ปีน (monoterpene) ไดเทอร์ปีน (diterpene) (ขวัญใจ, 2535; นาฏศิลป์และคณะ, 2542) และสารกลุ่มเซสควิเทอร์ปีนคีโตน (sesquiterpene ketone) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยหลักที่พบในขมิ้นชัน (Rao and Reddy, 1977) สารกลุ่ม sesquiterpene ketone ได้แก่ turmorone และ arturmorone (Rupe *et al.*, 1934; Shivashankar *et al.*, 1976)

น้ำมันหอมระเหย (volatile oil หรือ essential oils) เป็นสารกลุ่มหนึ่งที่มีอยู่ในพืชพบน้ำมันหอมระเหยได้ในเซลล์พิเศษต่อมหรือท่อ (ธวัชชัย, 2531) ตามส่วนต่างๆ ของพืชเช่นดอกใบผลเปลือกผิวของผลและเหง้า (อุดมลักษณ์, 2534) น้ำมันหอมระเหยสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิปกติ มีกลิ่นเฉพาะตัวไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เบากว่าน้ำหรือหนักกว่าน้ำก็ได้มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 150-300 องศาเซลเซียสเมื่อกลั่นได้ใหม่จะมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จะออกซิไดซ์ (oxidize) มีสีคล้ำลง

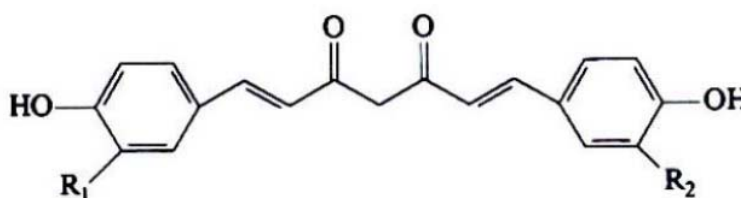
สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids)

สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids) หรือเรียกว่า diarylhaptanoid coloring material เป็นสารจำพวก diferuloylmethane ซึ่งมีลักษณะเป็นสารสีเหลือง (crystalline yellow substance) สะสมอยู่ในเซลล์พาราเรโนไมมาของชั้นคอร์เท็กซ์ในเหง้าเป็นสารที่มีกลิ่นและคุณสมบัติเฉพาะซึ่งเมื่อเติมต่างจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดง (reddish-brown) ประกอบด้วยสารฟีนอลิก 3 ชนิดได้แก่ เคอร์คูมินดีเมทอกซี เคอร์คูมินและบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน

1. เคอร์คูมิน (curcumin, diferuloyl methane) มีชื่อเรียกตามโครงสร้างทางเคมีว่า 1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl) 1, 6-heptadiene 3,5 dione มีสูตรโครงสร้างเป็น CHO และมีน้ำหนักโมเลกุล 368.4 ลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กสีส้มปนน้ำตาล (orange-brown) ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์จุดหลอมเหลวประมาณ 183 องศาเซลเซียสเคอร์คูมินเป็นองค์ประกอบหลักในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์

2. ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (desmethoxycurcumin, monodesmethoxycurcumin) จุดหลอมเหลว 172.5-174.5 องศาเซลเซียสลักษณะเป็นผลึกสีคล้ายเคอร์คูมินและการละลายเช่นเดียวกับเคอร์คูมิน

3. บิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (bisdsmethoxycurcumin, didsmethoxycurcumin) หรือ bis-(4-hydroxycinnmoyl) methane น้ำหนักโมเลกุล 308.1 จุดหลอมเหลว 224 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มและแอลกอฮอล์ (Tang and Eisenbrand, 1992)



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids)

Curcumin : $R_1 = R_2 = \text{OCH}_3$

desmethoxycurcumin: $R_1 = \text{H}, R_2 = \text{OCH}_3$

bisdsmethoxycurcumin : $R_1 = R_2 = \text{H}$

ที่มา :Thai Herbal Pharmacopeia (1995)

Srinivasan (1953) และ Rouseff (1988) สกัดขมิ้นชันโดยใช้เทคนิค HPLC ปริมาณสารให้สีของขมิ้นชันจะมีอยู่ร้อยละ 0.02 – 8.1 และรงควัตถุที่ให้สีทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณแตกต่างกันคือเคอร์คูมินมีปริมาณร้อยละ 49-61 ดีเมทอกซีเคอร์คูมินมีปริมาณร้อยละ 20-29 และบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมินมีปริมาณร้อยละ 15-26 (Purseglove *et al.*, 1981)

สารอื่นๆ

สารอื่นๆที่พบในเหง้าขมิ้นชัน เช่นโปรตีนไขมันแร่ธาตุและสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตซึ่งประกอบด้วย starch grains ขนาดประมาณ 30-60 ไมโครเมตรมีลักษณะยาวพบน้ำตาลที่เป็นชนิด arabinose และ fructose

1.5 ข้อกำหนดมาตรฐานของการผลิตขมิ้นชัน

การผลิตขมิ้นชันให้ได้มาตรฐานตามที่สถาบันวิจัยสมุนไพรกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนดนั้นมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดมาตรฐานของการผลิตขมิ้นชัน

รายการ	ไม่เกิน (%w/w)	ไม่น้อยกว่า (%w/w)
ปริมาณสิ่งแปลกปลอม	2	
ปริมาณความชื้น	10	
ปริมาณเถ้ารวม	8	
ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด	1	
ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล		10
ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ		9
ปริมาณน้ำมันหอมระเหย		6
ปริมาณเคอร์คูมินอยด์คำนวณเป็นเคอร์คูมิน		5

ที่มา : สถาบันวิจัยสมุนไพร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (2544)

1.6 สถานการณ์การผลิตขมิ้นชัน

ขมิ้นชันนอกจากจะใช้ได้ทั้งเป็นเครื่องเทศในการปรุงอาหารเพื่อแต่งสีและกลิ่นอาหารเช่นแกงเหลืองแกงไตปลาและใช้เป็นเครื่องสำอาง (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) และที่สำคัญคือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยาที่ให้สรรพคุณหลายประการ เช่น มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดแผลในกระเพาะอาหารและรักษาอาการอาหารไม่ย่อยฤทธิ์ฆ่าเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียฤทธิ์ต้านการอักเสบ เป็นต้น จึงทำให้เกิดความสนใจที่จะมีการขยายพื้นที่การปลูกเพื่อการค้าแพร่หลายมากขึ้น ปัจจุบันประเทศไทยปลูกขมิ้นชันส่งขายเป็นสินค้าส่งออกโดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น ส่งซื้อขมิ้นชันจากประเทศไทยจำนวนมากเนื่องจากผลงานวิจัยของประเทศญี่ปุ่นได้ผลสรุปว่า ขมิ้นชันสามารถป้องกันอันตรายของสารเคมีต่อตับได้ส่งผลให้การส่งออกของขมิ้นสูงขึ้น สำหรับการส่งออกขมิ้นชันและการใช้ขมิ้นชันในประเทศผ่านทางร้านขายยาในประเทศในปี 2555 มีมูลค่า 7.37 ล้านบาทและ 17.818 ล้านบาท ตามลำดับ (ปรารธนา, 2556) ขมิ้นชันจึงถือเป็นสมุนไพรนำร่องชนิดหนึ่งเนื่องจากได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมีการปลูกทุกภาคของประเทศไทยและขมิ้นชันที่ปลูกในภาคใต้โดยเฉพาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นขมิ้นชันที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดของประเทศเนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหยและสารเคอร์คูมินสูงมาก (อาทร, 2545) และปัจจุบันขมิ้นชันแคปซูลได้ขึ้นทะเบียนบัญชียาหลักแห่งชาติและเป็นยาสาธารณสุขมูลฐานอีกด้วย (สุภาภรณ์, 2544)

สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกได้ดีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศส่วนใหญ่ปลูกเป็นพืชรองหรือพืชเสริมรายได้ แต่ในขณะนี้มีการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากขมิ้นมากขึ้น จึงทำให้เกษตรกรปลูกในลักษณะพืชเดี่ยวมากขึ้นและมีรายได้สูงด้วย สำหรับผลผลิตเฉลี่ยในประเทศไทยประมาณ 2 ตัน/ไร่ ขมิ้นที่จำหน่ายในประเทศไทยเป็นขมิ้นสด ส่วนใหญ่จะเป็นแง่นิ้วมือ ราคาอยู่ในระหว่าง 15-20 บาท/กก. โดยในปี 2555 พบว่ามีพื้นที่ปลูกประมาณ 5,489 ไร่กระจายอยู่ทั่วประเทศ ได้ผลผลิต 9,874.19 ตัน ขณะที่ราคาก็อยู่ในเกณฑ์สูง โดยหัวสดซื้อขายที่ราคากิโลกรัมละ 13 - 15 บาท/กิโลกรัม หัวแห้งเป็นแวน

แห้ง 140 บาท/กิโลกรัม ผงขมิ้นชันแห้ง 150 บาท/กิโลกรัม และน้ำมันขมิ้นชัน 12,000 บาท/ลิตร (ปรารภนา, 2556)

1.7 ยาสมุนไพรขมิ้นชัน

ประโยชน์ของขมิ้นชันมีมากมาย เพราะอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินซี วิตามินอี ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก และเกลือแร่ต่างๆ รวมไปถึงเส้นใย คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน เป็นต้น และขมิ้นชันมีสรรพคุณทางยาที่รักษาอาการและโรคต่างๆ ได้หลายชนิดซึ่งมีประวัติในการนำมาใช้ในการรักษามากกว่า 5,000 ปี สำหรับขมิ้นชันที่จะนำมาใช้ประโยชน์นั้น การเก็บเกี่ยวไม่ควรเก็บในระยะที่ขมิ้นเริ่มแตกหน่อ เพราะจะทำให้สารที่มีประโยชน์อย่างเคอร์คูมินในขมิ้นมีน้อย ส่วนเหง้าที่เก็บมาต้องมีอายุอย่างน้อย 9-12 เดือน และต้องไม่เก็บไว้นานเกินไป และไม่ให้ถูกแสงแดด เพราะน้ำมันหอมระเหยในขมิ้นจะหมดไปเสียก่อน โดยมีสรรพคุณมากมาย (พัฒน์นรี, ม.ป.ป.) ได้แก่

- มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระซึ่งช่วยในการชะลอวัย และชะลอการเกิดริ้วรอย
- ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย
- ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้ผิวหนังมีสุขภาพดีแข็งแรง
- ขมิ้นชันอาจมีบทบาทช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง เช่น โรคมะเร็งลำไส้ มะเร็งปากมดลูก
- สามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายได้
- ช่วยกำจัดสารพิษออกจากร่างกาย
- ช่วยบรรเทาอาการของโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง
- ช่วยลดอาการของโรคเกาต์
- ช่วยขับน้ำนมของมารดาหลังคลอดบุตร
- ช่วยรักษาระบบทางเดินหายใจที่มีอาการผิดปกติ
- ช่วยบำรุงสมองป้องกันโรคความจำเสื่อม
- ช่วยลดการอักเสบ
- ช่วยแก้อาการวิงเวียนศีรษะ
- ช่วยรักษาอาการแพ้ และไข้หวัด
- ช่วยบรรเทาอาการไอ
- ช่วยรักษาอาการภูมิแพ้หายใจไม่สะดวก ให้มีอาการดีขึ้น
- ช่วยป้องกันการแข็งตัวของหลอดเลือด
- ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระในเม็ดเลือดแดงของผู้ป่วยธาลัสซีเมียฮีโมโกลิน
- ช่วยบำรุงปอดให้มีสุขภาพดีและแข็งแรง
- ช่วยรักษาอาการท้องเสีย อุจจาระร่วง โดยนำผงขมิ้นชันผสมน้ำผึ้งปั้นเป็นลูกกลอนแล้วนำมารับประทานครั้งละ 3 เม็ด 3 เวลา
- ช่วยแก้อาการจุดเสียดแน่นท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ

- ช่วยรักษาโรคลำไส้อักเสบ ลดการบีบตัวของลำไส้
- ช่วยรักษาโรคกระเพาะอาหาร ช่วยในการขับลม
- ช่วยบรรเทาอาการหัวใจในถุงน้ำดี มีฤทธิ์ในการช่วยขับน้ำดี
- ช่วยสมานแผลในกระเพาะอาหาร และทำความสะอาดลำไส้
- ช่วยบำรุงตับ ป้องกันตับอักเสบ ตับอ่อนอักเสบ และป้องกันตับจากการถูกทำลายของยาพาราเซตามอล
- ช่วยบำรุงหลอดกระเพาะปัสสาวะให้แข็งแรง
- ช่วยป้องกันการเกิดโรคริดสีดวงทวาร
- ช่วยแก้อาการตกเลือด ด้วยการนำขมิ้นสดมาตำให้ละเอียดแล้วคั้นเอาน้ำมาผสมกับน้ำปูนใสแล้วรับประทาน
- ช่วยแก้อาการตกขาว
- ช่วยรักษาอาการปวดหรืออักเสบเนื่องจากไขข้ออักเสบ
- ช่วยแก้อาการน้ำเหลืองเสีย ช่วยแก้ผื่นคันตามร่างกาย
- ช่วยรักษากลาก เกื้อื้อ ช่วยรักษาโรคผิวหนัง ผดผื่นคัน
- ขมิ้นยังมีสรรพคุณช่วยในการป้องกันการออกของขนอีกด้วย โดยผู้หญิงชาวอินเดียมักนำขมิ้นมาทาผิวเพื่อป้องกันไม่ให้ขนงอก
- ฤทธิ์ในการต่อต้าน และฆ่าเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคผิวหนัง และต่อต้านยีสต์ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ภูมิคุ้มกันต่ำ

นายแพทย์วิฑิต อรรถเวชกุล ผู้อำนวยการองค์การเภสัชกรรม (อภ.) เปิดเผยว่าองค์การเภสัชกรรมได้มีนโยบายที่จะสนับสนุนการวิจัยและการผลิตยา จากสมุนไพรอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลากว่า 20 ปี โดยมีแคปซูลขมิ้นชันเป็นยาสมุนไพรตัวแรกๆ ที่มีการผลิตและเป็นที่นิยมใช้รักษาอาการแน่นจุกเสียด จนเมื่อปี 2542 แคปซูลขมิ้นชันได้รับการบรรจุในบัญชียาหลักแห่งชาติ ต่อมาองค์การเภสัชกรรมได้เริ่มการวิจัยสารสกัดขมิ้นชันเข้มข้นขึ้น และร่วมกับโรงเรียนแพทย์ในหลายมหาวิทยาลัยและหน่วยงานวิจัยทำการวิจัยฤทธิ์ของสารสกัดทั้งในหลอดทดลอง สัตว์ทดลอง และในผู้ป่วยโรคต่างๆ โดยผลิตเป็นยาแคปซูลสารสกัดขมิ้นชันในชื่อ แอนติออกซ์ (antiox) องค์การเภสัชกรรมจัดประชุมวิชาการในโอกาสครบรอบ 44 ปี เรื่อง มิติใหม่ทางยาของแคปซูลสารสกัดขมิ้นชัน เผยงานวิจัยด้านบวกในการรักษาผู้ป่วยโรคหัวใจ เบาหวาน ข้ออักเสบ ธาลัสซีเมีย เตรียมขุเป็นโปรดักส์แชมเปียนของสมุนไพรไทย (องค์การเภสัชกรรม, 2553)

- การทำขมิ้นชันผง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548)

นำขมิ้นชันสดมาแปรรูปเป็นขมิ้นชันแห้งด้วยวิธีการที่กล่าวมาแล้วหลัง จากนั้นนำขมิ้นแห้งที่ได้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดหรือด้วยการตำ แล้วร่อนเอาเฉพาะผงขมิ้นนำมาบรรจุถุงเพื่อจำหน่าย ขมิ้นชันผงจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องสำอาง ลูกประคบผลิตภัณฑ์ aroma therapy หรือใช้ในทางการแพทย์โดยนิยมบรรจุในแคปซูลเพื่อกินรักษาโรคต่างๆ เช่น ยาลดกรด ใช้รักษาแผล ใช้ลดอาการอักเสบ ฯลฯ

- การผลิตยาแคปซูล (คณะกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ, 2555)

ยาแคปซูล คือยาที่มีตัวยาบรรจุในแคปซูลที่ทำด้วยเจลาตินซึ่งมีทั้งชนิดแข็งและนิ่ม สำหรับยาสมุนไพรทั่วไปรวมทั้งที่อยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติ เป็นยาบรรจุแคปซูลชนิดแข็ง ส่วนยาแคปซูลนิ่มนิยมใช้บรรจุยาที่เป็นของเหลวเช่นวิตามินอีหรือน้ำมันต่างๆ เป็นต้น

ส่วนประกอบของแคปซูลแข็ง

เปลือกแคปซูลแข็งประกอบด้วยเจลาตินเป็นส่วนใหญ่เจลาตินทำจากกระดูกและหนังของสัตว์ นอกจากเจลาตินที่เป็นส่วนประกอบหลักแล้ว ในการผลิตแคปซูลแข็งอาจมีการเติมสารช่วยอื่นๆ ลงไปในเปลือกแคปซูล เช่นสีสารทึบแสงเช่น titanium dioxide สารช่วยให้เจลาตินกระจายตัว สารเพิ่มความแข็งและสารกันเสีย เช่น sodium bisulfite, methyl/propyl paraben, potassium sorbate และ sodium propionate บางครั้งอาจใส่พวกสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารให้ความยืดหยุ่น (plasticizer) ด้วย ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้แม้จะมีปริมาณน้อยแต่อาจมีผู้ป่วยแพ้ได้

การเลือกขนาดของเปลือกแคปซูล

เปลือกแคปซูลมีหลายขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับปริมาณสารที่นำมาบรรจุโดยที่ความจุของเปลือกแคปซูลจะดูจากเบอร์กำกับแคปซูล

เบอร์ ปริมาตร (mL)

0	0.75
1	0.55
2	0.40
3	0.30
4	0.25
5	0.15

เปลือกแคปซูลที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีตั้งแต่เบอร์ 000 ถึงเบอร์ 5 โดยเบอร์ 000 เป็นเบอร์ที่ใหญ่ที่สุด ส่วนเบอร์ 5 เป็นเบอร์ที่เล็กที่สุด ขนาดของแคปซูลที่ใช้กับคนคือเบอร์ 0 ถึงเบอร์ 5 ส่วนแคปซูลเปล่าที่มีขนาดใหญ่ เช่นเบอร์ 000 จะใช้กับสัตว์ ในกรณีที่ไม่สามารถบรรจุผงยาสมุนไพรลงแคปซูลขนาดเล็กที่ต้องการ ในทางปฏิบัติควรเลือกแคปซูลที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถบรรจุตัวยาได้เพื่อให้ง่ายต่อการกลืน

การเก็บรักษาเปลือกแคปซูล

เปลือกแคปซูลชนิดแข็งมีปริมาณความชื้นสะสมประมาณ 13-16 % ความชื้นส่วนนี้จะช่วยให้เปลือกแคปซูลมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง แต่ถ้าปริมาณความชื้นลดลงเปลือกแคปซูลแข็งจะแห้งและเปราะ ถ้าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเปลือกแคปซูลจะเยิ้มเหลว ดังนั้นการเก็บรักษาเปลือกแคปซูลจึงมีความสำคัญมาก สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเปลือกแคปซูล คืออุณหภูมิในช่วง 10-35 °C และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60 % (ควรอยู่ระหว่าง 40-60 %) โดยเก็บให้พ้นแสงและพื้นที่เก็บต้องสะอาด

ตำรับยาที่บรรจุลงในแคปซูล (คณะกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ, 2555)

ยาสมุนไพรที่จะบรรจุแคปซูลมีได้หลายรูปแบบเช่นยาผงแกรนูลและยาเม็ดเล็ก (pellets) แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ยาผงสมุนไพร ซึ่งการบรรจุลงในแคปซูลต้องพิจารณาจากขนาดยา (dose) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวยาสมาคัญสมุนไพร ขนาดของเปลือกแคปซูล และชนิดของเครื่องบรรจุแคปซูลที่จะใช้การผลิตยาแคปซูลสมุนไพร อาจไม่ได้มีเฉพาะตัวยาสมาคัญสมุนไพรอย่างเดียว แต่อาจมีสารช่วย เช่น สารเพิ่มปริมาณสารช่วยลื่นสาร ช่วยไหลและสารลดแรงตึงผิว เป็นต้น จึงมีข้อควรระวังคือตัวยาสมาคัญสมุนไพรและสารช่วยต้องไม่ทำปฏิกิริยากับเปลือกแคปซูล

คุณสมบัติของยาจากสมุนไพรในรูปแบบแคปซูลที่ดี (คณะกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ, 2555)

- ไม่มีกลิ่นรบกวนของสมุนไพรปนเปื้อนอยู่บริเวณพื้นผิวด้านนอกของแคปซูล
- มีความสม่ำเสมอของน้ำหนักและปริมาณตัวยาสมาคัญสมุนไพรในแต่ละแคปซูล
- มีการกระจายตัวของผงยาสมุนไพรสม่ำเสมอ
- รูปร่างของแคปซูลคงที่ไม่บวมหรือแตก
- มีประสิทธิภาพตามข้อบ่งใช้
- ความคงตัวทั้งทางด้านเคมีชีวภาพและกายภาพเป็นไปตามอายุที่ระบุไว้และผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนด

วิธีผลิตยาแคปซูล (คณะกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ, 2555)

1. เตรียมอุปกรณ์การผลิตให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานมีการทำความสะอาดที่เหมาะสมตามวิธีมาตรฐานที่กำหนด
2. เตรียมผงยาสมุนไพรและองค์ประกอบอื่นอย่างเหมาะสมเช่นการย่อยขนาดการผสมของผงสมุนไพรหรือสารช่วยในแต่ละสูตรตำรับให้กระจายตัวสม่ำเสมอ
3. วัดปริมาณความชื้นของผงยาสมุนไพรผสมหากความชื้นเกินกว่า 5 % ทำการอบผงยาสมุนไพรผสมอีกครั้งโดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 40-60 °C นาน 4-6 ชั่วโมง
4. บรรจุผงยาสมุนไพรลงในแคปซูลด้วยเครื่องบรรจุแคปซูล
5. ควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิต
6. นำไปทำความสะอาดและขัดมันเพื่อกำจัดผงยาสมุนไพรที่เกาะติดอยู่ที่เปลือกด้านนอกของยาแคปซูลถ้าผลิตยาแคปซูลสมุนไพรจำนวนน้อยอาจใช้ผ้าสะอาดเช็ดเบาๆที่เปลือกด้านนอกของยาแคปซูลสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมทำได้หลายวิธี เช่นการนำยาแคปซูลสมุนไพรไปผ่านสายพานที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาสายพานนี้ทำจากขนแกะหรือวัสดุอื่นที่เหมาะสมหรือนำยาแคปซูลสมุนไพรไปผ่านอุปกรณ์ทำความสะอาดที่มีลักษณะเป็นแปรงหรือการใช้สุญญากาศ เป็นต้น

2. การตลาดของยาสมุนไพร

การผลิตยาที่มีการใช้พืชสมุนไพรเป็นส่วนผสม นิยมเรียก "ยาจากสมุนไพร" ซึ่งหมายถึง ยาที่ผลิตจากพืชสมุนไพรตามกระบวนการผลิตยาแผนโบราณ หรือตามกระบวนการผลิตยาแผนปัจจุบัน หรือ

มีการประยุกต์กระบวนการผลิตยาแผนปัจจุบัน มาใช้ประกอบในการผลิตด้วยอย่างไรก็ตาม การผลิตยาจากสมุนไพรส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นการผลิตยาแผนโบราณ กรรมวิธีผลิตทำตามวิธีการที่สืบทอดกันมา ยาจากสมุนไพรที่มีจำหน่ายแพร่หลายจะอยู่ในรูป ยาเม็ด ยาเม็ดเคลือบ ยาแคปซูล และยาผง ได้แก่ ยาแก้ไอมะแว้ง ขมิ้นชันแคปซูล ฟาทะลายโจรแคปซูล ยาระบายมะขามแขก ยาลม และยาหอม เป็นต้น ทางกรมได้มีนโยบายสนับสนุนให้มีการใช้สมุนไพรในงานสาธารณสุขมูลฐานเป็นครั้งแรกในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 4 (พ.ศ.2520-2524) นับตั้งแต่นั้นยาจากสมุนไพรได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในการใช้เป็นยารักษาโรคแทนยาแผนปัจจุบันมากขึ้นในหน่วยงานของภาครัฐ โดยเฉพาะโรงพยาบาล ชุมชน พิจารณาจากข้อมูลมูลค่าการผลิตและการนำเข้ายาแผนโบราณ จากการรวบรวมของกองควบคุมยา สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา พบว่าในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2530-2534) มีการขยายตัว ร้อยละ 5 ต่อปี และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7 ต่อปีในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) โดยมูลค่าการผลิตและการนำเข้าในปี 2539 อยู่ที่ 459.4 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 อย่างไรก็ดี วิกฤตเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นกับไทยในช่วงปี 2540-2541 ส่งผลกระทบต่อการผลิตและการนำเข้ายาจากสมุนไพรค่อนข้างมาก เนื่องจากผู้ประกอบการประสบปัญหาขาดสภาพคล่องทางการเงินและความต้องการของตลาดชะลอตัว โดยมูลค่าการผลิตและการนำเข้ายาแผนโบราณในปี 2540 อยู่ที่ 466.2 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 และลดลงร้อยละ 0.5 อยู่ที่ 465 ล้านบาทในปี 2541 (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ม.ป.ป.)

จากข้อมูลสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กลุ่มสมุนไพร) ปี พ.ศ.2554 มูลค่าการตลาดยาจากสมุนไพรในประเทศไทย ประมาณ 8,000 ล้านบาท ไม่รวมมูลค่ายาจากสมุนไพรในสถานบริการสาธารณสุขของรัฐ (ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยามีมูลค่า 3,000 ล้านบาท) ส่วนการนำเข้าและส่งออกยาสมุนไพรมีมูลค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ประมาณ 200-300 ล้านบาท (สมชัย, ม.ป.ป.)

ในปัจจุบันสมุนไพรไทยเป็นสินค้าที่มีโอกาสสูงในตลาดโลก ข้อมูลจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศระบุว่า กลุ่มยาแผนโบราณตามภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทยมีมูลค่าประมาณ 10,000 ล้านบาท ทั้งยังมีสมุนไพรกลุ่มสารสกัด กลุ่มที่ใช้ในอาหารสัตว์และกลุ่มที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชด้วย เช่นเดียวกับโอกาสในตลาดอาเซียน ไทยมียอดส่งออกผลิตภัณฑ์สมุนไพรกว่า 1 แสนล้านบาทให้กับญี่ปุ่นและมาเลเซียซึ่งเป็นลูกค้าหลัก แต่ในเชิงอุตสาหกรรมแล้ว ยังเป็นรองประเทศสิงคโปร์และมาเลเซีย (กานต์ดา, 2556)

3. การตรวจสอบคุณภาพยาสมุนไพร (นันทนา, 2547)

โดยธรรมชาติของยาสมุนไพรนั้นจะประกอบด้วยสารสำคัญหลายชนิด ในปริมาณต่างกันและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารดังกล่าว อาจจะต่างกันไปโดยการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์กันในบางโอกาส จึงเป็นการยากที่จะสรุปว่าสารใดในตัวยาเหล่านั้นที่เป็นส่วนประกอบหลัก (major constituents) ในกรณีที่มีวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับสารสำคัญที่เป็นส่วนประกอบหลัก จะกำหนดเป็นลิมิตขั้นต่ำไว้ใน

หัวข้อ definition และในกรณีของผลิตภัณฑ์สมุนไพรจะกำหนดเป็นลิมิตขั้นต่ำและขั้นสูงของปริมาณสารสำคัญที่แจ้งไว้บนฉลาก (labeled content)

ปริมาณสารสำคัญ

การหาปริมาณของสารสำคัญในสมุนไพรที่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นส่วนประกอบหลักได้นั้นจะกำหนดไว้เป็นหัวข้อแยกต่างหากและเรียกชื่อหัวข้อตามธรรมชาติของสารเคมีที่วิเคราะห์ โดยกำหนดเป็นลิมิตขั้นต่ำ (lower limit) ในหัวข้อดังกล่าว เช่น การหาปริมาณอัลคาลอยด์ piperine ในตีปัส

ปริมาณน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนประกอบสำคัญที่พบได้ในพืชหลายชนิด เช่น กะเพราแดง กระจับปี่ ไพล น้ำมันหอมระเหยจะหลั่งออกมาจากเซลล์น้ำมัน ท่อส่งน้ำมัน หรือจาก glandular hairs มีคุณสมบัติระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะของน้ำมันหอมระเหย จะมีกลิ่นเฉพาะตัวส่วนประกอบในน้ำมันหอมระเหย จะเป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิด ได้แก่ terpenes, sesquiterpenes และพวก ketones หรือ alcohols ในทางยาใช้ประโยชน์เป็นสารแต่งกลิ่น รส และช่วยขับลม (carminative)

การกำหนดปริมาณน้ำมันหอมระเหยเป็นการควบคุมสมุนไพรอีกวิธีหนึ่ง วิธีหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยทำได้โดยการกลั่นตัวยากับน้ำ จากนั้นเก็บของเหลวที่กลั่นได้ในหลอดแก้ววัดปริมาตร (graduated tube) ซึ่งในหลอดแก้วดังกล่าว ส่วนที่เป็นน้ำจะแยกตัวโดยอัตโนมัติ และไหลกลับไปยังภาชนะที่ใช้กลั่น (distilling flask) โดยน้ำมันจะลอยอยู่บนน้ำ ทำให้อ่านปริมาณของน้ำมันได้ สำหรับน้ำมันที่แยกจากน้ำหรือแยกได้ยาก เนื่องจากเกิดอิมัลชัน (emulsion) หรือน้ำมันดังกล่าวหนักกว่าน้ำหรือละลายในน้ำได้ ในกรณีดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ตัวละลายที่มีความหนาแน่นต่ำและมีจุดเดือดพอเหมาะ เช่น xylene หรือ decaline เติมลงในหลอดแก้ววัดปริมาตรเพื่อละลายน้ำมันหอมระเหยและทำให้ลอยตัวเหนือชั้นน้ำ ส่วนเครื่องกลั่นสำเร็จ (distillation apparatus) มีทั้งที่ condenser เป็นแบบ one-way และแบบไหลกลับ (reflux) ในบางเครื่อง condenser จะลาดเอียง และมี receiver ในแนวตั้งเพื่อให้ของเหลวที่กลั่นได้แยกชั้นน้ำมันได้ง่ายขึ้น และโดยทั่วไปแล้วเครื่องกลั่นจะแยกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องกลั่นแบบสำเร็จแบบแยกส่วน และเครื่องกลั่นสำเร็จแบบชิ้นเดียว

ปริมาณสารสกัด (Extractives)

การทดสอบนี้เป็นการหาปริมาณสารสกัดที่ได้จากสมุนไพร เมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน วิธีนี้จะกำหนดไว้สำหรับตัวยาสสมุนไพรที่ไม่มีวิธีวิเคราะห์ทางเคมีหรือชีววิทยาที่เหมาะสมในการหาปริมาณสารสำคัญในตัวยาดังกล่าว การเลือกใช้ตัวทำละลายจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารสำคัญและส่วนประกอบอื่นๆในตัวยา ว่าละลายได้มากน้อยเพียงใดในตัวทำละลายนั้น เช่น

Water-soluble extractive จะเป็นสารจำพวก glucose, mucilage และ pectin

Ethanol- soluble extractive จะเป็นสารจำพวก ketones, alcohols, ผลึก calcium oxalate

Chloroform- soluble extractive จะเป็นสารจำพวก O-glycosides บางชนิด, terpenes, sesquiterpens

Hexane -soluble extractive จะเป็นสารจำพวก anthraquinones, resin และ glycosides

4. หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

เมื่อปี ค.ศ.1800 Sir William Herschel ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Heating effect ในช่วงต่างๆ ของสเปกตรัม โดยค้นพบ Heating effect สูงสุดในแถบแสงที่อยู่ถัดไปจากแสงสีแดง (red end) แต่ไม่สามารถมองเห็นสเปกตรัม (spectrum) ได้ จึงเรียกช่วงรังสีที่เฝ้าค้นพบว่ารังสีอินฟราเรด (infrared radiation) การค้นพบครั้งนี้ถือเป็นการค้นพบที่ยิ่งใหญ่ เพราะรังสีอินฟราเรดประกอบไปด้วยสามช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกัน หนึ่งในนั้นก็คือช่วงรังสีเนียร์อินฟราเรดเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIRS) นั่นเอง

แสงใกล้อินฟราเรด (near infrared; NIR) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 780-2500 นาโนเมตร โดยมีหลักการดังนี้ คือ เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ แล้วสารเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง NIR ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูงในการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะรวมทั้งตำแหน่งของโมเลกุลและช่วงการดูดกลืนแสงก็เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลก็จะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (ground vibration level) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อน ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorbance, A) เป็นไปตามกฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต (Beer – Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne *et al.*, 1993) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล N-H พบในโปรตีน C-H พบในน้ำมัน

ช่วงคลื่นอินฟราเรด (IR) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Wavelength (nm)	Wavenumber (cm ⁻¹)
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	800– 2500	12500 – 4000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or fundamental IR)	2500– 25000	4000 – 400
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	25000–100000	400 – 10

ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 800 – 2500 นาโนเมตร แยกการดูดกลืนคลื่นแสงเกิดจากโอเวอร์โทน และมักพบว่าช่วงการดูดกลืนแสงที่ได้ค่อนข้างต่ำ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันน้ำตาล และศึกษาโครงสร้างโมเลกุล

ช่วงกลางอินฟราเรด (Middle Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 2500 – 50000 นาโนเมตร สเปกตรัมที่ได้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะโครงสร้างของโมเลกุลที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์จึงต้องให้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบโครงสร้างแล้ว ใช้ในการวิเคราะห์พวกกลุ่มฟังก์ชันน้ำตาล

ช่วงไกลอินฟราเรด (Far Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 50000 – 1000000 นาโนเมตร ช่วงนี้ไม่ค่อยที่จะได้ใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสเปกตรัมไม่ได้เกิดจากการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุล แต่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของโมเลกุล

การวิเคราะห์ตำแหน่งพีคในแถบสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด (Band assignment of NIR spectrum)

โดยทั่วไปช่วงคลื่นแสง NIR ยังแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Wavelength (nm)	Wavenumber (cm ⁻¹)
Region I	8000–1100	12500 –9000
Region II	1200–1800	8500 – 5500
Region III	1800 –2500	5500 – 4000

Region I

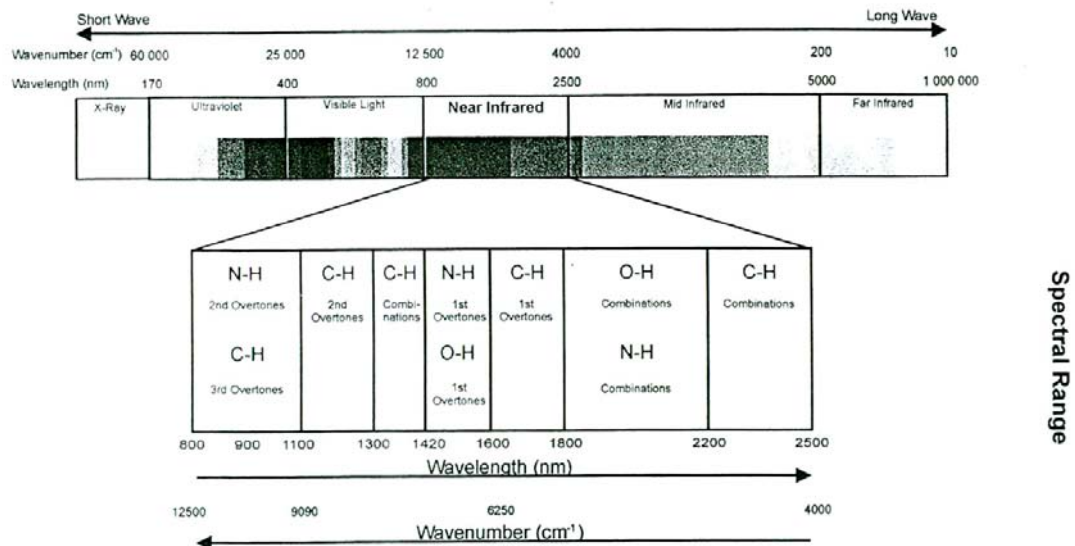
มีชื่อเรียกกันว่า “รังสีเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น” (Short wavelength NIR, SWNIR) หรือ “Herschel region” เราจะพบโอเวอร์โทนที่สองและสาม (2nd and 3rd overtones) และการสั่นรวม (combination mode) สำหรับการสั่นแบบยืด (stretching vibration) ของหมู่ฟังก์ชัน X-H, X=C, O, N

Region II

จะพบโอเวอร์โทนที่หนึ่งและการสั่นรวมหลากหลายแบบในการสั่นแบบยืด (stretching vibration) ของ X-H

Region III

ส่วนมากจะปรากฏการสั่นรวม (combination mode)



ภาพที่ 3 การดูดกลืนของโมเลกุล X-H ทำให้เกิดพีคในสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด

รูปแบบที่วัดคุณสมบัติการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรด (NIR)

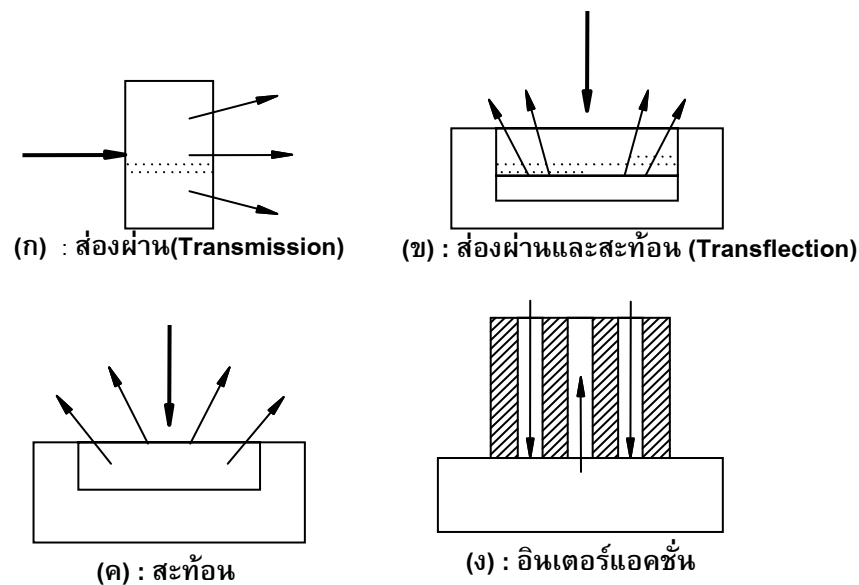
แสงเนียร์อินฟราเรด (NIR) เมื่อผ่านไปยังตัวอย่างจะเกิดการกระทำกับสารได้หลายแบบ เช่น คลื่นแสงถูกดูดกลืน (absorption) การส่องผ่าน (transmission) การสะท้อน (reflection) การเรืองแสง (fluorescence) การกระเจิงแสง (scattering) ดังนั้นควรมีการจัดวางตัวอย่างในการใช้เทคนิค NIRS เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจ (ศุมาพร, 2552) ได้แก่

Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบบนตัวอย่าง ดังภาพ 4ก

Transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบบนตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบบนแผ่นเซรามิกทอ หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพ 4ข

Reflection แสงตกกระทบบนที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย ดังภาพ 4ค

Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe ดังภาพ 4ง



ภาพที่ 4 ลักษณะ Sample presentations ในเทคนิคเนียร์อินฟราเรด

ประโยชน์ของเทคนิค NIRS

Osborne *et al.* (1993) ได้กล่าวว่า เครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เครื่อง NIR มีประโยชน์และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมีหรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมมีประโยชน์มากมายเช่น

1. ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องชั่งตัวอย่างก่อนนำมาวัดค่า
2. มีความรวดเร็วในการวัดค่า
3. การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ สามารถจำหน่ายส่งออก หรือบริโภคต่อได้ เป็นการประหยัดต้นทุนของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี
5. สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
6. ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้วเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้วลงไปได้
7. เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIRS) ในพืชสมุนไพร ยาสมุนไพร และขมิ้นชัน

ปัจจุบันสมุนไพรได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เพราะนอกจากจะช่วยบำรุงรักษาร่างกายแล้วยังช่วยในการรักษาโรคภัยไข้เจ็บได้อีกด้วย ผู้บริโภคยุคใหม่ที่เล็งเห็นความสำคัญกับมาตรการลดการใช้ยาสังเคราะห์ จึงหันมาใช้ผลิตภัณฑ์อื่นที่มาจากธรรมชาติ โดยคำนึงถึงความปลอดภัย และมีการสะสมตกค้างในร่างกายน้อย อันได้แก่สมุนไพรไทยซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับยาสังเคราะห์ทางเคมี ตอบสนองเพื่อสุขภาพของผู้บริโภคเป็นหลัก ขมิ้นชันเป็นพืชสมุนไพรที่มีความโดดเด่น เนื่องจากให้ประโยชน์มากมายโดยเฉพาะสารสำคัญที่ทำหน้าที่ออกฤทธิ์ที่พบในขมิ้นชัน ได้แก่ เคอร์คูมินอยด์ ดังนั้นเทคโนโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน จึงต้องได้รับการพัฒนาให้มีความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำ ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อผู้ผลิตเพื่อให้การค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารเคอร์คูมินอยด์มีความก้าวหน้ายิ่งขึ้น และเพื่อให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีก็เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีศักยภาพสูงและสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพสินค้าทั้งทางด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเทคโนโลยี NIRS มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง จึงตรวจวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว และแถบไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆเลย นอกจากนั้นเทคโนโลยีนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการจำแนกตัวอย่างตามคุณสมบัติเชิงคุณภาพได้อีกด้วย

ในช่วงปี ค.ศ. 1950 นักวิจัยในกระทรวงเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) ได้เริ่มนำเทคโนโลยี NIRS มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดปริมาณความชื้นในธัญพืชโดยไม่ทำลายตัวอย่าง ในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการควบคุมตรวจสอบคุณภาพทั้งในผลิตผลทางการเกษตรและในอุตสาหกรรม รวมทั้งการศึกษาวิจัยเชิงพื้นฐานในแทบทุกสาขาวิชา ซึ่งข้อเท็จจริงนี้สามารถพิสูจน์ได้จากจำนวนผลงานวิจัยจำนวนมากที่มีการตีพิมพ์ในปัจจุบัน

การประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS เพื่อการวิเคราะห์หาองค์ประกอบสำคัญในพืชสมุนไพรนั้น เริ่มแพร่หลายในประเทศแถบเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศจีนและเกาหลี ซึ่งมีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ในแขนงต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย หากแต่งานวิจัยในการศึกษาทางพืชสมุนไพรที่ได้รับการตีพิมพ์ยังมีจำนวนไม่มากนัก ในปี 1999 Woo *et al.* ประยุกต์ใช้ NIRS ในการจำแนกพืชสมุนไพรตามแหล่งปลูก (geographical origin) ได้แก่ หวงฉี (Astragali Radix) เห็ดหลินจือ (Ganoderma) และ Smilacis Rhizoma นอกจากนั้นยังประยุกต์ใช้ NIRS เพื่อจำแนกสมุนไพร 3 ชนิดที่มีความคล้ายคลึงกันจนไม่สามารถแยกได้ด้วยตา คือ โสม (Ginseng Radix) หวงฉี (Astragali Radix) และ Smilacis Rhizoma ในประเทศจีน Li *et al.* (2001) ทำการคัดเลือกเพื่อหาสมุนไพรแท้ ที่มีชื่อว่า อังตังเซียม (Danshen) โดยใช้เทคนิค NIRS นอกจากนี้ยังใช้เทคนิค NIRS ในการจำแนกแล้ว ยังมีการศึกษาเพื่อหาปริมาณสารสำคัญ Harpagoside และ Cinnamic acid ในสมุนไพร Radix Scrophulariae (Zhou *et al.*, 2001) กลุ่มนักวิจัยในแอฟริกาใต้ใช้เทคนิค NIRS ในการหาปริมาณ Mangiferin และ Hesperidin ใน Green Honeybush

(Cyclopiagenistoides) ซึ่งนิยมนำมาทำชาสมุนไพร (Joubert *et.al.*, 2006) เป็นต้น และเมื่อปี 2008 Tanaka *et al.* เป็นกลุ่มแรกที่น่าเทคนิค NIRS มาใช้หาปริมาณสารเคอร์คูมินอยต์ในขมิ้น โดยพัฒนาสมการทำนายด้วยวิธี partial least squared regression (PLSR) อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างขมิ้นทั้งหมด 37 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นจำนวนที่ค่อนข้างต่ำและอาจไม่ครอบคลุมลักษณะและปริมาณสารสำคัญที่จะพบได้ในขมิ้น อันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการนำสมการดังกล่าวไปใช้งานต่อไป

จากการได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการ MRG5180181 ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิจัยโดยใช้เทคนิค NIRS ร่วมกับการคำนวณทางสถิติ วิธี Moving window partial least squares regression (MWPLSR) เพื่อเลือกช่วงความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับสร้างสมการทำนายปริมาณสารเคอร์คูมินอยต์ในขมิ้นชัน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของสมการที่พัฒนาขึ้นทั้ง 45 สมการ พบว่าสมการที่ให้ประสิทธิภาพการทำนายแม่นยำสูงสุด ระดับการประยุกต์เพื่อควบคุมคุณภาพ (Williams, 2007) คำนวณจากความยาวคลื่นตั้งแต่ 2040-2486 นาโนเมตร ปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสองแล้วสร้างสมการ PLSR จากตัวอย่างขมิ้น 148 ตัวอย่าง ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) 0.98 ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย 1.003 % w/w (Kasemsumran *et al.*, 2010)

วัตถุประสงค์

1. สร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินในผงยาสมุนไพรขมิ้นชันด้วยการใช้แสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเทียบกับวิธีอ้างอิง HPLC
2. สร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันบรรจุแคปซูลด้วยการใช้แสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเทียบกับวิธีอ้างอิง HPLC

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างยาแคปซูลขมิ้นชัน

ยาแคปซูลสมุนไพรขมิ้นชัน 30 ชื่อตราสินค้า ระบุชื่อบริษัทและสถานที่ผลิต จำนวน 35 ตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่เข้าชื่อตราสินค้าเดียวกันจะมาจากกระบวนการผลิตต่างกัน โดยเป็นยาที่ผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2555 – 2556

2. อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 งานเก็บข้อมูลสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด

เครื่อง FT-NIR spectrophotometer รุ่น NIR-Flex Solid, Buchi, Thailand

- 1) ระบบวัดแสงส่องทะลุผ่าน ใช้สแกนทั้งแคปซูลที่บรรจุผงยา ด้วยเซลล์ใส่ตัวอย่างแบบ 30 capsules-sample plate
- 2) ระบบวัดแสงสะท้อน ใช้สแกนผงยาที่ใส่ในขวดแก้วใส ด้วยเซลล์ใส่ตัวอย่างแบบ 6 vials-sample plate

2.2 งานสกัดสารเคอร์คูมินในยาแคปซูลขมิ้นชัน

- 2.2.1 เครื่องแกวชชุดสกัดสาร 6 ชุด (soxhlet extraction)
- 2.2.2 เตาให้ความร้อนชุดสกัดแบบ 6 หลุมของ LabHeat, Germany
- 2.2.3 เครื่องชั่งวิเคราะห์อย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น TB214 ของ Denver instrument, USA
- 2.2.4 เครื่องมือชุดระเหยสาร (Rotavapor) รุ่น R-210/215, Buchi, Thailand
- 2.2.5 Hexane AR. ของ ACI LabScan, Thailand
- 2.2.6 Methanol AR. ของ ACI LabScan, Thailand
- 2.2.7 Extraction Thimble ของ Adventec, size 30*100 mm.
- 2.2.8 กระดาษกรอง No.1 ขนาด 12.5 cm. ของ Whatman

2.3 งานวิเคราะห์ปริมาณ เคอร์คูมินด้วย HPLC

- 2.3.1 เครื่อง HPLC รุ่น LC-20A ของ Shimadzu, Japan
- 2.3.2 Column Inert Sustain C18, 4.6mm ID x 150mm 5µm พร้อม Cartridge Guard Column ของ GL Sciences Inc, Japan
- 2.3.3 Acetonitrile HPLC ของ ACI LabScan, Thailand
- 2.3.4 Methanol HPLC ของ ACI LabScan, Thailand
- 2.3.5 น้ำกรองผ่าน membrane filter 18 MΩ
- 2.3.6 Glass vials 2 ml พร้อมฝา ของ National Scientific, USA
- 2.3.7 Silicone septa 8 mm. ของ National Scientific, USA
- 2.3.8 Syringe filters, PTFE 0.45 µm. 25 mm. ของ National Scientific, USA

2.3.9 Membrane filter, cellulose acetate, 0.45 μm . 47 mm. ของ National Scientific, USA

2.3.10 Membrane filter, nylon, 0.45 μm . 47 mm. ของ National Scientific, USA

2.3.11 สารมาตรฐานเคอร์คูมิน (HPLC assay; >98%) ของ Fluka, Singapore

2.4 เครื่องแก้ว อุปกรณ์พลาสติก วัสดุชักล้างและเครื่องใช้ต่าง ๆ

3. เครื่องมือที่ใช้คำนวณและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

3.2 The Unscrambler version 9.8 ของ CAMO, Norway

วิธีการวิจัย

กิจกรรม 1. รวบรวมและคัดเลือกตัวอย่างยาแคปซูลสมุนไพรมีนชั้นจากท้องตลาดและร้านขายยาในกรุงเทพมหานคร

เก็บตัวอย่างยาสมุนไพรมีนชั้นบรรจุในแคปซูล เลือกเก็บเฉพาะที่แสดงชื่อตราสินค้า ระบุชื่อบริษัทและสถานที่ผลิต รวมทั้งสิ้น 30 ชื่อตราสินค้า จำนวน 35 ตัวอย่าง หากแบ่งตามลักษณะแคปซูลที่ใช้บรรจุ (ภาพที่ 5) จะแบ่งได้ ดังนี้

- แคปซูลใส 24 ตัวอย่าง
- แคปซูลสีส้มมัน 5 ตัวอย่าง
- แคปซูลสีส้มด้าน 1 ตัวอย่าง
- แคปซูลสีขาว 1 ตัวอย่าง
- แคปซูลสีเหลือง 1 ตัวอย่าง
- แคปซูลสีเทา 1 ตัวอย่าง
- แคปซูลสีขาวเหลือง 1 ตัวอย่าง
- แคปซูลสีขาวสลับเหลือง 1 ตัวอย่าง



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะแคปซูลของตัวอย่างที่เก็บรวบรวมจากร้านขายยาสมุนไพร

กิจกรรม 2. ศึกษาอิทธิพลของแคปซูลต่อคุณภาพสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดที่ได้จากการสแกน

ดำเนินการ สแกนเก็บข้อมูลการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดในช่วง $11500-6000\text{ cm}^{-1}$ (เป็นช่วงความยาวคลื่นที่วัดได้สูงสุดสำหรับถาดวัดตัวอย่างชนิดแคปซูล) ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrophotometer ของยาสมุนไพรมีนชั้นที่บรรจุในแคปซูล 8 ลักษณะ (ภาพที่ 5) ด้วยระบบการวัดแสงส่องผ่าน ดังแสดงในภาพที่ 6 วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพของสเปกตรัมที่ได้



ภาพที่ 6 แสดงการวางแคปซูลลงบนถาดวัด บนเครื่อง FT-NIR spectrophotometer

กิจกรรม 3. เตรียมการวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อใช้เป็นวิธีการอ้างอิง

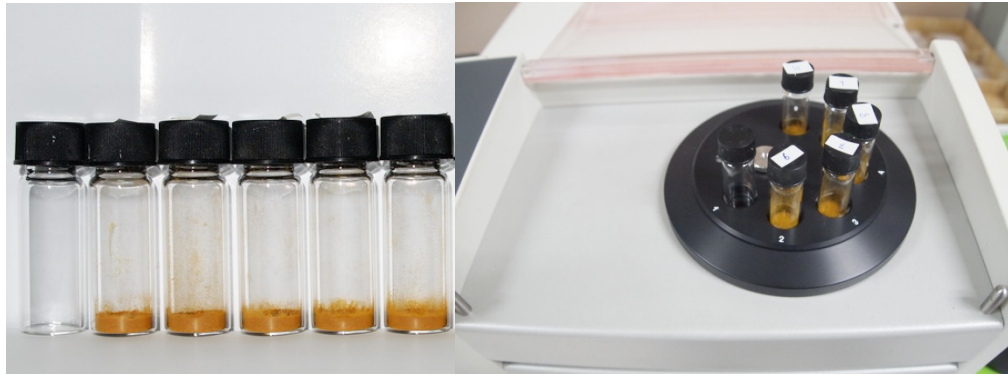
สร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) โดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน curcumin 0.010, 0.050, 0.100, 0.200 และ 0.300 mg/ml. นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Inertsil Applications (2012) ใช้ Mobile phase เป็น Acetonitrile : Water (50:50) Flow rate 1.0 ml/min Temperature 40°C Detector UV ที่ตำแหน่ง 425 nm ฉีด 10 μ l จำนวน 2 ซ้ำ

กิจกรรม 4. เก็บข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของแคปซูลบรรจุยาสมุนไพรขมิ้นชัน

เมื่อทราบผลของอิทธิพลจากลักษณะแคปซูลที่ใช้บรรจุผงยาที่ปรากฏให้เห็นในสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลการศึกษากิจกรรมที่ 2 แล้ว จึงทำการเลือกวิเคราะห์เฉพาะยาที่บรรจุในแคปซูลที่ให้คุณภาพของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุด คือ ยาสมุนไพรที่บรรจุในแคปซูลใส การสแกนมีขั้นตอนเช่นเดียวกับกิจกรรมที่ 2

กิจกรรม 5. เก็บข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของผงยาสมุนไพรขมิ้นชันบรรจุในขวดแก้ว

แกะแคปซูลยาที่ผ่านการเก็บข้อมูลในกิจกรรมที่ 4 เทผงยาออกจากแคปซูล บดด้วยโกร่งบดยาจนละเอียดเข้ากัน แล้วบรรจุในขวดแก้ว (glass vial) อัดให้แน่น จนมีความหนาแน่นจากกันขวด 0.3 mm. เทากันทุกตัวอย่าง แล้ววางลงบนถาดวัดสำหรับ vial วัดในระบบแสงส่องผ่าน (ภาพที่ 7) ในช่วง 10000-4000 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นที่วัดได้สูงสุดสำหรับถาดวัดชนิด vial



ภาพที่ 7 การบรรจุผงขมิ้นชันจากแคปซูลลงในขวด glass vial (ซ้าย) และการวางขวดที่บรรจุตัวอย่างบนถาดวัดสำหรับ vial บนเครื่อง FT-NIR spectrophotometer ระบบวัดแสงส่องผ่าน

กิจกรรม 6. สกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากผงขมิ้นที่ผ่านการเก็บข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดโดยใช้สารเคมี และวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในสารสกัดด้วยวิธี HPLC

นำผงยาขมิ้นชันที่ผ่านการสแกนจากกิจกรรมที่ 5 และ 6 มาชั่งน้ำหนัก 0.1 กรัมบนกระดาษกรอง แล้วพับใส่ใน extraction thimble นำเข้าเครื่องสกัด สกัดด้วยเฮกเซนเพื่อกำจัดน้ำมัน จากนั้นสกัดเคอร์คูมินอยด์ด้วยเมทานอล แล้วนำไประเหยเอาเมทานอลออกด้วยเครื่อง rotary evaporator จนได้สารสกัดเคอร์คูมินอยด์เข้มข้น ทำการสกัด 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง (แคปซูล) จากนั้นเจือจางสารสกัดเข้มข้นด้วยเมทานอลชนิด HPLC ในขวดปรับปริมาตร กรองสารสกัดเจือจางผ่าน syringe filter ลงในขวด vial ปิดฝา หุ้มขวดด้วยกระดาษฟลอยส์เพื่อป้องกันแสง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC จากกราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้น ทำการฉีควิเคราะห์ 2 ซ้ำ/ขวด (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แสดงการสกัดด้วยสารเคมี (ซ้าย) การทำให้สารสกัดเคอร์คูมินอยด์เข้มข้น (กลาง) และการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC (ขวา)

กิจกรรม 7. คำนวณสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันโดยนำข้อมูลการดูดกลืนแสง NIR ของตัวอย่างและค่าปริมาณเคอร์คูมินที่วิเคราะห์ได้จากวิธีHPLC มาคำนวณด้วยวิธี Partial Least Squares (PLS) regression

7.1 สร้างสมการสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี NIRS โดยเปรียบเทียบการสแกนเก็บข้อมูล 2 แบบ

จากการวิเคราะห์ 140 ตัวอย่าง (แคปซูลชนิดโปร่งใส 14 ตราสินค้า ชนิดละ 10 แคปซูล) แบ่งข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIR ของตัวอย่าง เป็น 2 ชุด คือ ชุดสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 110 สเปกตรัม และชุดทดสอบ (test set) ประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณของสมการที่สร้างขึ้นจำนวน 30 สเปกตรัม นำข้อมูลสเปกตรัมและปริมาณเคอร์คูมินของตัวอย่างชุดสร้างสมการมาคำนวณสร้างสมการด้วยวิธี PLS regression และใช้วิธี Segment cross-validation จำนวน 11 รอบ รอบละ 10 ชุดข้อมูลในการคำนวณเพื่อเลือกจำนวน principle component (PC) ที่เหมาะสม โดยคำนวณเปรียบเทียบค่าทางสถิติของสมการที่สร้างจากสเปกตรัมการดูดกลืนของตัวอย่างแบบ 1) ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งด้วย 2) วิธี multiplicative scattering correction (MSC) และ 3) วิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง (second derivative method; 2D) และเปรียบเทียบค่าทางสถิติของสมการที่คำนวณจากข้อมูลการดูดกลืนแสงทั้งช่วง (whole spectral region) โดยสร้างสมการแยกสำหรับการสแกนเก็บข้อมูล แบบที่ 1) แคปซูลบรรจุผงยาขมิ้นชัน และ 2) ผงยาขมิ้นชัน

เปรียบเทียบประสิทธิภาพความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินระหว่างการเก็บข้อมูลตัวอย่างทั้ง 2 แบบ เพื่อเลือกใช้การเก็บข้อมูลตัวอย่างที่เหมาะสมโดยให้ผลวิเคราะห์ทางสถิติดีที่สุดสำหรับการทดลองกิจกรรม 7.2

7.2 สร้างสมการสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมิน ด้วยวิธี NIRS โดยเลือกใช้การสแกนเก็บข้อมูลตัวอย่างที่เหมาะสมจากการทดลอง 7.1

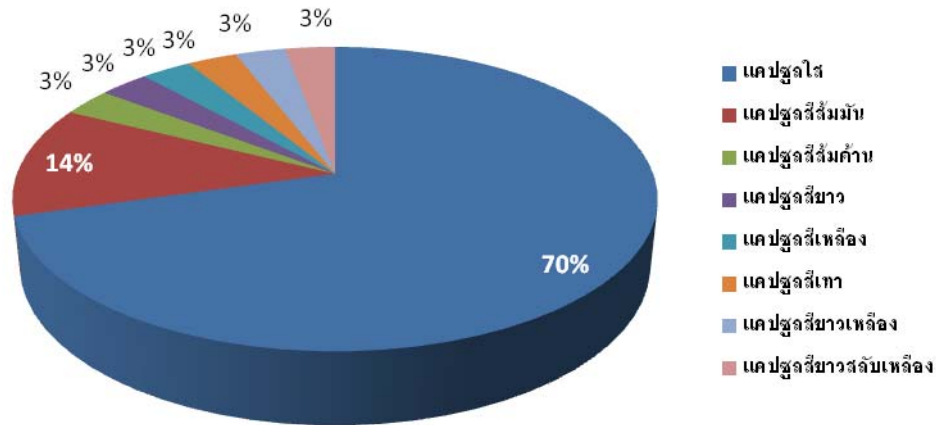
ผลจากกิจกรรมที่ 7.1 พบว่าการสแกนเก็บข้อมูลจากผงยาขมิ้นชันจะให้สมการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินที่มีประสิทธิภาพดีกว่า อีกทั้งไม่มีข้อจำกัดในการสแกนเนื่องจากชนิดของแคปซูล จึงวิเคราะห์ตัวอย่างยาขมิ้นชันที่บรรจุในแคปซูลได้ทุกสีทุกแบบ ยกเว้น 1 ตัวอย่างเป็นยาขมิ้นชันที่บรรจุในแคปซูลสีส้มด้าน มีตราสินค้าและระบุปริมาณสารเคอร์คูมินชัดเจนบนบรรจุภัณฑ์ เมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่ามีปริมาณเคอร์คูมินตามที่ระบุ แต่เป็นปริมาณที่สูงแตกต่างจากปริมาณเคอร์คูมินที่พบในกลุ่มตัวอย่างยาขมิ้นชันอื่นอย่างมาก หากพิจารณาทางสถิติการรวมตัวอย่างนี้จะทำให้การกระจายตัวของปริมาณเคอร์คูมินในกลุ่มตัวอย่างที่จะใช้สร้างสมการเป็นแบบเบ้ อีกทั้งเป็นตัวอย่างยี่ห้อเดียวที่มีระดับสูงต่างจากกลุ่มส่วนใหญ่ ทำให้มีลักษณะ leverage สูง จึงพิจารณาตัดตัวอย่างนี้ออกไม่ใช้ในการสร้างสมการ

ดังนั้นจึงวิเคราะห์ยาสมุนไพรขมิ้นชันทั้งหมด 34 ตัวอย่าง จำนวนทั้งสิ้น 256 ตัวอย่าง (แคปซูลทุกแบบ) แบ่งข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIR ของตัวอย่าง เป็น 2 ชุด คือ ชุดสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 208 สเปกตรัม และชุดทดสอบ (test set) ประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณของสมการที่สร้างขึ้นจำนวน 48 สเปกตรัม นำข้อมูลสเปกตรัมและปริมาณเคอร์คูมินของตัวอย่างชุดสร้าง

สมการมาคำนวณสร้างสมการด้วยวิธี PLS regression และใช้วิธี Segment cross-validation จำนวน 16 รอบ รอบละ 13 ชุดข้อมูลในการคำนวณเพื่อเลือกจำนวน PC ที่เหมาะสม ดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติของสมการก่อนและหลังปรับแต่งข้อมูล และการเลือกใช้ความยาวคลื่นทั้งช่วง และที่เลือกช่วงด้วยวิธี Moving window partial least squares regression (MWPLSR) (Kasemsumram *et al.*, 2010)

ผลและวิจารณ์

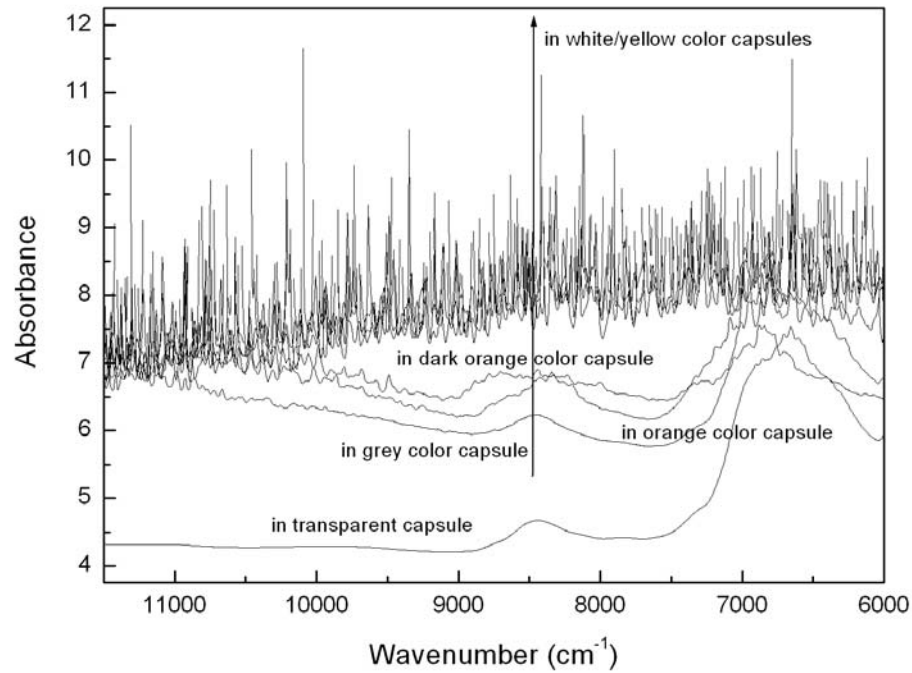
ยาสมุนไพรขมิ้นชันที่พบในท้องตลาดนิยมบรรจุในแคปซูล จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างเฉพาะยาที่มีชื่อตราสินค้า ชื่อและที่อยู่ผู้ผลิต จำนวน 35 ตัวอย่าง แต่ละตราสินค้าจะใช้แคปซูลสีแตกต่างกัน โดยนิยมใช้แคปซูลโปร่งใสมากที่สุดถึง 70% รองลงมาคือแคปซูลสีส้ม 14% ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์การใช้แคปซูลสีต่างๆ เพื่อบรรจุผงยาสมุนไพรขมิ้นชัน

ผลการศึกษาอิทธิพลของแคปซูลต่อคุณภาพสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดที่ได้จากการสแกน

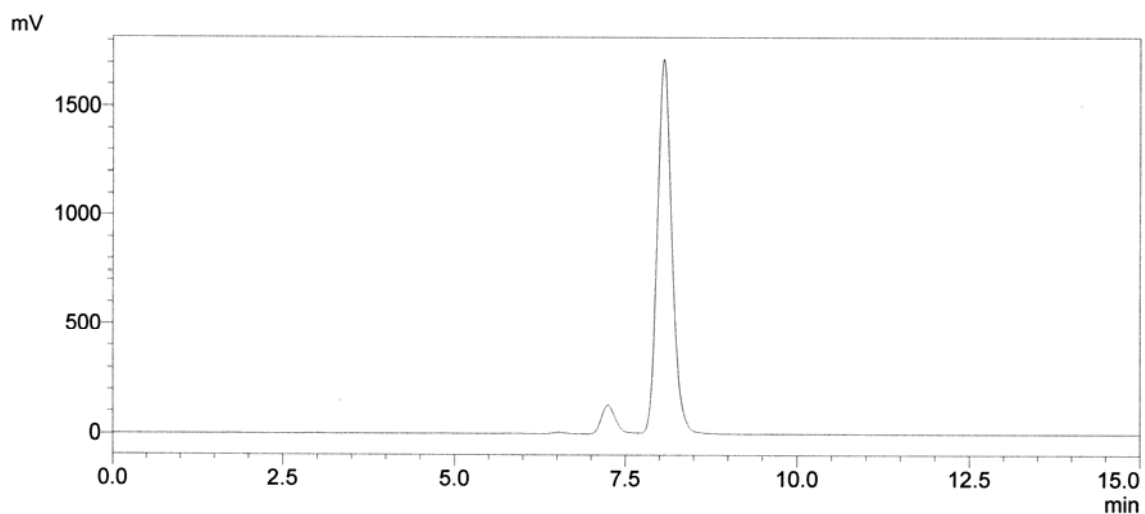
เมื่อสแกนเก็บข้อมูลการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของยาบรรจุในแคปซูลในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงที่วัดได้สูงสุดสำหรับภาควัตถุชนิดแคปซูล ที่ใช้ระบบการวัดแสงส่องทะลุผ่าน ใช้เครื่อง FT-NIR spectrophotometer ผลเปรียบเทียบสเปกตรัมของแคปซูลบรรจุผงขมิ้นชันทั้ง 8 สี พบว่าตัวอย่างยาที่บรรจุในแคปซูลโปร่งใสเท่านั้นที่ให้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดในระดับที่เครื่องจะตรวจจับได้ ขณะที่การดูดกลืนแสงของแคปซูลชนิดทึบที่มีสีต่างๆนั้น จะแสดงปริมาณการดูดกลืนแสงที่ต่ำมากและปรากฏสัญญาณรบกวน (noise) สูง ดังภาพที่ 10 น่าจะมีสาเหตุจากส่วนประกอบที่ใช้ผลิตแคปซูลสีต่างๆ ประกอบด้วยเจลาตินผสมกับสีสารทึบแสง เช่น titanium dioxide (คณะกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ, 2556) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยสะท้อนแสงได้ดี จึงไม่ยอมให้แสงทะลุผ่านเข้าไปในแคปซูล หรือผ่านได้น้อยมาก เมื่อแสงเดินทางมายังจุดตรวจจับสัญญาณ (detector) จึงอ่านสัญญาณได้ต่ำหรือแทบไม่มีสัญญาณออกมาเลย เมื่อแปลงสัญญาณเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจึงแสดงระดับการดูดกลืนต่ำ หรือเห็นสัญญาณรบกวนสูงตามมา สำหรับแคปซูลชนิดโปร่งใสจะยอมให้แสงเดินทางผ่านเข้าไปในแคปซูล และผ่านตัวผงยา ก่อนที่จะเดินทางไปจุดตรวจจับสัญญาณ เมื่อแปลงสัญญาณเป็นสเปกตรัมจึงให้สเปกตรัมแสดงระดับการดูดกลืนสูง ดังนั้นในการทดลองของโครงการนี้ต่อไป จะเลือกดำเนินการเฉพาะตัวอย่างที่บรรจุในแคปซูลใสเท่านั้น



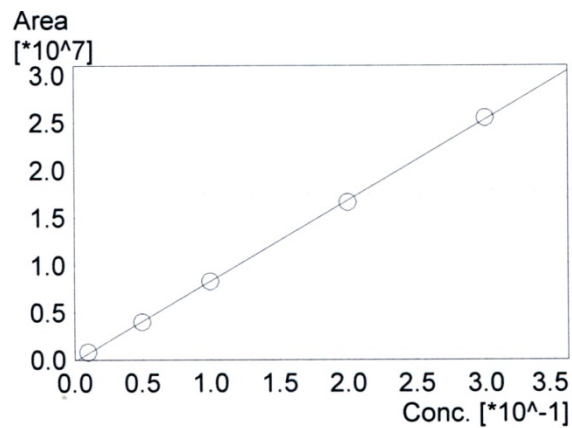
ภาพที่ 10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วง $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$ ของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลสีต่างๆ

ผลการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อใช้เป็นวิธีการอ้างอิง

โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน curcumin แสดงในภาพที่ 11 พบว่าสารละลายมาตรฐาน curcumin ปรากฏพีคที่ค่าเฉลี่ย retention time เท่ากับ 8.06 นาที จากผลการทดลองที่ได้นำค่าพื้นที่ใต้กราฟแต่ละความเข้มข้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับความเข้มข้นได้สมการเส้นตรงของ curcumin คือ $y = (8.505 \times 10^7)x - 189863$ มีค่า $R^2 = 0.9998$ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 11 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน curcumin ความเข้มข้น 0.300 mg/ml

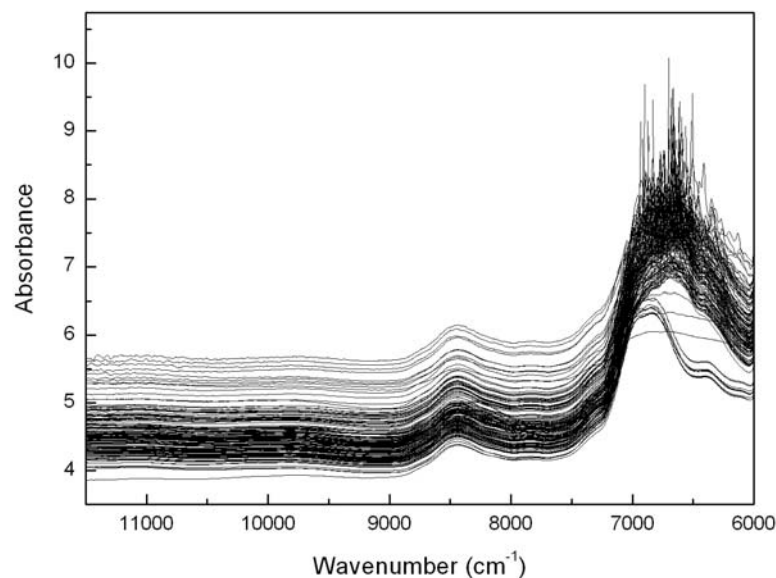


ภาพที่ 12 กราฟมาตรฐาน curcumin

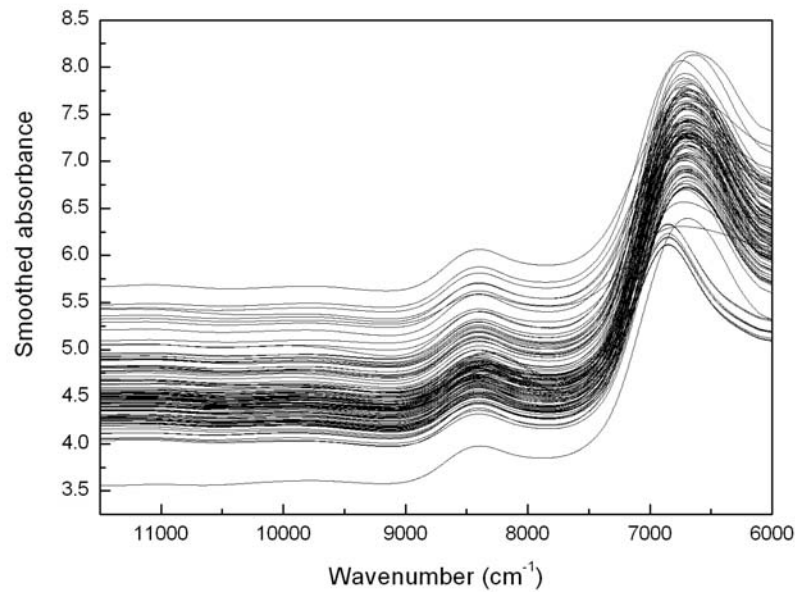
การหาค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ) คำนวณได้จากกราฟสารละลายมาตรฐาน curcumin ความเข้มข้น 0.010, 0.050, 0.100, 0.200 และ 0.300 mg/ml. จากการทดลองได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 0.007 และ 0.020 mg/ml ตามลำดับ

ข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของแคปซูลบรรจุยาสมุนไพรขมิ้นชัน

สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIR ที่ไม่ปรับแต่งของยาขมิ้นชันบรรจุแคปซูลชนิดโปรงใส แสดงในภาพที่ 13 เนื่องจากสเปกตรัมในช่วง $7000 - 6000 \text{ cm}^{-1}$ มีระดับการดูดกลืนสูงมาก บางช่วงจุดตรวจจับสัญญาณได้ไม่สมบูรณ์ เห็นเป็นระดับสูง-ต่ำแบบกระตุก อย่างไรก็ตามรูปร่างสเปกตรัมมีลักษณะเห็นโครงสร้างชัดเจน จึงทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing แบบ moving average ขนาด 592 cm^{-1} จะได้สเปกตรัมหลังการปรับให้เรียงดังภาพที่ 14



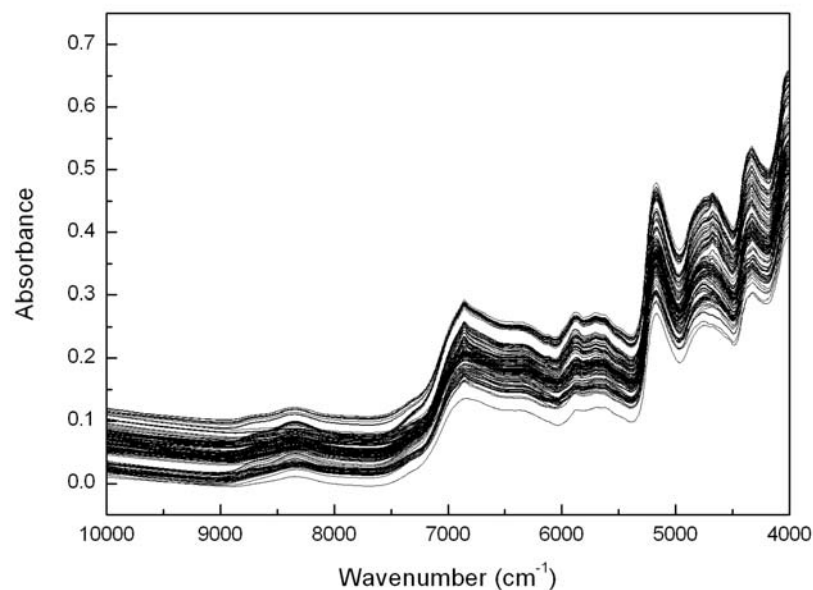
ภาพที่ 13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดที่ไม่ปรับแต่งของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลชนิดใส ในช่วง $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$



ภาพที่ 14 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดภายหลังปรับแต่งให้เรียบของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลชนิดใส ในช่วง $11500 - 6000 \text{ cm}^{-1}$

ข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของผงยาสมุนไพรขมิ้นชันบรรจุในขวดแก้ว

เมื่อนำผงยาบรรจุใน glass vial เพื่อเก็บข้อมูล พบว่าได้สเปกตรัมที่มีคุณภาพ ไม่มีสัญญาณรบกวน ดังภาพที่ 15 ปรากฏพีคในช่วง $6850, 6000$ and 4600 cm^{-1} ชนิด 2^{nd} overtone ของหมู่ OH ใน enols ชนิด 1^{st} overtone ของหมู่ CH stretching บน cyclic double bonds และ ชนิด 1^{st} overtone ของหมู่ dienes ($\text{H-C}=\text{C}$) ร่วมกันชนิด combination bands ของ curcumin benzene ring substituents (Workman, 2007)



รูปที่ 15 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดที่ไม่ปรับแต่งของผงขมิ้นบรรจุใน glass vial ในช่วง $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในสารสกัดด้วยวิธี HPLC

เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างชุดแรก 140 ตัวอย่าง มีสารเคอร์คูมินในช่วงปริมาณ 1.126 – 4.826% โดยน้ำหนัก ซึ่งตัวอย่างแต่ละชุดมีการกระจายของปริมาณเคอร์คูมินดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสถิติของปริมาณเคอร์คูมินในยาขมิ้นชันที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 1

ชุดตัวอย่าง	จำนวน	ปริมาณเคอร์คูมิน (%weight)			
		Min.	Mean	Max.	Standard deviation
สร้างสมการ	110	1.13	2.99	4.83	1.01
ทดสอบ	30	1.24	2.80	4.49	1.01

สำหรับตัวอย่างชุดที่ 2 จากยาแคปซูล 256 ตัวอย่าง วิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี HPLC แล้วนำมาคำนวณเทียบกับน้ำหนักแห้ง โดยวิเคราะห์หาความชื้นของยาตัวอย่างด้วยวิธี Karl Fischer ตัวอย่างจะมีสารเคอร์คูมินตั้งแต่ 1.218 – 5.315% โดยน้ำหนักแห้งดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสถิติของปริมาณเคอร์คูมินในยาขมิ้นชันที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2

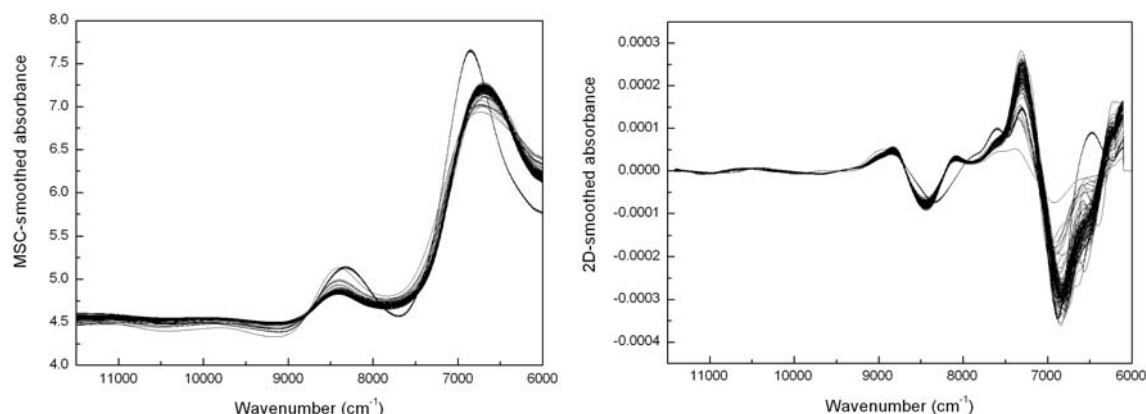
ชุดตัวอย่าง	จำนวน	ปริมาณเคอร์คูมิน (%dry weight)			
		Min.	Mean	Max.	Standard deviation
สร้างสมการ	208	1.22	3.56	5.32	1.16
ทดสอบ	48	1.42	3.38	5.06	1.16

ผลการคำนวณสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชัน

7.1 สร้างสมการสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี NIRS โดยเปรียบเทียบการสแกนเก็บข้อมูล 2 แบบ

7.1.1 แคปซูลโปร่งใสบรรจุยาสมุนไพรขมิ้นชัน

เนื่องจากคุณภาพของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของยาสมุนไพรขมิ้นชันที่บรรจุในแคปซูลชนิดใส จะมีบางช่วงดูดกลืนแสงมากเกินไปกว่าความสามารถของเครื่องที่จะตรวจจับได้เรียบ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการ smoothing ทุกครั้งก่อนจะนำมาคำนวณสร้างสมการ โดยทำการเปรียบเทียบสมการทำนายปริมาณเคอร์คูมินที่คำนวณจากข้อมูลสเปกตรัม smoothing (ภาพที่ 14), smoothing+MSC และ smoothing+2D (ภาพที่ 16) จากการใช้ช่วงเลขคลื่นทั้งหมด 11500 – 6000 cm^{-1}

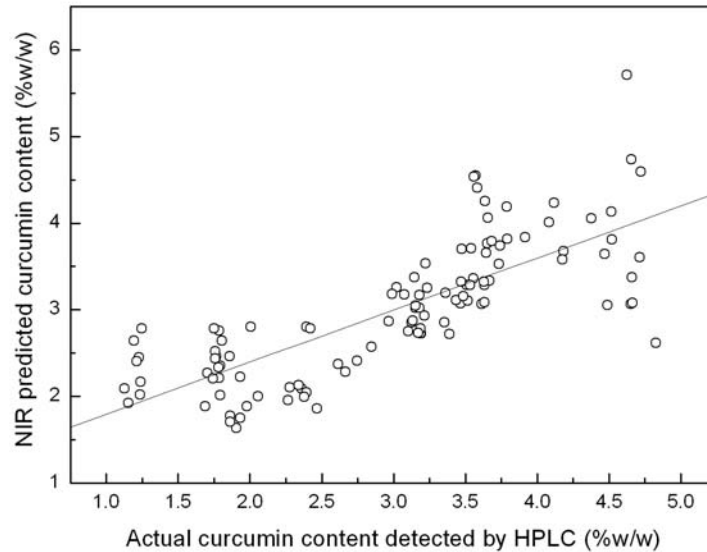


ภาพที่ 16 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของผงขมิ้นบรรจุในแคปซูลชนิดใสภายหลัง
ปรับแต่งให้เรียบร่วมกับวิธี MSC (ซ้าย) และวิธี 2D (ขวา) ในช่วง 11500 – 6000 cm^{-1}

เมื่อนำข้อมูลชุด calibration set มาคำนวณสร้างสมการและทดสอบด้วยข้อมูลชุด test set ผลทางสถิติของสมการแสดงในตารางที่ 6 พบว่าสมการที่ปรับแต่งด้วยการทำให้เรียบร่วมกับวิธี MSC เพื่อแก้ไขลักษณะ baseline shift ให้ค่าทางสถิติดีกว่าทุกสมการ นั่นคือ สมการทำนายมีค่า R^2 สูง และความผิดพลาดในการทำนายปริมาณต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตาม ระดับผลทางสถิติดังกล่าว จัดให้สมการนี้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปริมาณอย่างหยาบเท่านั้น (William, 2007) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC เมื่อเทียบกับวิธี NIRS ด้วยสมการนี้ (Smoothing + MSC) แสดงดังภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่า regression line ที่ลากผ่านตำแหน่งตัวอย่างมีความชันต่ำ และตำแหน่งตัวอย่างกระจายกระจาย แสดงถึงความสัมพันธ์ของทั้ง 2 วิธียังมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันต่ำ

ตารางที่ 6 ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คูมินในยาขมิ้นชั้นบรรจุแคปซูลใสในช่วงความยาวคลื่น 11500 – 6000 cm^{-1}

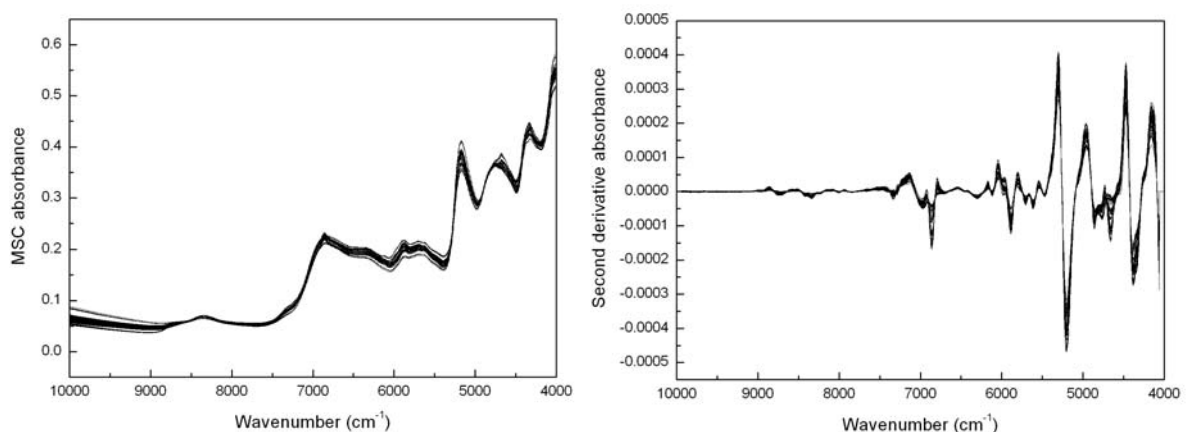
Pretreatment	PC	Calibration		Full-Cross validation		Prediction of an independent test set	
		R^2	RMSEC (%w/w)	R^2	RMSECV (%w/w)	R^2	RMSEP (%w/w)
Smoothing	15	0.65	0.59	0.43	0.76	0.59	0.63
Smoothing + MSC*	12	0.60	0.63	0.45	0.74	0.62	0.61
Smoothing + 2D	11	0.49	0.72	0.20	0.90	0.19	0.89



รูปที่ 17 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คูมินในยาหมื่นชั้นที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากยาบรรจุแคปซูลที่สร้างจากสเปกตรัม ปรับแต่งวิธี Smoothing + MSC ทั้งช่วงเลขคลื่น (แกน Y)

7.1.2 ผงยาสมุนไพรหมื่นชั้น

เมื่อนำผงยาออกมาจากแคปซูลแล้วบรรจุใน glass vial เพื่อเก็บข้อมูล พบว่าได้สเปกตรัมที่มีคุณภาพ ไม่มีสัญญาณรบกวน จึงไม่ต้องทำให้เรียบ เมื่อเปรียบเทียบสมการทำนายปริมาณเคอร์คูมินที่คำนวณจากข้อมูลสเปกตรัมไม่ปรับแต่ง (ภาพที่ 15), MSC เพื่อลดระดับ baseline และ 2D แก้ไขปัญหา baseline และยังช่วยขยายสัญญาณที่สำคัญให้เห็นเด่นชัดในลักษณะ negative peak (ภาพที่ 18) จากการใช้ช่วงเลขคลื่นทั้งหมด $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$

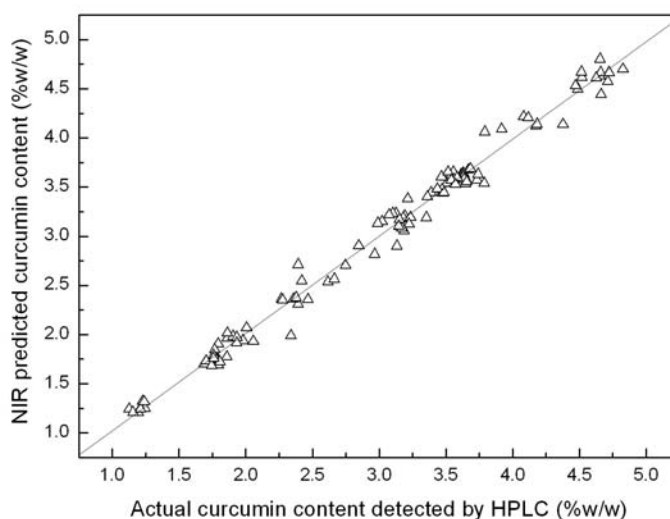


รูปที่ 18 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของผงหมื่นชั้นภายหลังปรับแต่งวิธี MSC (ซ้าย) และวิธี 2D (ขวา) ในช่วง $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$

ในตารางที่ 7 พบว่าสมการคำนวณจากสเปกตรัม NIR ที่ปรับแต่งด้วย 2D ให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุด คือ สมการทำนายมีค่า R^2 สูงระดับ 0.99 ใช้ PC เป็น 7 และความผิดพลาดในการทำนายปริมาณต่ำสุด โดยเฉพาะเมื่อทดสอบด้วยชุด test set มีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินเฉลี่ยเป็น 0.13% โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC เมื่อเทียบกับวิธี NIRS ของ สมการดังกล่าว มี regression line ที่ความชันสูงและลากผ่านตำแหน่งตัวอย่าง แสดงถึงความสัมพันธ์ ของทั้ง 2 วิธียังมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันมาก (ภาพที่ 19)

ตารางที่ 7 ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คูมินในผงยาขมิ้นชันบรรจุ glass vial ในช่วงความยาวคลื่น $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ การทดลองชุดที่ 1

Pretreatment	PC	Calibration		Full-Cross validation		Prediction of an independent test set	
		R^2	RMSEC (%w/w)	R^2	RMSECV (%w/w)	R^2	RMSEP (%w/w)
original	7	0.98	0.14	0.97	0.16	0.97	0.17
MSC	8	0.98	0.13	0.98	0.15	0.97	0.16
*Second derivative	7	0.99	0.11	0.98	0.13	0.98	0.13



ภาพที่ 19 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คูมินในยาขมิ้นชันที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากผงยาขมิ้นชันบรรจุ glass vial สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งวิธี Second derivative ในช่วงเลขคลื่น (แกน Y)

จากผลดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติในตารางที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธี NIRS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาขมิ้นชันควรเลือกใช้วิธีการเก็บข้อมูล NIR ซึ่งเตรียมตัวอย่าง โดยการเทผงยาออกจากแคปซูลใส่ในขวด glass vial กดให้แน่น แล้วนำเข้าเครื่องสแกน วิธีนี้เมื่อนำ

ข้อมูลมาคำนวณสร้างสมการได้สมการที่ให้ค่าสถิติดีกว่า ทั้งในส่วน R^2 และปริมาณเคอร์คูมินเฉลี่ยที่สมการจากการสแกนผงยาใน glass vial จะทำนายผิดพลาดก็ต่ำกว่าถึง 7 เท่าตัว อันน่าจะมาจาก 2 สาเหตุ คือ 1) ช่วงเลขคลื่นที่ได้จากระบบการสแกนผ่านแคปซูลจะได้ข้อมูลสั้นกว่า คือ 11500 – 6000 cm^{-1} อันเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือ ข้อมูลที่หายไปจะเป็นช่วงที่สำคัญเนื่องจากพีคหมู่ฟังก์ชันของเคอร์คูมินจะปรากฏให้เห็นได้ (Tanaka *et al.*, 2008, Kasemsumran *et al.*, 2010) ในขณะที่การสแกนโดยใช้ระบบ vial ได้ข้อมูลในช่วงกว้างครอบคลุมมากกว่า สมการที่ได้จึงแสดงความสัมพันธ์ที่ดี และ 2) อิทธิพลเนื่องมาจากแคปซูล ถึงแม้จะเลือกใช้แคปซูลชนิดโปร่งใส แต่ความหนาของเปลือกแคปซูลและความหนาของผงยาที่อยู่ในแคปซูลอาจแปรปรวนไม่สม่ำเสมอ จะเห็นได้จากสเปกตรัมของยาบรรจุแคปซูลในภาพที่ 14 และ 16 มีความแปรปรวนแม้จะปรับแต่งเพื่อลด baseline shift แต่จะเห็นว่าสเปกตรัมเสมือนมีความต่างแบ่งเป็นกลุ่มชัดเจนขึ้นโดยความต่างน่าจะมาจากตัวแคปซูล

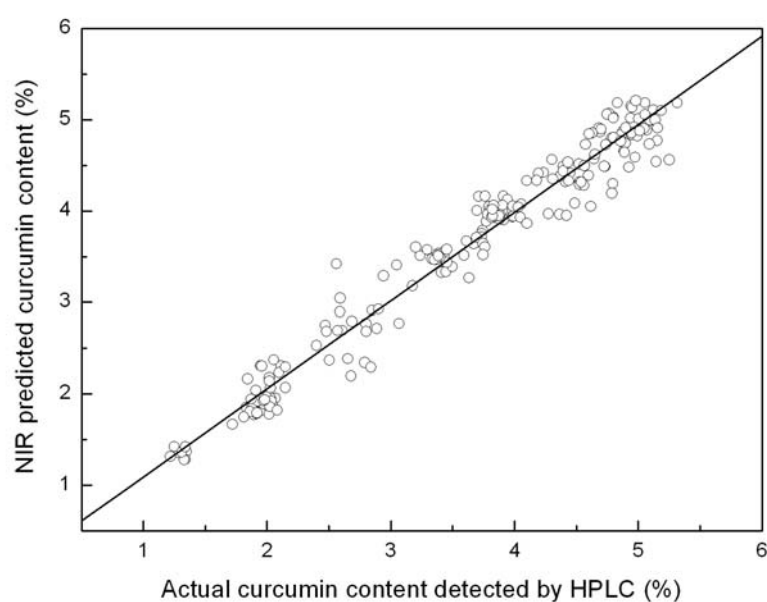
ดังนั้นการเตรียมตัวอย่างโดยการเทผงยาออกมาสแกน จะลดอิทธิพลจากชนิดแคปซูล ความหนาหรือความหนาของผงยาที่จะควบคุมได้ ทำให้ได้สเปกตรัมที่มีคุณภาพสัมพันธ์โดยข้อมูลที่ปรากฏในสเปกตรัมเปลี่ยนแปลงผันตามปริมาณเคอร์คูมินในตัวอย่างจริง เมื่อนำมาคำนวณสร้างสมการเทียบวิธี HPLC จึงได้สมการที่มีค่าสถิติดีอยู่ในระดับสามารถนำไปใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพได้ (William, 2007) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการนี้เพื่อพัฒนาสร้างสมการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันในชุดตัวอย่างต่อไป

7.2 สร้างสมการสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี NIRS โดยเลือกใช้การสแกนเก็บข้อมูลตัวอย่างที่เหมาะสมจากการทดลอง 7.1

การทดลองที่ 2 ได้เพิ่มทั้งจำนวนแคปซูล トラสินค้า และ lot ของยาสมุนไพรที่นำมาวิเคราะห์ ทำให้ตัวอย่างชุดนี้มีความหลากหลายสูง (variance) กว่าตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ดังนั้นตัวอย่างชุด calibration set ในการทดลองที่ 2 ทั้ง 208 ตัวอย่างจึงจัดว่าเหมาะสมในการนำมาสร้างสมการด้วยวิธี NIR (William, 2007) เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณสร้างสมการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินพบว่าสมการคำนวณจากสเปกตรัม NIR ที่ปรับแต่งด้วย MSC ให้ค่าทางสถิติดีที่สุด คือ สมการทำนายมีค่า R^2 สูงระดับ 0.96 ใช้ PC เป็น 11 และความผิดพลาดในการทำนายปริมาณต่ำสุด โดยเฉพาะเมื่อทดสอบด้วยชุด test set ได้ค่า RMSEP เป็น 0.20% (ตารางที่ 8) แม้ว่าค่าทางสถิติเหล่านี้โดยรวมอาจดูต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากสมการที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 1 ($R^2 = 0.99$, PC=7, RMSEP=0.13%) ความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นมาจากการใช้ชุดตัวอย่าง calibration set ที่มี variance มากกว่าเดิมนั่นเอง ซึ่งเป็นผลดีมากกว่าและค่าสถิติที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่แสดงถึงประสิทธิภาพการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC เมื่อเทียบกับวิธี NIRS ของสมการดังกล่าว มี regression line ที่ความชันสูงและลากผ่านตำแหน่งตัวอย่างดังภาพที่ 20

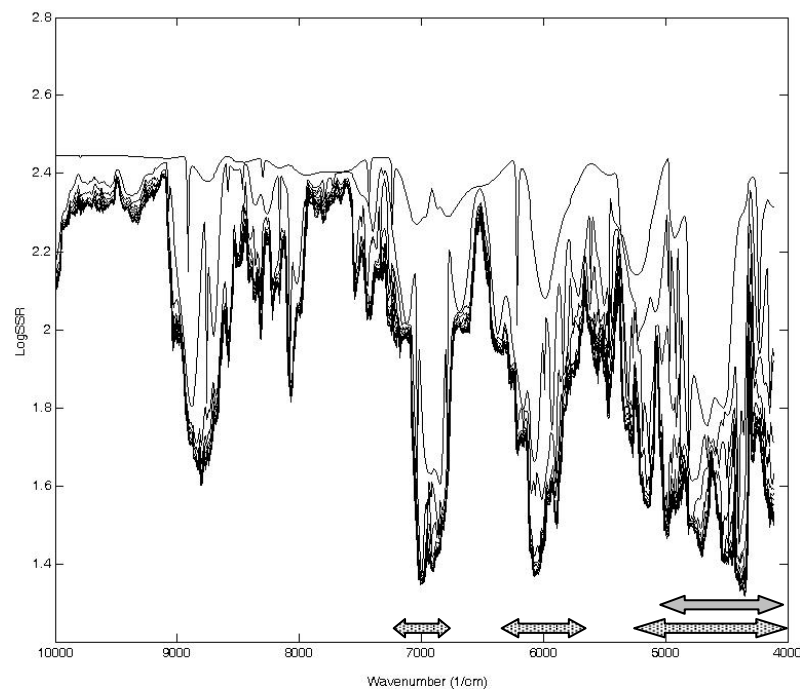
ตารางที่ 8 ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คูมินในผงยาขมิ้นชันบรรจุ glass vial ในช่วงความยาวคลื่น 10000 – 4000 cm^{-1} การทดลองที่ 2

Pretreatment	PC	Calibration		Full-Cross validation		Prediction of an independent test set	
		R^2	RMSEC (%dry wt.)	R^2	RMSECV (%dry wt.)	R^2	RMSEP (%dry wt.)
original	11	0.96	0.24	0.95	0.27	0.95	0.25
*MSC	11	0.96	0.22	0.96	0.24	0.97	0.20
Second derivative	11	0.95	0.26	0.93	0.30	0.93	0.30



ภาพที่ 20 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คูมินในยาขมิ้นชันที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากผงยาสมุนไพรขมิ้นชันที่บรรจุ glass vial สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งวิธี MSC ทั้งช่วงเลขคลื่น (แกน Y)

จากนั้นทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายปริมาณเคอร์คูมินในผงยาสมุนไพรขมิ้นชันให้ดียิ่งขึ้น โดยการศึกษาว่าช่วงเลขคลื่นใดจะเหมาะสมและให้สมการที่มีประสิทธิภาพการทำนายสูงสุด โดยผลเปรียบเทียบเมื่อสร้างสมการโดยใช้ข้อมูลสเปกตรัม NIR ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC (เลือกใช้ข้อมูลที่ปรับแต่งวิธี MSC ตามผลเปรียบเทียบในตารางที่ 8) ในระยะช่วงเลขคลื่นแตกต่างกัน คือ ทั้งช่วง และช่วงที่เลือกด้วยวิธี MWPLSR ซึ่งคำนวณโดยใช้ window size ขนาด 15 คอลัมน์ จำนวน 15 แพกเตอร์ (PC) จะได้กราฟระหว่างแกน x คือ ตำแหน่งเลขคลื่น ($1/\text{cm}$) และแกน y คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายปริมาณเคอร์คูมิน คือ log SSR (sum squares of residuals) ตามภาพที่ 21



ภาพที่ 21 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเลขคลื่น (แกน X) และค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมิน (แกน Y) ของสมการทำนาย PLS จากการคำนวณ MWPLSR ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผงยาขมิ้นที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC

↔ MWPLS; 7304 - 6600, 6400 - 5600, 5400 - 4000 cm^{-1} ↔ MWPLS; 5000 - 4000 cm^{-1}

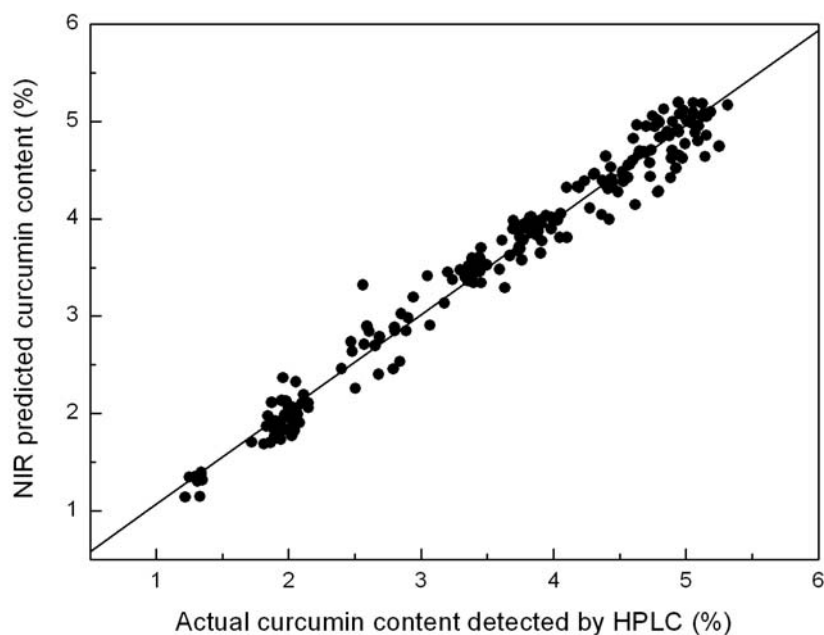
ภาพที่ 21 แสดงช่วงเลขคลื่นที่สัมพันธ์กับปริมาณเคอร์คูมิน โดยช่วงที่มีความสัมพันธ์มากจะให้ค่า Log SSR ต่ำ จากภาพจะเลือก 2 ช่วงมาใช้ในการคำนวณคือ ช่วงแรก เป็นการรวมระหว่าง 3 ช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 7304 - 6600, 6400 - 5600 และ 5400 - 4000 cm^{-1} และช่วงที่ 2 เป็นช่วงเดียวตั้งแต่ 5000 - 4000 cm^{-1} ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจะพบว่าช่วงที่ MWPLS แสดงดังกล่าวครอบคลุมช่วงข้อมูลสำคัญของโครงสร้างเคอร์คูมินทั้งสิ้น ได้แก่ 6850, 6000 and 4600 cm^{-1} ชนิด 2nd overtone ของหมู่ OH ใน enols ชนิด 1st overtone ของหมู่ CH stretching บน cyclic double bonds และ ชนิด 1st overtone ของหมู่ dienes (H-C=C) (Workman, 2007) ร่วมกับชนิด combination bands ของ curcumin benzene ring substituents (Kasemsumran *et al.*, 2010)

ตารางที่ 9 แสดงผลเปรียบเทียบค่าสถิติของสมการที่คำนวณโดยใช้ช่วงเลขคลื่นต่างกันนั้น เมื่อใช้ช่วงเลขคลื่นที่เลือกด้วยวิธี MWPLS รวมกัน 3 ช่วง คือ 7304 - 6600, 6400 - 5600 และ 5400 - 4000 cm^{-1} สมการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินที่ได้สามารถให้ค่าทางสถิติที่ดีกว่าสมการที่ใช้ช่วงเลขคลื่นอื่น นั่นคือ $R^2 = 0.97$ จำนวน PC = 14 และ ผลการทดสอบสมการด้วยชุด test set ให้ RMSEP เป็น 0.19% และค่า RPD (ratio of RMSEP to the SD) เป็น 6.11 ค่าสถิติระดับนี้บ่งบอกประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินนี้ว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั่วไปในระดับประกันคุณภาพ และ

ภาพที่ 22 แสดง correlation ระหว่างปริมาณที่ทำนายได้จากการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในผงยาขมิ้นชันด้วยเทคนิค NIR ที่สร้างจากสเปกตรัมปรับ MSC ในช่วงเลขคลื่นที่พบด้วยวิธี MWPLSR ทั้ง 3 ช่วง และปริมาณที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง HPLC

ตารางที่ 9 ค่าสถิติความสัมพันธ์ของสมการทำนายปริมาณเคอร์คูมินในผงยาขมิ้นชันบรรจุ glass vial เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้เลขคลื่นตลอดช่วงและที่เลือกช่วงเลขคลื่นด้วยวิธี MWPLSR

MSC-Pretreatment	PC	Calibration		Full-Cross validation		Prediction of an independent test set	
		R^2	RMSEC (%dry wt.)	R^2	RMSECV (%dry wt.)	R^2	RMSEP (%dry wt.)
Whole region 10000 - 4000	11	0.96	0.22	0.96	0.24	0.97	0.20
*MWPLS; 7304 - 6600, 6400 - 5600, 5400 - 4000	14	0.97	0.19	0.96	0.22	0.97	0.19
MWPLS; 5000 - 4000	13	0.97	0.21	0.96	0.24	0.96	0.22



ภาพที่ 22 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคอร์คูมินในยาขมิ้นชันที่วิเคราะห์ด้วย HPLC (แกน X) และที่วิเคราะห์ด้วยสมการทำนายวิธี NIRS จากผงยาสมุนไพรขมิ้นชันที่บรรจุ glass vial สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งวิธี MSC ในช่วงเลขคลื่นที่พบด้วยวิธี MWPLSR ตั้งแต่ 7304 - 6600, 6400 - 5600 และ 5400 - 4000 cm^{-1} (แกน Y)

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินในผงยาสมุนไพรขมิ้นชันด้วยการใช้แสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเทียบกับวิธีอ้างอิง HPLC สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการวิจัยพบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมเมื่อต้องการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในผงยาสมุนไพรขมิ้นชัน คือการบรรจุผงยาใน glass vial เพื่อสแกนวัด ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้กับยาในท้องตลาดได้ทุกรูปแบบ โดยให้สมการ calibration วิธี PLS สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันเมื่อเทียบกับวิธี HPLC ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปริมาณระดับดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั่วไปจนถึงระดับประกันคุณภาพ โดยปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี MSC และใช้ช่วงเลขคลื่นที่หาด้วยวิธี MWPLSR คือ 7304 - 6600, 6400 - 5600 และ 5400 - 4000 cm^{-1} ใช้จำนวน PC เป็น 14 สมการให้ค่า R^2 เป็น 0.97 ค่า RMSEP เป็น 0.19% dry wt. และค่า RPD เป็น 6.11

สมการ PLS สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทั่วไป ดังอธิบายในสมการที่ (1)

$$Y = \sum_i^k b_{i,j} X_{i,j} \quad (j = 1, 2 \dots n ; PC) , \quad (1)$$

Y = ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ที่ทำนายจากสมการ PLS ที่สร้างขึ้น

X = ข้อมูลสเปกตรัม NIRS ที่ไม่มีการปรับแต่ง

i = ลำดับข้อมูลที่เลขคลื่น NIRS เริ่มต้น

k = ลำดับข้อมูลที่เลขคลื่น NIRS สุดท้าย

j = แฟกเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างสมการ

b = regression coefficient. $b = W / (P^T W) Q$

เมื่อทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม NIRS คำนวณได้ X ใหม่ ดังนี้

ข้อมูลสเปกตรัม NIRS ที่ผ่านการทำ Pretreatment ด้วยวิธี MSC ดังสมการ;

$$X_{i, MSC} = (X_{iw} - a_i) / b_i$$

$$X_{iw} = a_i + b_i \bar{X}_{iw}$$

2. การศึกษาเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันบรรจุแคปซูลด้วยการใช้แสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเทียบกับวิธีอ้างอิง HPLC สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการสแกนเก็บข้อมูลยาผ่านแคปซูลโดยตรงยังไม่เหมาะสมทั้งในส่วนของคุณภาพของสเปกตรัมที่ได้และช่วงเลขคลื่นที่แคบเกินไป ทำให้ขาดช่วงที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเคอร์คูมินในตัวอย่าง ส่งผลให้สมการ calibration ที่ได้ให้ค่าสถิติ R^2 เป็น 0.60 ค่า RMSEP เป็น 0.61% wt. และค่า RPD เป็น 1.66 ค่าเหล่านี้ที่บ่งบอกถึงระดับความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์ต่ำ สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)

ดังนั้นหากประสงค์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ที่จะช่วยให้การวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในผลิตภัณฑ์ยาสามารถทำได้ 100% ทุกแคปซูล เมื่อมีสมการ calibration ที่พัฒนาจากวิธี NIR แล้วจะใช้เวลาวิเคราะห์รวดเร็วประมาณ 5 นาทีต่อตัวอย่าง ลดขั้นตอนการสกัดด้วยสารเคมีและการวิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธี HPLC ซึ่งจะใช้เวลาเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมงต่อตัวอย่าง ลดการใช้สารเคมี และไร้ขยะทางเคมีจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากผลการวิจัยการสแกนจากผงยาบรรจุในขวดแก้ว vial นอกจากจะให้สมการที่มีประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณได้ถูกต้องและแม่นยำระดับประกันคุณภาพแล้ว ยังช่วยแก้ปัญหาเนื่องจากความแตกต่างของลักษณะยา ได้แก่ ยาบรรจุในแคปซูล ยาเม็ด ยาผง เป็นต้น และควบคุมความแน่นของตัวอย่างได้เมื่ออัดในขวดแก้ว vial ทำให้สามารถใช้สมการ calibration เดียวกันได้ในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันทั้งที่บรรจุในแคปซูล ทำเป็นเม็ด หรือผง ลดความยุ่งยากและสิ้นเปลืองงบประมาณในการพัฒนาสมการแยกเฉพาะตามลักษณะตัวอย่างอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. ผลงานวิชาการประจำปี 2543. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด. กรุงเทพฯ. หน้า 241.
- กานดาว ณิชกาญจน์กุล. 2540. การผลิตและการใช้ประโยชน์จากขมิ้นชันผงและอิลีโอเรซิน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กานต์ดา บุญเถื่อน. 2556. สมุนไพรไทยในอาเซียน. แหล่งที่มา:
<http://eureka.bangkokbiznews.com/detail/530400>. 5 มกราคม 2557
- ขวัญใจ กนกเมธากุล. 2535. เคมีของผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ. ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- คณะอนุกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ. 2555. คู่มือการผลิตและประกันคุณภาพเภสัชตำรับ โรงพยาบาลจากสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติ พุทธศักราช 2555. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- รัชชัย สันติสุข. 2531. พันธุ์ไม้ป่าที่ให้น้ำมันหอมระเหยในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์ 32(2-3): 47.
- นาฏศิริ สุวรรณโรจน์, ศรีอัมพร ปรีเปรม, ตรเพชร กาญจนภูมิ และวราภรณ์ ภูตะลุน. 2542. คู่มือปฏิบัติการเภสัชเวทเล่มที่ 2. ภาควิชาเภสัชพฤกษศาสตร์และเภสัชวินิจฉัยคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นิจศิริ เรืองรังษี. 2542. เครื่องเทศ. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นันทวรรณ ฉิมพลี. 2549. การจำแนกสายพันธุ์ขมิ้นชันในประเทศไทยโดยใช้ **Microsatellite Markers**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นันทนา สิริชัย. 2547. มาตรฐานของสมุนไพรในตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย. วารสารสมุนไพร. 11: 21.
- ปรารธนา ไปเหนือ. 2556. สถานการณ์การผลิตพืช ปี 2555/56 ขมิ้นชัน. แหล่งที่มา:
<http://www.agriman.doae.go.th/home/news/of%20newsyear%202555.html>
 3 มกราคม 2557.
- พัฒนันรี. ม.ป.ป. สรรพคุณขมิ้นชัน. แหล่งที่มา:
<http://www.bookmuey.com/?page=TurmericProperties.html&admintool=no>
 2 มกราคม 2557
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ม.ป.ป. อุตสาหกรรมผลิตยาจากสมุนไพร. แหล่งที่มา:
<http://mis.rmutt.ac.th/sme/Details/InvestmentExamples/I086.doc>. 5 มกราคม 2557
- วันดี กฤษณพันธ์. 2537. สมุนไพรหน้ารู้. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. หน้า 81.
- วันดี กฤษณพันธ์. 2538. สมุนไพรสารพัดประโยชน์. ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย, คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 48.

- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2552. **หลักการพื้นฐานของสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดใกล้**, ใน เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมเกษตร พิมพ์ครั้งที่ 1 สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 2-1.
- สมชัย นิจนพานิช. ม.ป.ป. **แผนยุทธศาสตร์การพัฒนามันสำปะปารไทย: มันสำปะปารไทย-สินค้าโลก(พ.ศ. 2556-2560) การพัฒนามันสำปะปารไทยสู่ผลิตภัณฑ์สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจของประเทศไทย**. แหล่งที่มา: <http://bos.dtam.moph.go.th/admin/spaw2/uploads/files/bos-database002.doc>. 5 มกราคม 2557
- สมภพ ประธานธำรงค์, วงศ์สถิต นัวกุล, พร้อมจิต ศรีลัมพ์และนพมาศ สุนทรเจริญนนท์. 2543. **คุณภาพวัตถุดิบขมิ้นชันจากแหล่งต่างๆในประเทศไทย**. ในรายงานการสัมมนาเรื่องแนวทางการพัฒนามันสำปะปารของประเทศไทยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. บริษัทเฟื่องฟ้าพรินติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยมันสำปะปาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2544. **มาตรฐานมันสำปะปารไทยขมิ้นชัน**. โรงพิมพ์ ร. ส. พ., กรุงเทพมหานคร.
- สุภาภรณ์ ปิติพร. 2544. **ขมิ้นชันมันสำปะปารอภัยภูเบศรสืบสารภูมิปัญญาไทย**. โรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศร, ปราจีนบุรี. หน้า 30.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548. **การศึกษาวิจัยเศรษฐกิจมันสำปะปารไทยกรณีขมิ้นชัน**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/resech/edu_48.pdf. 2 มกราคม 2557
- หนังสือพิมพ์คมชัดลึก. 2552. **ขมิ้นชันตรัง 2 มันสำปะปารตัวใหม่ ระยะเวลาปลูกสั้นให้ผลผลิตสูง**. แหล่งที่มา: <http://www.komchadluek.net/detail/200907.html>. 10 พฤษภาคม 2553.
- องค์การเภสัชกรรม. 2553. **มิติใหม่ทางยาของแคปซูลสารสกัดขมิ้นชัน**. แหล่งที่มา: <http://www.vcharkarn.com/varticle/41422>. 2 มกราคม 2557
- อาทร รั้วไพบูลย์. 2545. **รายงานวิจัยโครงการวิจัยตลาดขมิ้นชันและกาวาเคเรีย**. ภาควิชาเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 6.
- อุดมลักษณ์ อุณจิตต์วรธนะ. 2534. **น้ำมันหอมระเหยจากพืชใช้เป็นวัตถุมีพิษ**. ข่าวสารวัตถุมีพิษ 18(3): 125.
- Atal, C.K. and B.M. Kapur. 1989. **Cultivation and Utilization of Aromatic Plants**. Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi.
- Chavalittumrong, P. and T. Dechatiwongse. 1988. **Quality evaluation of Turmeric**. Thai J.Pharm. Sci. 13(3): 317.
- Govindarajan, V. 1980. **Turmeric-chemistry, Technology and Quality**. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. CRC Press. Inc, Boca Raton.
- India AGRO Industry. 2005. **Turmeric**. Available: <http://www.agriculture-industry-india.com/spices/turmeric.html>. 12 January 2006.

- Inertsil Applications. 2012. **Analysis of Turmeric**. Data No.LA724-0811. InertSearch for LC. GL Science. Available: http://www.gls.co.jp/technique/inertsearch_lc/pdf/LA724.pdf. 15 January 2012.
- Joubert, E., M. Manley and M. Botha. 2006. **Use of NIRS for quantification of mangiferin and hesperidin contents of dried Green honeybush (*Cyclopiagenistoides*) plant material**. J. Arg Food Chem. 54: 5279.
- Kasemsumran, S., V. Keeratinijakal, W. Thanapase and Y. Ozaki. 2010. **Near infrared quantitative analysis of total curcuminoids in rhizomes of *Curcuma longa* by moving window partial least squares regression**. J. Near Infrared Spectrosc., 18: 263.
- Li, W., Y. M. Tsang, F. S. C. Lee, H. W. Leung and X. Wang. 2001. **Development of near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for rapid screening and authentication of Chinese material medica**. Anal. Sci. 17: a439.
- Niir board. n.d. **Hand Book on Spices**. Asia Pacific Business Press inc. 72 p.
- Osborne, B.G., T.Fearn and P.H. Hindle. 1993. **Practical NIR Spectroscopy with Application on Food and Beverage Analysis**. Longman Scientific & Technical. 217 p.
- Purseglove, J.W. , E.G. Brown, C.L. Green and S.R.J. Robbins. 1981. **Turmeric**. Species Vol II. Tropical Agriculture Series. Longman Inc., New York. 813 p.
- Rao, M. and V. Reddy. 1977. **Effect of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield of Turmeric (*Curcuma longa* L.)**. J. Plantation Crops. 5(1): 60.
- Rouseff, R. L. 1988. **High performance liquid chromatographic separation and spectral characterization of the pigments in turmeric and annatto**. J. Food Sci. 53(6): 1823.
- Rupe, H., G. Clar., A. Pfau and P.I. Plattner. 1934. **Volatile plant constituents II. Turmerone, the aromatic principle of turmeric oil** (in German). Helv.Chim.Acta. : 372.
- Shivashankar, S., Y. Lewis, C. Natarajan, N. Krishnamurthy, G. Mathew and E. Nambudiri. 1976. **Oil and oleoresin of turmeric**. Tropical Science. Central Food Technological Research Institute. India 18: 37.
- Srinivasan, K. R. 1953. **A Chromatographic study of the curcuminoid in *Curcuma longa* L.** J Pharm Pharmaco 5: 448.
- Tanaka, K., Y. Kuba, T. Sasaki, F. Hiwatashi and K. Komatsu. 2008. **Quantitation of curcuminoids in curcuma rhizome by near-infrared spectroscopic analysis**. J. Agric. Food Chem. 56: 8787.
- Tang, W. and G. Eisenbrand. 1992. **Chinese Drugs of Plant Origin**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

- Thai Herbal Pharmacopoeia. 1995. Vol. 1. **Khamin Chan**. Bangkok, Prachachon.
- Woo, Y-A., H-J. Kim, J. Cho and H. Chung. 1999. **Discrimination of herbal medicines according to geographical origin with near infrared reflectance spectroscopy and pattern recognition techniques**. J. Pharmaceut. Biomed. 21: 407.
- Woo, Y-A., H-J. Kim and J. Cho. 1999. **Identification of herbal medicines using pattern recognition techniques with near-infrared reflectance spectra**. Microchem J. 63: 61.
- Zhou, Q., S. Cai, J. Wang and S. Sun. 2001. **A rapid method to determine the harpagoside and cinnamic acid in *Radix Scrophulariae* by NIR spectroscopy**. Anal. Sci. 17: a443.
- Williams, P. C. 2007. **Statistic terms for evaluation of accuracy and precision**, in Near Infrared Technology in the Agriculture and Food Industries, 5th Ed., Ed by P. C. Williams and K. Norris, Am. Cereal Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN.
- Workman, J and Jr. L. Weyer. 2007. **Practice guide to interpretive Near Infrared Spectroscopy**. New York. CRC press.

Output

ส่งบทความตีพิมพ์ “Evaluation of Fourier Transform – Near Infrared Spectroscopic Measurements for the Quantification of Curcumin in Turmeric Herbal Medicines” by Sumaporn Kasemsumran, *et al.* ในวารสาร Journal of Near Infrared Spectroscopy อยู่ระหว่างขั้นตอนการ Review

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำโครงการไปใช้ประโยชน์

นำผลงานวิจัยบางส่วน ไปใช้ประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการเทคนิค Near Infrared Spectroscopy จัดโดยสถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี 2555