



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินคุณภาพของซอสพริกด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด

Quality Evaluation of Chili Sauce by Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

นามผู้วิจัย นางสาวธัญปณี สาร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธงชัย สุวรรณสิขณน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์วารุณี ธนะแพทย์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุมาพร เกษมสำราญ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินคุณภาพของซอสพริกด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด

Quality Evaluation of Chili Sauce by Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

โดย

นางสาวฐาปณี สาร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฐานปี สาร 2553: การประเมินคุณภาพของซอสพริกด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ธงชัย สุวรรณสิขณณ์, Ph.D. 163 หน้า

ซอสพริกเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย การพัฒนาวิธีการตรวจสอบคุณภาพของซอสพริกให้มีความรวดเร็ว สามารถยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากขึ้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการประยุกต์เทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด (NIRS) ซึ่งเป็นเทคนิคการตรวจสอบที่รวดเร็ว มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริก จากการเก็บตัวอย่างซอสพริก 180 ตัวอย่าง นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง near infrared (NIR) spectrometer ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร และทำการวัดค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณกรดทั้งหมด (TA) ค่า pH ค่าสี L*, a*, b*, C* และ h จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัม NIR ที่ผ่านปรับแต่งด้วยวิธีปรับเรียบแบบซาวิตซ์กี-โกเลย์ และข้อมูลจากการวัดค่าคุณภาพที่กล่าวมาข้างต้น มาสร้างสมการทำนายที่เหมาะสมด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR), the moving window partial least squares regression (MWPLSR) และวิธี the searching combination moving window partial least squares regression (SCMWPLSR) ผลการศึกษาพบว่า สมการทำนายที่สร้างจากวิธี SCMWPLSR เหมาะสมในการทำนายค่า RS, TS และ TSS โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.958, 0.982 และ 0.998 ตามลำดับ สำหรับสมการทำนายที่สร้างจากวิธี MWPLSR เหมาะสมในการทำนายค่า TA, pH, L*, a*, b*, C* และ h โดยให้ค่า R เท่ากับ 0.927, 0.747, 0.816, 0.773, 0.827, 0.811 และ 0.697 ตามลำดับ สำหรับการนำเทคนิค NIRS ประเมินปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ scoville heat units (SHU) โดยใช้ตัวอย่างซอสพริกจำนวน 100 ตัวอย่าง มาทำการวัดค่าทางเคมี และวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นปรับแต่งสเปกตรัม เช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ผลการศึกษาพบว่า สมการทำนายที่สร้างจากวิธี MWPLSR เหมาะสมในการทำนายปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU โดยให้ค่า R เท่ากับ 0.943 และ 0.915 ตามลำดับ ส่วนการนำ NIRS ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเผ็ด โดยใช้ตัวอย่างซอสพริกจำนวน 40 ตัวอย่าง ประเมินระดับความเผ็ดโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน และวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นปรับแต่งสเปกตรัม เช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง backpropagation artificial neural networks (BP-ANN) เหมาะสมในการทำนายความเผ็ด โดยรวม ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และ ความเผ็ดบริเวณลำคอ โดยให้ค่า R เท่ากับ 0.947, 0.946, 0.920 และ 0.930 ตามลำดับ จากผลการศึกษาทั้งหมด พบว่า เทคนิค NIRS เป็นเทคนิคการตรวจสอบที่รวดเร็ว สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพด้านความเผ็ดในซอสพริกได้

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Thapanee Sathorn 2010: Quality Evaluation of Chili Sauce by Near Infrared Spectroscopy (NIRS).
Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product
Development, Department of Product Development. Thesis Advisor:
Associate Professor Thongchai Suwonsichon, Ph.D. 163 pages.

Chili sauces are an important exported product of Thailand. Development of rapid quality measurement for chili sauce could be useful for improving product qualities. This study was aimed to apply near infrared spectroscopy (NIRS) as a rapid analysis method for evaluation chemical physical and heat qualities in chili sauce. Totally 180 chili sauces were scanned by near infrared (NIR) spectrometer in the region of 1100-2500 nm and were also analyzed to quantify the reducing sugar (RS), total sugar (TS), total soluble solids (TSS), total acidity (TA), pH, L*, a*, b*, C* and h. Both spectra data pretreated by Savitzky-Golay smoothing and analyte data were used to develop optimum calibration models by the partial least squares regression (PLSR), the moving window partial least squares regression (MWPLSR) and the searching combination moving window partial least squares regression (SCMWPLS). Results showed that the SCMWPLSR models were suitable models for predicting RS, TS and TSS with the correlation coefficient (R) values of 0.958, 0.982 and 0.998, respectively. For the MWPLSR models were suitable models for predicting TA, pH, L*, a*, b*, C* and h with the R values of 0.927, 0.747, 0.816, 0.773, 0.827, 0.811 and 0.697, respectively. For studying NIRS to predict capsaicin and scoville heat units (SHU) in chili sauces, 100 samples were analyzed and were scanned by NIR as mentioned above. Results showed that the MWPLSR models were also suitable models for predicting capsaicin and SHU with the R of 0.943 and 0.915, respectively. While NIRS for quantify heat sensation in chili sauces, 40 samples were evaluated by ten trained panelists and were scanned by NIR as mentioned above. Results showed that the back propagation artificial neural networks (BP-ANN) were suitable models for predicting overall heat intensity, tongue burn, oral cavity burn and throat burn with the R values of 0.947, 0.946, 0.920 and 0.930, respectively. This study showed that NIRS could be used for predicting chemical, physical and heat qualities in chili sauce.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ธงชัย สุวรรณสิขณน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์วารุณี ธนะแพสย์ และดร.ศุมาพร เกษมสำราญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ในระหว่างทำการวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ดร.ปิติพร ฤทธิเรืองเดช อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ ดร.พิสิษฐ์ ธรรมวิถี ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไข และให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการกายภาพ ห้องทดสอบทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร และเจ้าหน้าที่หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของซอสพริก ตลอดจนเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณที่ปรึกษาเอก และเพื่อนๆ ปรึกษาโททุกท่าน ที่ช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ น้องชาย และทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ฐาปนี สาร

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	121
สรุป	121
ข้อเสนอแนะ	124
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	125
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก มาตรฐานซอฟต์แวร์ของประเทศต่างๆ	134
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	147
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	155
ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส	158
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสงของซอฟต์แวร์ ด้วยเครื่อง NIR	160
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	163

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	หลักการเลือกสมการทำนาย โดยพิจารณาที่ค่าประสิทธิภาพต่างๆ	27
2	แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการทำนาย ด้วยค่า R	30
3	แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการทำนาย ด้วยค่า RPD	30
4	สภาวะที่ใช้สำหรับศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม	48
5	ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่างซอสพริกจำนวน 50 ตัวอย่าง	50
6	การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{cv} และค่า RMSECV ของสมการ PLSR ที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในซอสพริก ด้วยเทคนิค การปรับแต่งสเปกตรัมแบบต่างๆ	55
7	ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของตัวอย่างซอสพริกในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ และกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการ	56
8	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR หมู่ฟังก์ชัน และ โมเดลกุล ที่เกี่ยวข้องของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพในซอสพริก	65
9	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR และ SCMWPLSR ของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพในซอสพริก	66
10	การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพในซอสพริก	67
11	ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ของตัวอย่างซอสพริกในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ และกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการ	86
12	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR หมู่ฟังก์ชัน และ โมเดลกุล ที่เกี่ยวข้องของปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ในซอสพริก	89
13	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR และ SCMWPLSR ของปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ในซอสพริก	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในการทำนายค่าความเผ็ดทางเคมีในซอสพริก	91
15	คำอธิบายคำศัพท์ คำจำกัดความ ตัวอย่างอ้างอิง และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของซอสพริก	96
16	ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างซอสพริกในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ และกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการ	97
17	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR หมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก	101
18	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR และ SCMWPLSR ของคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก	102
19	การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในการทำนายค่าความเผ็ดทางประสาทสัมผัสในซอสพริก	103
20	ความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้ในกลุ่มของ 10 องค์ประกอบหลักแรก (10 PC แรก)	110
21	ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าระดับความเผ็ดโดยรวมในซอสพริก	112
22	ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ในการทำนายค่าความเผ็ดบริเวณลิ้นในซอสพริก	113
23	ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ในการทำนายค่าความเผ็ดบริเวณเพดานปากในซอสพริก	114
24	ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ในการทำนายค่าความเผ็ดบริเวณลำคอในซอสพริก	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของ สมการ MWPLSR และแบบจำลอง BP-ANN ในการทำนายค่าคุณภาพด้าน ความเค็มทางประสาทสัมผัสในซอสพริก	120
26	ช่วงข้อมูลค่าคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพด้านความเค็ม ของซอสพริก	122
ตารางผนวกที่		
ก1	มาตรฐานซอสพริกของประเทศไทย	135
ก2	มาตรฐานซอสพริกของประเทศมาเลเซีย	138
ก3	มาตรฐานซอสพริกของประเทศสิงคโปร์	140
ก4	มาตรฐานซอสพริกของประเทศเกาหลี	144

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการผลิตซอสพริก	7
2	โครงสร้างโมเลกุลของสารแคปไซซิน	8
3	เทคนิคการวัดตัวอย่าง (ก) Transmission (ข) Reflectance (ค) Transflectance และ (ง) Interactance	13
4	หลักการทำงานของเครื่อง NIR	14
5	(ก) สเปกตรัมเริ่มต้นเริ่มต้น และ (ข) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งโดยวิธี Smoothing	15
6	สเปกตรัมเริ่มต้นที่ผ่านการปรับแต่งโดยวิธี First derivative และวิธี Second derivative	16
7	(ก) สเปกตรัมเริ่มต้น และ (ข) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งโดยวิธี MSC	17
8	แผนภาพการสร้างสมการ โดยวิธีการเลือกช่วงความยาวคลื่นแบบ MWPLSR และ SCMWPLSR	20
9	แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม	23
10	Log-Sigmoid transfer function	24
11	Linear transfer function	24
12	ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพ โดยการหาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง NIR กับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพ และการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่ได้	42
13	ขั้นตอนการสร้างสมการวิธี PLSR วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR	43
14	ลักษณะสเปกตรัมของซอสพริกจำนวน 50 ตัวอย่างที่วัดได้จากเครื่อง NIR (ก) สเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (ข) สเปกตรัมช่วงความยาวคลื่น 1100-1934 นาโนเมตรและ 1948-2500 นาโนเมตร	51
15	ลักษณะสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างๆ ในตัวอย่างซอสพริก	52
16	ลักษณะสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Smoothing ของซอสพริกจำนวน 180 ตัวอย่าง	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ช่วงความยาวคลื่น (ส่วนที่แรงเงา) ที่ใช้สร้างสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก	58
18	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรงเงา) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายค่า (ก) ปริมาณกรดทั้งหมด (ข) ค่า pH (ค) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ง) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (จ) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ฉ) ค่าสี L* (ช) ค่าสี a* (ซ) ค่าสี b* (ฅ) ค่าสี C* และ (ญ) ค่าสี h ของซอสพริก	59
19	ปริมาณกรดทั้งหมดของซอสพริก (%w/w) โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1120-1250, 1600-1702 และ 2050-2418 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	76
20	ค่า pH ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1120-1200, 1600-1900 และ 2180-2260 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	77
21	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี SCMWPLSR ช่วง 1628-1766 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	78
22	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี SCMWPLSR ช่วง 1704-1880 และ 2272-2280 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี SCMWPLSR ช่วง 1516-1792 และ 2200-2288 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	80
24	ค่าสี L* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1480-1800 และ 2050-2350 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	81
25	ค่า a* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1310-1524 และ 1650-2030 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	82
26	ค่าสี b* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1480-1740 และ 2040-2350 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	83
27	ค่าสี C* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1330-1740 และ 1860-2230 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ค่าสี h ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1120-1250 และ 1700-1870 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	85
29	ช่วงความยาวคลื่น (ส่วนที่แรงงา) ที่ใช้สร้างสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra ในการทำนายปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ของซอสพริก	87
30	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรงงา) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายปริมาณแคปไซซินของซอสพริก	88
31	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรงงา) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายปริมาณ SHU ของซอสพริก	89
32	ปริมาณแคปไซซินของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1350-1450, 1500-1890 และ 2100-2420 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	93
33	ปริมาณ SHU โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1350-1450, 1600-1890 และ 2080-2420 นาโนเมตร(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	94
34	ช่วงความยาวคลื่น (ส่วนที่แรงงา) ที่ใช้สร้างสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra ในการทำนายคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก	98
35	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรงงา) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายค่า (ก) ระดับความเผ็ดโดยรวม (ข) ความเผ็ดบริเวณลิ้น (ค) ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และ (ง) ความเผ็ดบริเวณลำคอ ของซอสพริก	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	ระดับความเผ็ดโดยรวมของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1200-1650 และ 1850-2350 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	106
37	ความเผ็ดบริเวณลิ้นของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1200-1650 และ 1800-2300 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	107
38	ความเผ็ดบริเวณเพดานปากของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1230-1650 และ 1900-2300 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	108
39	ความเผ็ดบริเวณลำคอของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1230-1650 และ 1800-2300 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)	109
40	ค่า Loading weights ของสเปกตรัม NIR ในกลุ่มของ 10 องค์ประกอบหลักแรก (10PC แรก) โดยวิธี Principal component analysis (PCA)	111
41	แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 5 PC จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อนเท่ากับ 20 นิวรอน	116
42	แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 10 PC จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อนเท่ากับ 15 นิวรอน	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	ระดับความเค็มโดยรวมของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (actual value) โดยวิธีการสร้างสมการวิธี BP-ANN	118
44	ความเค็มบริเวณลิ้นของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (actual value) โดยการสร้างสมการวิธี BP-ANN	118
45	ความเค็มบริเวณเพดานปากของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (actual value) โดยการสร้างสมการวิธี BP-ANN	119
46	ความเค็มบริเวณลำคอของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (actual value) โดยการสร้างสมการวิธี BP-ANN	119
ภาพผนวกที่		
ข1	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) ยี่ห้อ EUTECH รุ่น Cyber Scan pH 510 ประเทศสิงคโปร์	149
ค1	เครื่อง Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่นmaster M ประเทศญี่ปุ่น	156
ค2	เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา	157
จ1	ตัวอย่างซอสพริกที่บรรจุใน Vial ก่อนนำไปควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)	161
จ2	เครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIR) ยี่ห้อ BRAN + LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500 ประเทศเยอรมนี	162
จ3	ช่องใส่หัววัด และหัววัดชนิด Dutch cup ของเครื่อง NIR	162

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

NIRS	=	Near infrared spectroscopy
PLSR	=	Partial least squares regression
MWPLSR	=	Moving window partial least squares regression
SCMWPLSR	=	Searching combination moving window partial least squares regression
BP-ANN	=	Back propagation artificial neural network
PCA	=	Principal component analysis
PC	=	Principal component
R_{cal}	=	Correlation coefficient of calibration
R_{cv}	=	Correlation coefficient of cross-validation
R_{val}	=	Correlation coefficient of validation
RMSEC	=	Root mean square error of calibration
RMSECV	=	Root mean square error of cross-validation
RMSEP	=	Root mean square error of prediction
RPD	=	The ratio of standard deviation of reference data in the validation set to SEP
MSC	=	Multiplicative scatter correction
1D	=	First derivative
2D	=	Second derivative
SHU	=	Scoville heat units

การประเมินคุณภาพของซอสพริกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด

Quality Evaluation of Chili Sauce by Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

คำนำ

ซอสพริกเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องจิ้มที่บริโภคควบคู่กับอาหารคาว เพื่อช่วยเพิ่มรสชาติให้อาหารมีความกลมกล่อม และนำรับประทานยิ่งขึ้น ปัจจุบันความนิยมบริโภคอาหารชาติต่างๆที่นิยมใช้ซอสพริกเป็นเครื่องปรุงมีแพร่หลายมากขึ้นกว่าในอดีต ทำให้มีผู้ผลิตออกมาจำหน่ายจำนวนมากหลายราย และอาจมีการปลอมแปลงซอสพริกที่มีหยื่อ ทำให้ผลิตภัณฑ์ขาดมาตรฐาน ส่งผลกระทบต่อตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพสินค้าทั้งทางด้านเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งวิธีการตรวจสอบเหล่านี้ต้องใช้ระยะเวลานาน สิ้นเปลืองสารเคมี และมีค่าใช้จ่ายสูง เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย โดยเฉพาะการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ Near Infrared หรือ เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) สามารถวิเคราะห์ทั้งการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณในตัวอย่างอาหาร และไม่ใช่อาหารได้ (Osborne *et al.*, 1986) ดังนั้นการใช้เทคนิค NIRS จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซอสพริก เนื่องจาก ทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการใช้สารเคมี และเนื่องจากในการจัดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ข้อมูลจาก NIRS จะต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างเป็นจำนวนมากการวิเคราะห์แบบหลายตัวแปร เช่น เครือข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks, ANN) วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) เป็นต้น จึงถูกนำมาใช้ร่วมกับเทคนิค NIRS เพื่อใช้ในการลดจำนวนตัวแปร และจัดกลุ่มอาหาร เช่น น้ำปลา (Ritthiruangdej, 2007)

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพเชิงปริมาณของผลิตภัณฑ์ซอสพริก ด้วยเทคนิค NIRS ร่วมด้วยการวิเคราะห์แบบหลายตัวแปร โดยการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแคปไซซิน ปริมาณ SHU ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติก ค่า pH ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในส่วนของค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ค่าความเข้มของสี (C*) ค่ามุมของสี (h) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเผ็ด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพซอสพริก
2. เพื่อสร้างสมการที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก
3. เพื่อสร้างสมการที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริก



การตรวจเอกสาร

ปัจจุบันความนิยมบริโภคซอสพริกมีปริมาณมากขึ้นทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งจะเน้นเรื่องคุณภาพของซอสพริกเป็นสำคัญ แต่การตรวจสอบคุณภาพโดยวิธีการทางมาตรฐาน (Standard methods) เป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน ดังนั้นจึงนำเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด (NIRS) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของซอสพริก เนื่องจากเทคนิค NIRS สามารถตรวจวัดค่าคุณภาพได้รวดเร็ว และแม่นยำ เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพของซอสพริกด้วยเทคนิค NIRS จึงขออธิบายรายละเอียดในเรื่องซอสพริก, เทคนิค NIRS, วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเทคนิค NIRS และการประยุกต์ใช้ NIRS ในอุตสาหกรรมเกษตร ดังนี้

ซอสพริก

ซอสพริก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพริกสดผสมกระเทียม น้ำส้มสายชู น้ำตาล เกลือ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมผัก ผลไม้ เครื่องเทศ หรือไม่กี่ได้ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547)

1. ลักษณะผลิตภัณฑ์

ซอสพริกเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องจิ้มที่บริโภคควบคู่กับอาหารคาว เพื่อช่วยเพิ่มรสชาติให้อาหารมีความกลมกล่อม และนำรับประทานมากยิ่งขึ้น ในอดีตการบริโภคซอสพริกไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก แต่ในปัจจุบันความนิยมบริโภคอาหารชาติต่างๆ ที่ใช้ซอสพริกเป็นเครื่องปรุงรสมีแพร่หลายมากขึ้น จึงมีผู้ผลิตออกมาจำหน่ายจำนวนมากรายในท้องที่ต่างๆ แต่ก็ยังเรียกชื่อกันจนติดปากว่าเป็นซอสพริกศรีราชาอันเป็นแหล่งกำเนิดของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้อยู่ ซอสพริกเป็นเครื่องปรุงรสที่รวมหลายรสผสมกันอยู่ทั้งความเปรี้ยว เค็ม หวาน และเผ็ด ลักษณะชั้นเป็นเนื้อเดียวกัน มีทั้งสีแดงและสีเหลือง ขึ้นอยู่กับชนิดของพริกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ และเนื่องจากพริกมีรสเผ็ดหากใช้ในปริมาณที่มากก็อาจจะให้รสที่เผ็ดมาก ดังนั้น ในการผลิตให้มีรสเผ็ดน้อยลงจึงอาจจะนำสิ่งอื่นๆ มาเป็นส่วนผสมด้วย เช่น มะเขือเทศ มะละกอ ฟักทอง โดยจะใช้อย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอย่างมาเป็นส่วนผสมร่วมด้วยก็ได้ เพื่อช่วยเพิ่มความข้นของซอส และทำให้ซอสมีสีเข้มสดใสมากขึ้น โดยไม่ต้องแต่งสีอีก แต่ถ้ายังได้สีที่ไม่สวยก็อาจใช้สีปรุงแต่งได้ ดังนั้นซอสพริกจึงมีทั้งซอสพริกล้วนคือซอสที่ทำจากพริกล้วนๆ และซอสพริกผสมคือ ซอสพริกที่มีผักหรือผลไม้ผสมอยู่ด้วย (วิชัย, 2521) นอกจากนี้ ซอสพริกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบันจึงแบ่ง

ออกเป็น 3 ชนิดคือ ชนิดเผ็ดมาก เผ็ดปานกลาง และเผ็ดน้อย (ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์, 2540)

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตซอสพริก

ส่วนประกอบหลักของซอสพริก ได้แก่ พริก กระเทียม น้ำตาลทราย น้ำส้มสายชู เกลือ นอกจากนี้อาจมีการเติมสารให้รสหวาน และสารให้สี กลิ่น รส ดังนี้ (ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์, 2540)

2.1 พริก ที่นิยมนำมาทำซอสพริกจะต้องเป็นพริกที่มีสีแดงจัดทั้งผล เพราะจะให้กลิ่นและรสที่ดีกว่าอาจเป็นพริกขี้หนูหรือพริกขี้ฟ้าแต่ที่ใช้มากที่สุดคือพริกขี้ฟ้า เนื่องจากมีปริมาณเนื้อพริกมากกว่าพริกขี้หนู ส่วนพริกขี้หนูนำมาใช้เพื่อแต่งความเผ็ดให้ซอสพริกมีความเผ็ดตามระดับที่ต้องการ โดยพริกขี้ฟ้าที่มีคุณภาพดีและโรงงานซอสพริกต้องการมากที่สุด คือ พริกพันธุ์บางช้าง เพราะผลพริกยาว เมล็ดน้อย เนื้อหนา และมีสีแดงจัด

2.2 กระเทียม การใช้กระเทียมเพื่อช่วยให้ซอสพริกมีกลิ่นหอมและมีรสชาติดียิ่งขึ้น โดยพันธุ์กระเทียมที่มีคุณลักษณะที่ดีและเหมาะสมที่จะใช้ทำซอสพริก ควรเป็นกระเทียมพันธุ์เบา เนื่องจากให้กลิ่นรสฉุนแรง เป็นการแต่งกลิ่นรสและเพิ่มปริมาณเนื้อของซอสพริก

2.3 สารให้รสหวาน นำมาใช้ปรุงแต่งอาหารโดยน้ำตาลที่ใช้กันทั่วไปจัดเป็นสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตที่พบในธรรมชาติ ในการทำซอสพริกน้ำตาลที่ใช้คือ ซูโครส หรือน้ำตาลทรายขาว นอกจากนี้ยังมีการใช้คอร์นไซรัป หรือกลูโคสไซรัปด้วย

2.4 น้ำส้มสายชู เป็นตัวให้กลิ่นรสและยังทำหน้าที่เป็นสารกันเสีย (Preservative) ด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ คือ กรดน้ำส้ม (Acetic acid) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดรสเปรี้ยวในซอสพริก น้ำส้มสายชูที่ใช้แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ น้ำส้มสายชูหมัก น้ำส้มสายชูกลั่น และน้ำส้มสายชูเทียม โดยน้ำส้มสายชูหมักจัดเป็นน้ำส้มสายชูที่กลิ่นรสดีที่สุด แต่เนื่องจากน้ำส้มชนิดนี้มีราคาแพง การผลิตในระดับโรงงานจึงนิยมใช้น้ำส้มสายชูกลั่นที่มีระดับคุณภาพรองลงมา

2.5 เกลือ ที่ใช้ในการทำซอสพริกเป็นเกลือป่นละเอียดที่ใช้ประกอบอาหารทั่วไป เป็นตัวเน้นกลิ่นรสของส่วนผสมอื่นๆ ทำให้ความหวานของน้ำตาลเด่นชัดขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียด้วย

2.6 วัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส วัตถุเจือปนอาหารที่ใช้เพื่อปรับความข้นหนืดได้แก่ แป้ง (Starch) ชนิดต่างๆ ส่วนใหญ่แล้วโมดิไฟด์สตาร์ช (Modified starch) เป็นแป้งที่มีการใช้มากที่สุด ซึ่งเป็นแป้งที่ทำจากแป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเหนียว เนื่องจากสามารถให้ความคงตัว และทนต่อความร้อนได้เป็นเวลานาน จึงเหมาะที่จะใช้กับซอสที่ข้นมากๆ เพราะไม่ทำให้เกิดเจล และการแยกชั้น (สิวาพร, 2546)

2.7 สารให้สีและกลิ่นรส ทำหน้าที่ให้สีแก่ผลิตภัณฑ์ เพื่อปรับปรุงให้ได้สีตามลักษณะที่ต้องการ สำหรับสารให้สีที่ใช้ในซอสส่วนใหญ่จะเป็น สีหรือน้ำมันจากปาปริก้า สำหรับสารให้กลิ่นรส จะเป็นพวกเครื่องเทศ เพื่อเพิ่มกลิ่นให้มีความหอมยิ่งขึ้น ซึ่งทั้งสารให้สีและกลิ่นรสจะใช้ในปริมาณที่ไม่มากนัก

2.8 น้ำและสารอื่นๆ สำหรับน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีการใส่สารให้ความเผ็ด (Capsaicinoides) ซึ่งเป็นสารให้ความเผ็ดที่สกัดมาจากพริก เพื่อเพิ่มความเผ็ดให้แก่ซอสพริก

3. กรรมวิธีการผลิตซอสพริก

การทำซอสพริกต้องใช้ปริมาณพริกมาก และต้องมีความเผ็ด ดังนั้น พริกที่นำมาใช้ควรมีขนาดใหญ่และมีความเผ็ดที่สม่ำเสมอ แต่พริกนั้นมาจากแหล่งวัตถุดิบและฤดูกาลที่แตกต่างกัน ทำให้พริกที่ได้มีสีและความเผ็ดต่างกัน เมื่อนำมาผลิตจะทำให้ซอสพริกมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการนำพริกมาแปรรูปเบื้องต้นก่อน โดยทำเป็นพริกคองเกลือ พริกคองน้ำส้ม หรือพริกแช่แข็ง ซึ่งจะช่วยควบคุมคุณภาพของพริกให้มีความสม่ำเสมอ โดยเฉพาะเรื่องปริมาณความเผ็ดของพริก

ขั้นตอนการผลิตซอสพริก แสดงดังภาพที่ 1 อธิบายได้ดังนี้ (ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์
ประยุกต์, 2540)

3.1 นำพริกซึ่งเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งได้แก่ พริกชี้หนู และพริกชี้ฟ้า มาคัดเลือก เด็ดก้าน
ออก แล้วนำไปล้างให้สะอาด และผึ่งให้แห้ง

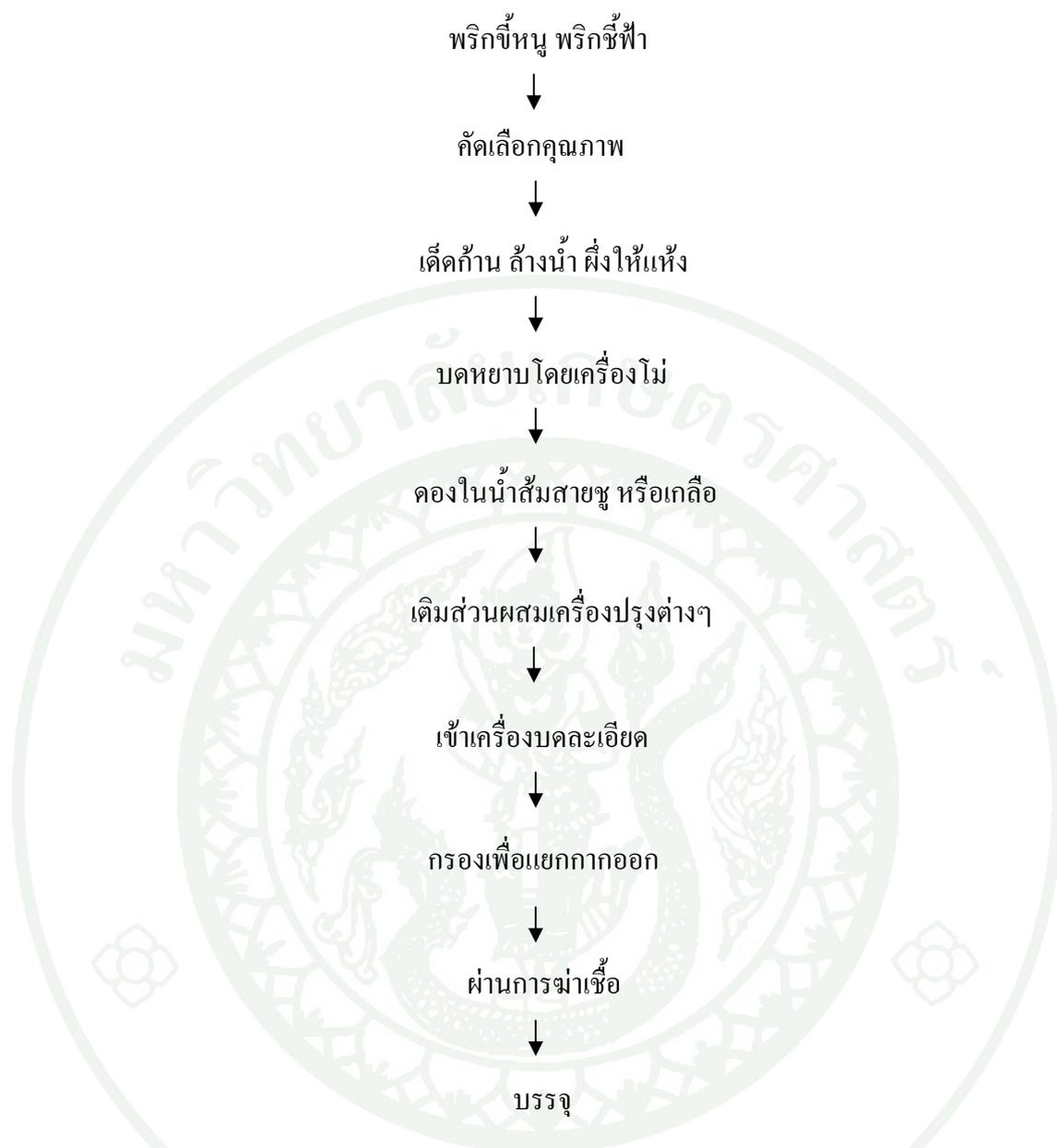
3.2 นำพริกที่ได้ไปแปรรูปเบื้องต้น ทำเป็นพริกคองเกลือ พริกคองน้ำส้ม โดยการนำไป
บดด้วยเครื่องโม่ แล้วนำไปคองในน้ำเกลือหรือน้ำส้ม ตามอัตราส่วนที่เหมาะสม

3.3 นำพริกที่ได้จากการคอง หรือการแปรรูปด้วยวิธีอื่นๆ มาผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ
ได้แก่ กระเทียม น้ำตาล น้ำส้มสายชู เกลือ และสารอื่นๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด

3.4 นำส่วนผสมทั้งหมดมาปั่นผสมรวมกัน แยกส่วนที่เป็นกากออกด้วยตะแกรง แล้วนำ
ซอสที่ได้ไปให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

3.5 บรรจุลงในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยบรรจุตัวอย่างในขณะร้อน

3.6 นำตัวอย่างที่บรรจุแล้วไปทำให้เย็น (Cooling) ตัดฉลากและบรรจุลงกล่อง แล้ว
นำไปจัดเก็บในสถานที่เก็บ



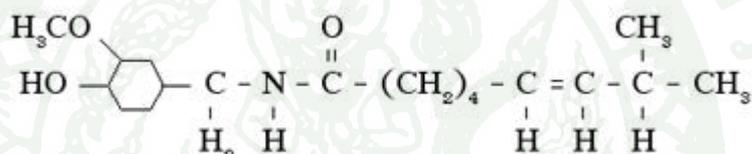
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตซอสพริก

ที่มา: ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ (2540)

4. สารที่ทำให้เกิดความเผ็ดร้อนในซอสพริก

4.1 สารที่ทำให้เกิดความเผ็ดร้อน

สารที่ทำให้เกิดความเผ็ดร้อนในพริกมีหลายชนิด ซึ่งจะเรียกรวมๆ ในชื่อกลุ่มของ แคปไซซินอยด์ (Capsaicinoids) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ตัว ได้แก่ สารแคปไซซิน (Capsaicin) สารไดไฮโดรแคปไซซิน (Dihydrocapsaicin) และสารนอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน (Nordihydrocapsaicin) โดยสารแคปไซซินมีปริมาณมากที่สุดถึง 69 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารธรรมชาติ จำพวกอัลคาลอยด์ (Alkaloid) มีชื่อทางเคมีว่า 8-methyl-n-vanillyl-6-noneamide สูตรโมเลกุลคือ $C_{18}H_{27}NO_3$ มีโครงสร้างโมเลกุล แสดงดังภาพที่ 2 (ชวนพิศ, 2550)



ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของสารแคปไซซิน

ที่มา: ชวนพิศ (2550)

4.2 วิธีการตรวจสอบค่าความเผ็ดของพริก

วิธีการตรวจสอบความเผ็ดของพริกนั้นมีวิธีการ อยู่ 2 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบทางเคมี และทางประสาทสัมผัส ดังนี้ (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551)

4.2.1 การตรวจสอบทางเคมี

ตัวอย่างพริกจะต้องผ่านการสกัด เพื่อแยกสารแคปไซซินอยด์ ที่มีอยู่ในพริก ออกมาก่อน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ซึ่งเมื่อรวม 3 องค์ประกอบหลักของ

แคปไซซินอยด์ (สารแคปไซซิน สารไดไฮโดรแคปไซซิน และสารนอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน) เข้าด้วยกัน สามารถคำนวณได้ออกมาในรูปของปริมาณความเผ็ดร้อน (Scoville Heat Units, SHU)

4.2.2 การตรวจสอบทางประสาทสัมผัส

การตรวจสอบทางประสาทสัมผัสมีหน่วยที่ใช้วัด คือ Scoville Heat Units (SHU) วิธีการนี้จะใช้ผู้ทดสอบชิมที่มีประสบการณ์ในการชิมตัวอย่าง ซึ่งเป็นสารละลายของพริกในน้ำตาลที่มีความเข้มข้นเจือจางต่ำสุดที่ผู้ทดสอบชิมสามารถชิมสารละลายของพริกในน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างๆจนกระทั่งผู้ทดสอบชิมไม่รู้สึถึงถึงความเผ็ด สารละลายพริกในน้ำตาลที่นำมาให้ผู้ทดสอบชิมนั้น ได้จากการปรุงระหว่างผลพริกบดกับสารละลายน้ำตาล หลังจากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นต่ำลงหลายๆความเข้มข้น แล้วนำสารละลายพริกในน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างๆนั้นให้ผู้ทดสอบชิม นำค่าคงที่ของการทำให้เจือจาง (Dilution factor) ของสารละลายพริกที่ผู้ทดสอบชิมสามารถชิมได้โดยที่ไม่รู้สึกเผ็ดมากำหนดหาค่า SHU โดย 1.5 Scoville Heat Units (SHU) มีค่าเท่ากับความเผ็ด 1 ส่วนในน้ำที่มาละลายล้านส่วน (ppm)

5. มาตรฐานขอสหพริกของประเทศต่างๆ

มาตรฐานขอสหพริกของประเทศต่างๆ ได้มีการจัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการผลิตขอสหพริกในประเทศนั้น โดยแบ่งออกเป็นมาตรฐานขอสหพริกของประเทศไทย มาตรฐานขอสหพริกของประเทศมาเลเซีย มาตรฐานขอสหพริกของประเทศสิงคโปร์ มาตรฐานขอสหพริกของประเทศเกาหลี แสดงดังตารางภาคผนวกที่ ก1 ก2 ก3 และ ก4 ตามลำดับ โดยจะพบว่า แต่ละประเทศมีเกณฑ์มาตรฐานแตกต่างกันออกไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีมาตรฐานวัดค่าคุณภาพที่สำคัญ ดังนี้

5.1 ค่าคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) ปริมาณกรดที่ระเหยได้ (Volatile acidity) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

5.2 ค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids) ค่าสี (Colour)

5.3 ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ยีสต์และรา (Total yeast and mould count)

5.4 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ กลิ่น (Odor) กลิ่นรส (Flavor) รสชาติ (Taste)

สุภางค์ (2548) ทำการศึกษาลักษณะทางคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค ที่มีต่อซอสพริกผสม จากการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคจำนวน 150 คน พบว่า ผู้บริโภคต้องการเนื้อซอสที่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีสีแดง มีความเผ็ดและข้นหนืดในระดับปานกลาง เมื่อทำการแปรอัตราส่วนระหว่างพริกชี้ฟ้าและพริกชี้หนุสวน ตั้งแต่ 100:0 ถึง 80:20 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดระหว่าง 29.9-32.0 °Brix ค่าความสว่าง (L*) ระหว่าง 29.07-32.62 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ระหว่าง 13.30-17.60 และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ระหว่าง 35.47-39.02 แล้วนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบจำนวน 40 คนด้วยวิธี 9-point hedonic scale (1=ไม่ชอบมากที่สุด, 9=ชอบมากที่สุด) โดยปัจจัยที่ทดสอบได้แก่ สี กลิ่นรส และความเผ็ด พบว่าอัตราส่วนของพริกชี้ฟ้าต่อพริกชี้หนุสวนที่ 90:10 ได้รับการยอมรับมากที่สุดทางด้านสี และความเผ็ด

Cherdchu *et al.* (2008) ศึกษาการจำแนกลักษณะความเผ็ดของผลิตภัณฑ์น้ำจิ้มไก่ ซึ่งน้ำจิ้มไก่นั้น เป็นเครื่องจิ้มที่มีลักษณะและส่วนประกอบที่ใกล้เคียงกับซอสพริก โดยการประเมินความเข้มของระดับความเผ็ดตามเวลา (Time-intensity) ใช้สเกล 0-15 ประเมินความเผ็ดทุก 5 วินาทีจนถึง 120 วินาที และเมื่อนำข้อมูลที่ได้อาจจัดกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) ร่วมกับการจำแนกกลุ่มด้วย Cluster analysis พบว่าองค์ประกอบหลัก 2 ปัจจัยแรก (2PCแรก) ซึ่งได้แก่ ปัจจัยด้านความเผ็ดโดยรวม และปัจจัยด้านอัตราการลดระดับความเผ็ด สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 92 เปอร์เซ็นต์ และใช้ในการอธิบายการจัดกลุ่มความเผ็ดได้ 4 รูปแบบคือ (1) ความเผ็ดน้อย มีอัตราการเกิดความเผ็ด และการลดระดับความเผ็ดค่อนข้างต่ำ (2) ความเผ็ดปานกลาง มีอัตราการเกิดความเผ็ด และการลดระดับความเผ็ดปานกลาง (3) ความเผ็ดปานกลาง มีอัตราการเกิดความเผ็ดปานกลาง และการลดระดับความเผ็ดสูงกว่าในกลุ่มที่ 2 และ (4) ความเผ็ดสูงที่สุด และตกค้างยาวนานมากที่สุด

Low *et al.* (2009) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางเคมีกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของซอสพริก จำนวน 75 ตัวอย่างที่จำหน่ายอยู่ในประเทศมาเลเซีย โดยค่าทางเคมีและกายภาพที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณแคปไซซิน (Capsaicin) ปริมาณไดไฮโดรแคปไซซิน (Dihydrocapsaicin) ปริมาณแคปไซซินอยด์ (Capsaicinoides) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids) ปริมาณน้ำตาล (Total sugar) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติก (Total acidity) และค่าสี (Red colour) ส่วนค่าทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น ความ

หนืด รสชาติ ความเผ็ด รสหวาน รสเปรี้ยวและความชอบโดยรวม พบว่า ความเผ็ดมีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณแคปไซซินอยด์ โดยมีค่า Correlation coefficient (R) มากกว่า 0.78 ความหนืดมีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาล โดยมีค่า R เท่ากับ 0.8088 และ 0.7122 ตามลำดับ ในส่วนของคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวม และรสชาติมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับปริมาณกรดทั้งหมด โดยมีค่า R เท่ากับ -0.7060 และ -0.6966 ตามลำดับ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ในการตรวจสอบคุณภาพของซอสพริก ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพในหลายค่า ทั้งทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน ใช้สารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้วจำนวนมาก ในส่วนของการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ต้องใช้ผู้ทดสอบร่วมในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งเพิ่มความยุ่งยากมากขึ้น ดังนั้น จึงได้มีการศึกษาเพื่อหาวิธีการอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว พบว่าเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในซอสพริกได้

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) คือ เทคโนโลยีเกี่ยวกับงานวิจัยและการวัดค่าคุณภาพด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด จัดเป็นเครื่องมือวัดค่าคุณภาพทางอ้อมโดยไม่ทำลายตัวอย่างที่นำมาวัดค่า จุดแข็งของการวัดค่าและการประเมินคุณภาพโดยวิธีนี้ กล่าวคือ เชื่อถือได้ รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง วัดค่าได้ต่อเนื่อง และประเมินผลได้แม่นยำ (Williams, 2007)

1. หลักการพื้นฐานของเทคนิค NIRS

แสงอินฟราเรด (Near Infrared) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร โดยมีหลักการ คือ เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุแล้วสารเกิดการดูดกลืนแสง ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆจะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ และเปลี่ยนจากสภาวะพื้น (Ground vibration

level) คู่สภาวะกระตุ้น (Excited vibration level) แต่เมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้ามาออกไปในรูปพลังงานความร้อน เป็นไปตามกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert) ที่กล่าวว่า พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne *et al.*, 1986) โดยสารอินทรีย์ที่สามารถเกิดขึ้นในลักษณะนี้ คือ สารอินทรีย์ที่โมเลกุลประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน (X-H) อะตอม เช่น พันธะ O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล พันธะ N-H พบในโปรตีน พันธะ C-H พบในน้ำมัน (นิพนธ์, 2545)

2. เทคนิคการวัดด้วยเครื่อง Near Infrared spectrometer (NIR)

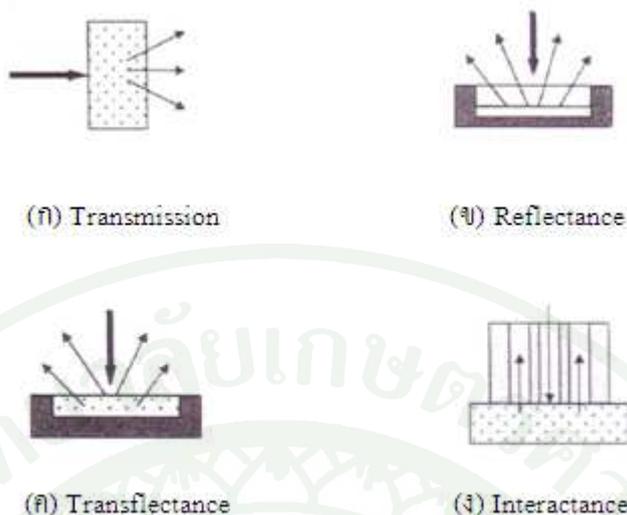
เป็นการจัดลักษณะการวางตัวอย่างในเครื่อง NIR มีเทคนิคดังนี้ (ศุมาพร, 2545)

2.1 Transmission แสง NIR ตกกระทบตัวอย่างด้านหนึ่ง โดยที่ดีเทคเตอร์ (detector) จะวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ แสดงดังภาพที่ 3 (ก)

2.2 Reflectance แสงจะตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง แสงที่สะท้อนจากผิวของตัวอย่างจะถูกวัดโดยดีเทคเตอร์ ซึ่งอาจรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างใกล้ผิวของตัวอย่างอีกด้วย แสดงดังภาพที่ 3 (ข)

2.3 Transflectance แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง แสงส่วนที่ผ่านตัวอย่างจะลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิกก ทอง หรืออลูมิเนียมที่อยู่ด้านหลัง แล้วเกิดการสะท้อนกลับออกมายังดีเทคเตอร์ แสดงดังภาพที่ 3 (ค)

2.4 Interactance กระบวนการนี้เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้ หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optics probe) แสงเนียร์อินฟราเรดจะออกมาจากส่วนวงแหวนด้านนอกของหัววัดมาตกกระทบกับตัวอย่าง และแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างจะถูกส่งไปที่ดีเทคเตอร์บริเวณส่วนกลางของใยแก้วนำแสง แสดงดังภาพที่ 3 (ง)

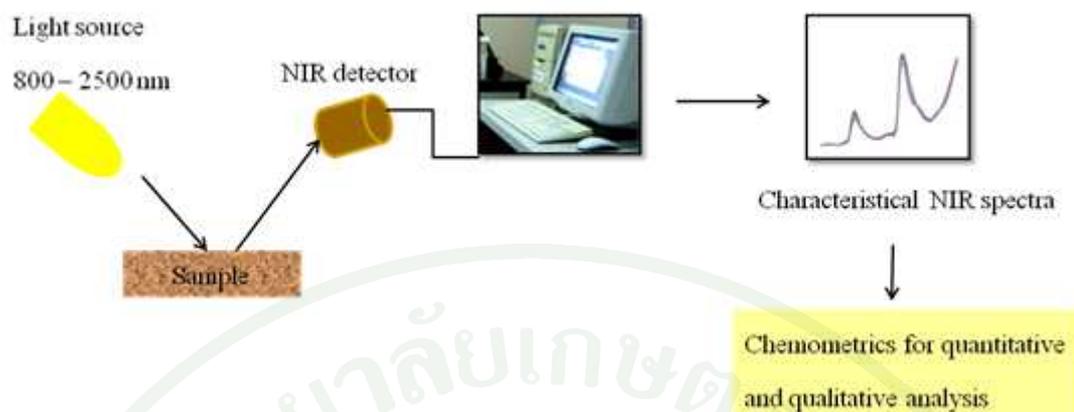


ภาพที่ 3 เทคนิคการวัดตัวอย่าง (ก) Transmission (ข) Reflectance (ค) Transflectance และ (ง) Interactance

ที่มา: สุมาพร (2545)

3. หลักการทำงานของเครื่อง NIR

เครื่อง NIR มีหลักการทำงาน แสดงดังภาพที่ 4 โดยเริ่มจาก คลื่นแสงจากแหล่งกำเนิด (Light source) ส่องผ่านมาตรฐานทาบลงบนตัวอย่าง แล้วทำให้โมเลกุลของสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง เกิดการสั่นและดูดกลืนคลื่นแสงไว้บางส่วน แสงส่วนที่เหลือจะสะท้อนหรือส่องผ่านจากตัวอย่างออกไปยังตัวรับแสง (NIR detector) ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปยังคอมพิวเตอร์ แล้วคอมพิวเตอร์จะทำการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของสเปกตรัม (NIR spectrum) จากนั้นนำข้อมูลการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทาง Chemometric ในการวิเคราะห์ค่าคุณภาพเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) (Ritthiruangdej, 2006)



ภาพที่ 4 หลักการทำงานของเครื่อง NIR

ที่มา: คัดแปลงจาก Ritthiruangdej (2006)

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเทคนิค NIRS

ในการสร้างสมการสำหรับทำนายค่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (ธงชัย, 2550)

1. ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย

เป็นขั้นตอนในการสร้างสมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าองค์ประกอบที่ต้องการทราบ เรียกขั้นตอนนี้ว่า การทำแคลิเบรชัน (Calibration) และสมการที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า สมการแคลิเบรชัน หรือสมการทำนาย โดยขั้นตอนนี้แบ่งได้เป็น 1.1) การกำหนดตัวแปร 1.2) การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ และ 1.3) การสร้างสมการแคลิเบรชัน ดังนี้

1.1 การกำหนดตัวแปร ประกอบด้วย

1.1.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variables) หรือ ตัวแปร X คือ ค่าที่อ่านได้จากสเปกตรัม NIR (NIR data) เช่น ค่า $\text{Log}(1/R)$

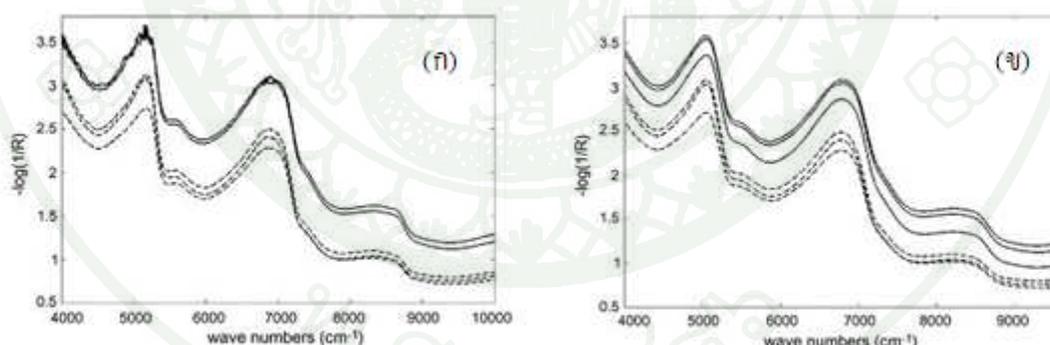
1.1.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) หรือ ตัวแปร Y คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยวิธีมาตรฐาน (Standard methods) เช่น ปริมาณกรดทั้งหมดในซอสมะเขือเทศที่วิเคราะห์โดยวิธี ไทเทรชัน (Titration) (Pedro and Ferreira, 2007)

1.2 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์

สเปกตรัม NIR เกิดจากการรวมกันของโอเวอร์โทน และคอมบินชันของกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ ทำให้สเปกตรัมมีความซับซ้อนมาก (อนุพันธ์, 2545) นอกจากนี้ยังมีแหล่งความแปรปรวนอื่นๆ ที่จะบิดเบือนข้อมูลขององค์ประกอบทางเคมีที่สนใจ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ เพื่อกำจัดความแปรปรวนดังกล่าว โดยใช้เทคนิคต่อไปนี้

1.2.1 เทคนิคในการลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ วิธีการปรับเรียบแบบซาวิตซ์กี-โกเลย์ (Savitzky-Golay smoothing) โดยใช้กับข้อมูลสเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวนมาก แต่ต้องการให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปร่างของสเปกตรัมเหมือนสเปกตรัมเริ่มต้น แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 (ก) สเปกตรัมเริ่มต้น และ (ข) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่ง โดยวิธี Smoothing

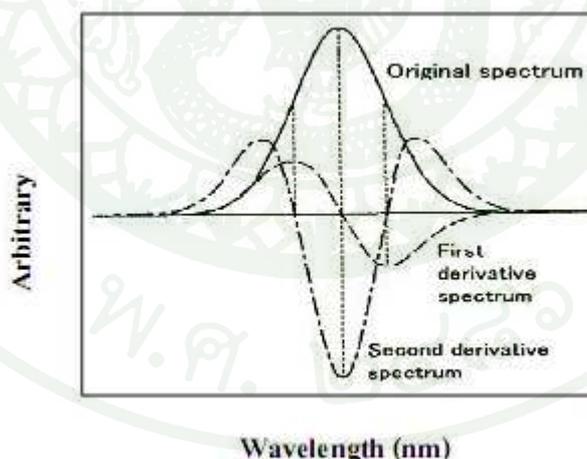
ที่มา: Pedro and Ferreira (2007)

1.2.2 เทคนิคในการลดผลกระทบจากปัจจัย

ปัจจัยหลักๆที่มีผลกระทบต่อสเปกตรัมเช่น ขนาดของอนุภาค ขนาดของตัวอย่าง และอุณหภูมิ โดยมีวิธีการที่นิยมใช้เพื่อลดผลกระทบดังกล่าวอยู่ 3 วิธี ดังนี้

ก. วิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First derivative) เป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัม เปรียบเสมือนเป็นการนำค่า $\log(1/R)$ ที่ความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกัน 2 ค่ามาลบกัน โดยให้ความหมายเป็นค่าความชันของสเปกตรัมที่แต่ละความยาวคลื่น แสดงดังภาพที่ 6 วิธีนี้ใช้ได้ผลดีกับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอ เช่น แป้งสาลีที่บดจนละเอียด และมีการกระจายตัวของอนุภาคสม่ำเสมอทั่วถึง

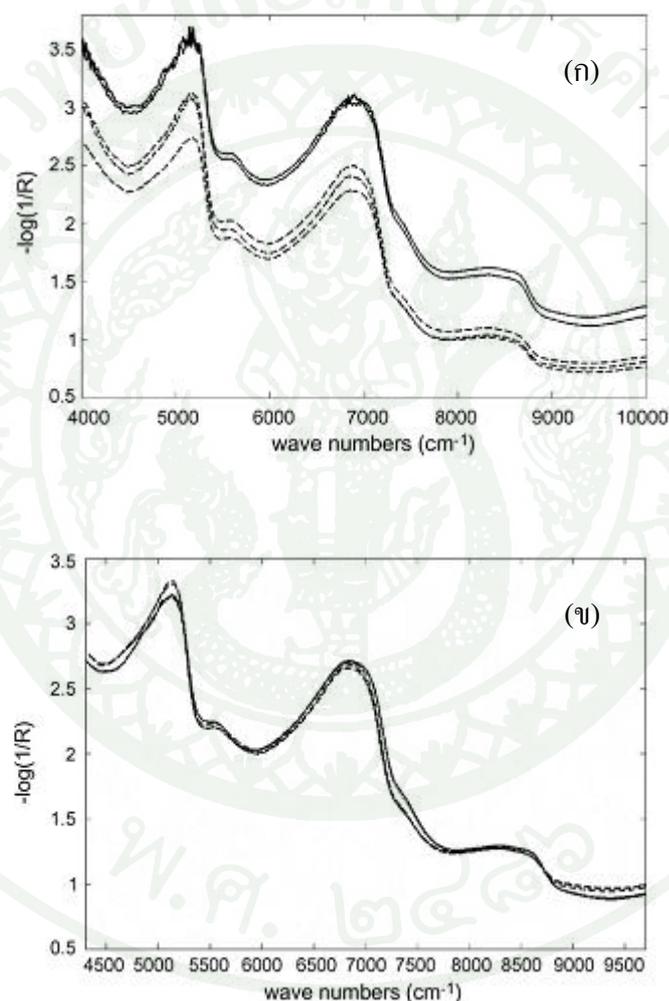
ข. วิธีอนุพันธ์อันดับสอง (Second derivative) เป็นวิธีการแก้จุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันในสเปกตรัมออกจากกัน เช่นเดียวกับวิธี First derivative แต่วิธี Second derivative จะได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากว่า Second derivative จะให้จุดยอดตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเดิม แต่จะเป็นจุดยอดที่กลับหัว แสดงดังภาพที่ 6 วิธีนี้ใช้ได้ผลดีกับตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคต่างๆปนกันอยู่



ภาพที่ 6 สเปกตรัมเริ่มต้นที่ผ่านการปรับแต่งโดยวิธี First derivative และวิธี Second derivative

ที่มา: Kawano and Saranwong (2004)

ค. วิธี Multiplicative scatter correction (MSC) เป็นวิธีที่สร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจากการกระเจิงแสงต่อสเปกตรัม NIR และลดผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น โดยการกระเจิงแสงทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป วิธีการของ MSC คือการหามุมสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมดให้มากที่สุด โดยรูปร่างของสเปกตรัมหลังการใช้วิธี MSC แล้วจะมีรูปร่างไม่แตกต่างจากสเปกตรัมก่อนการปรับแก้มาก แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 (ก) สเปกตรัมเริ่มต้น และ (ข) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งโดยวิธี MSC

ที่มา: Pedro and Ferreira (2007)

Pedro and Ferreira (2007) ศึกษาวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Average Smoothing, วิธี MSC, วิธี First derivative และวิธี Second derivative ในสมการ PLS2 ที่ใช้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (Total acidity) ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเข้มข้นพบว่า วิธี Average smoothing ตามด้วยวิธี MSC ให้ประสิทธิภาพในการทำนายดีที่สุด เนื่องจากสเปกตรัมมีปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวน และสเปกตรัมทั้งหมดมีค่าลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น โดยสมการ PLS2 ใช้ 4 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (R_{val}) และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายด้วยกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (RMSEP) เท่ากับ 0.982 และ 0.830 ตามลำดับ

1.3 การสร้างสมการทำนาย

สิ่งสำคัญในการสร้างสมการทำนายคือ การหาตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้คือ ความยาวคลื่น) ที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตาม (ตัวแปร Y ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้คือ ค่าคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส) ที่ต้องการทำนาย มีวิธีที่ใช้ในการสร้างสมการดังนี้

1.3.1 วิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full spectra

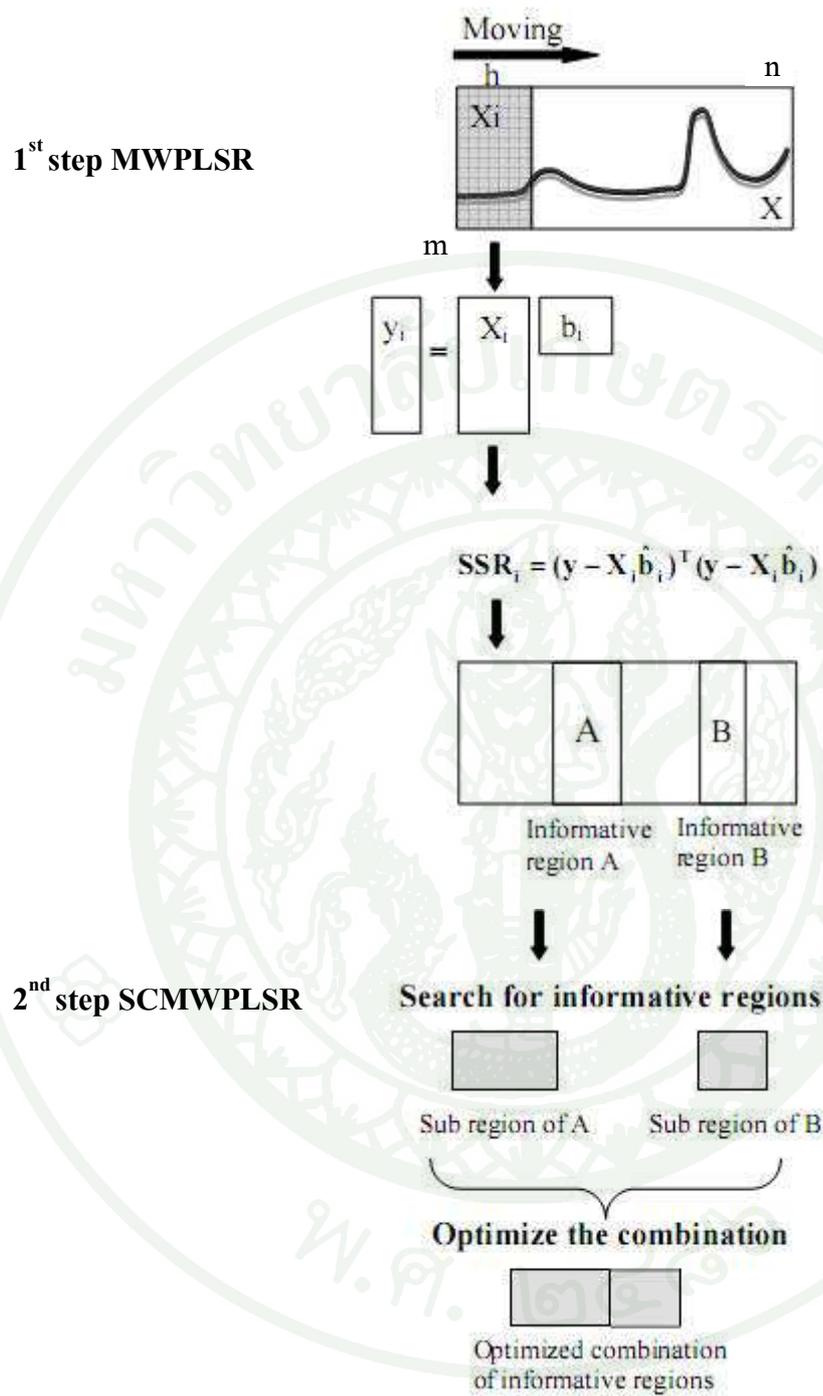
เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัมให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับค่าคุณภาพที่จะถูกนำมาใช้ในการทำนาย เพื่อให้สามารถประเมินค่าได้ถูกต้องมากขึ้น เป็นการนำข้อมูลความยาวคลื่นทั้งหมดมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร X แล้วนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y จากนั้นสร้างแฟกเตอร์แบบสมการเชิงเส้นตรง แล้วนำแฟกเตอร์ที่ได้ไปใช้สร้างสมการถดถอย แต่การสร้างสมการ PLSR โดยใช้ความยาวคลื่นทั้งหมดเป็นการนำข้อมูลทั้งหมดของความยาวคลื่นมาใช้ในการทำนายค่าคุณภาพ ซึ่งอาจใช้ช่วงที่ไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ต้องการทำนาย (Non informative region) ทำให้สมการมีประสิทธิภาพในการทำนายน้อยลง ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการพัฒนาวิธีการคัดเลือกช่วงความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ต้องการทำนาย

1.3.2 วิธี Moving Window Partial Least Squares Regression (MWPLSR)

วิธี MWPLSR พัฒนาโดย Jiang *et al.* (2002) เป็นขั้นตอนแรกในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย โดยนำความยาวคลื่นทั้งหมด และค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่ง Kasemsumran (2005) ได้อธิบายว่า วิธี MWPLSR คือวิธีการเลือกช่วงความยาวคลื่นสำหรับวิเคราะห์สเปกตรัมที่มีความซับซ้อน เนื่องจากเป็นตัวอย่างของสเปกตรัมที่มีหลายองค์ประกอบ โดยกำหนดให้มี 1 หน้าต่างสเปกตรัมขนาด X_i (X_i data point) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด m แถว h คอลัมน์ แล้วให้หน้าต่างสเปกตรัมเคลื่อนที่ไปที่ละ 1 data point ตลอดช่วงความยาวคลื่น ตำแหน่งข้อมูลที่หน้าต่างสเปกตรัมเคลื่อนที่ไปถึงก็จะนำไปสร้างสมการด้วยวิธี PLSR ที่ค่าแฟกเตอร์ต่างๆ และทำการบันทึกค่าเฉลี่ยของค่า SSR (Sum Squared of Residual) ในแต่ละหน้าต่างสเปกตรัมที่แต่ละแฟกเตอร์จากสมการ PLSR ที่ได้ จากนั้นนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log(SSR)$ ที่แต่ละความยาวคลื่น โดยกราฟแต่ละเส้นแสดงค่า $\log(SSR)$ ที่ได้จากการคำนวณในแต่ละแฟกเตอร์ ทำการคัดเลือกความยาวคลื่น โดยเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ให้ค่า $\log(SSR)$ ต่ำ จากนั้นกำหนดให้ช่วงความยาวคลื่นที่คัดเลือกได้เป็นตัวแปร X นำมาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนายซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR

1.3.3 วิธี Searching combination moving window partial least squares regression (SCMWPLSR)

วิธี SCMWPLSR พัฒนาโดย Du *et al.* (2004) เป็นขั้นตอนที่สองในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย โดยนำช่วงความยาวคลื่นที่ได้จากการทำ MWPLSR และค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนายมากขึ้น จากนั้นกำหนดให้ช่วงความยาวคลื่นที่คัดเลือกได้เป็นตัวแปร X นำมาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนายซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แผนภาพการสร้างสมการ โดยวิธีการเลือกช่วงความยาวคลื่นแบบ MWPLSR และ SCMWPLSR

ที่มา: คัดแปลงจาก Ritthiruangdej (2006)

Kasemsumrang *et al.* (2005) ศึกษาการทำนายปริมาณกลูโคสในเลือด ด้วยเครื่อง NIR และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายในการสร้างสมการทำนายวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR พบว่า การสร้างสมการทำนายด้วยวิธี SCMWPLSR ให้ประสิทธิภาพการทำนายดีที่สุด โดยใช้จำนวนแฟกเตอร์น้อย ได้ค่า R สูง และค่า RMSECV ต่ำ เนื่องจากเป็นการใช้เฉพาะช่วงความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับพันธะ O-H และพันธะ C-H ที่มีอยู่ในกลูโคส เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ritthiruangdej (2006) ที่ได้ศึกษาการทำนายค่าคุณภาพเรื่อง ปริมาณไนโตรเจน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความหนาแน่นจำเพาะ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำปลา ด้วยเครื่อง NIR พบว่า สมการทำนายด้วยวิธี SCMWPLSR ให้ประสิทธิภาพการทำนายดีที่สุดในทุกค่าทำนาย

1.3.4 วิธีเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN)

เครือข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองเอมพิริคัลชนิดหนึ่งที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ โดยเรียนรู้จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาแล้ว และจัดจํารูปแบบการตอบสนองเพื่อใช้ในการทำนายผลของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ ANN จึงสามารถแก้ไขปัญหามีความยุ่งยากซับซ้อนมากๆ ได้ ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้งานระบบ ANN นอกจากนี้ ANN สามารถแก้ไขปัญหาที่ไม่จำเป็นต้องมีนิยามที่เด่นชัดเหมือนปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ทั่วไป และไม่ต้องทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรในปัญหา แต่มีข้อเสียตรงที่ระบบ ANN ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการเรียนรู้แบบจำลอง แก้ไขปัญหาเฉพาะที่มีการรวบรวมชุดตัวอย่างของปัญหา และคำตอบเอาไว้ และระบบจะทำการปรับปรุงข้อมูลภายใน โดยการเลือกพารามิเตอร์ เช่น จำนวนของหน่วยประสาทในชั้นซ่อน (Hidden nodes) จำนวนชั้นซ่อน (Hidden layer) น้ำหนักเริ่มต้น (Initial weight) ซึ่งทำได้ยาก เนื่องจากไม่มีทฤษฎีที่สามารถบอกได้ว่าต้องใช้พารามิเตอร์ดังที่กล่าวมาด้วยค่าเริ่มต้นที่เท่าไร จึงจำเป็นต้องประมาณค่าเริ่มต้นต่างๆเอง (Fausett, 1994)

ก. แบบจำลองของเครือข่ายประสาทเทียม

โดยแบบจำลองของเครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยหน่วยประสาทในแต่ละชั้น และการเชื่อมติดต่อกันภายในระหว่างชั้น แสดงดังภาพที่ 9 ดังนี้ (รวีพิมพ์, 2551)

1) ชั้นรับข้อมูล (Input layer)

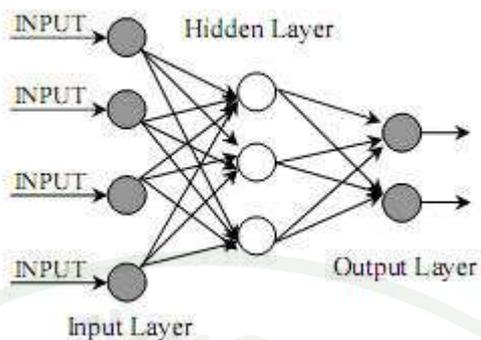
ชั้นรับข้อมูลเป็นชั้นแรกในแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย หน่วยรับข้อมูล (Input nodes) ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายประสาทเทียม

2) ชั้นแสดงผล (Output layer)

ชั้นแสดงผลเป็นชั้นสุดท้ายในแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยหน่วยแสดงผล (Output nodes) ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์

3) ชั้นซ่อน (Hidden layer)

ชั้นซ่อนอยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลและชั้นแสดงผล ประกอบด้วย หน่วยประสาทซ่อน (Hidden nodes) ทำหน้าที่ในการรวบรวม Input และ Weight เพื่อแปลงให้เป็น ผลลัพธ์ และส่งผลลัพธ์ไปยังชั้นแสดงผล ซึ่งชั้นซ่อนมีได้หลายชั้นตามความเหมาะสมของปัญหาที่นำมาวิเคราะห์ แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทย่อยเกินไป จะทำให้แบบจำลองไม่สามารถเรียนรู้สิ่งที่ยากได้ (Underfitting) ในทางกลับกัน ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทมากเกินไป (Overparameterization) จะทำให้แบบจำลองเกิดการจดจำกับข้อมูลชุดฝึกฝนมากเกินไป นอกจากนี้จะทำการคำนวณผลซ้ำแล้ว ยังทำให้ความสามารถในการใช้งานทั่วไปต่ำ (Overfitting) จึงต้องทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลองที่มีจำนวนชั้นซ่อน และจำนวนหน่วยซ่อน ต่างๆกัน ว่าต้องมีจำนวนเท่าไรถึงจะให้ประสิทธิภาพในการคำนวณดีที่สุด จากการศึกษาของ รพีพร (2551) ในการสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ทำนายปริมาณ Water activity ใน มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง ที่จำนวนชั้นซ่อน (Hidden layer) 2 ระดับคือ 1 และ 2 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อน (Hidden node) 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 นิวรอน พบว่า ที่จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อน 5 นิวรอน ให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (MSE) มีค่าน้อยที่สุด แต่เมื่อทำการเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทซ่อนมากขึ้น และเพิ่มจำนวนชั้นซ่อน ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดต่ำลง ในขณะที่สร้างสมการทำนายค่าความชื้น แบบจำลองที่เหมาะสมใช้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อน 20 นิวรอน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากจำนวนชั้นซ่อน และจำนวนหน่วยประสาทซ่อนที่จะใช้ในเครือข่ายประสาทเทียมขึ้นอยู่กับชนิดของปัญหา



ภาพที่ 9 แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

ที่มา: Ritthiruangdej (2006)

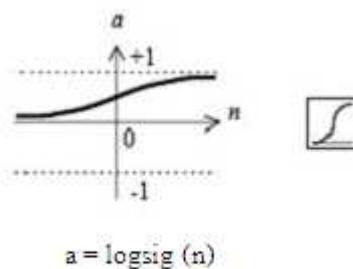
ข. ฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer function)

ฟังก์ชันส่งผ่าน คือ กฎในการคำนวณค่าข้อมูลนำเข้าของหน่วยประมวลผล เพื่อส่งไปยังหน่วยประมวลผลถัดไป การเลือกฟังก์ชันการเปลี่ยนพิจารณาตามความเหมาะสมของปัญหา โดยจะขอกล่าวเฉพาะฟังก์ชันส่งผ่านที่นิยมใช้ คือ

1) ฟังก์ชันแบบลอจิสติกมอยด์ (Log-Sigmoid transfer function)

ฟังก์ชันแบบลอจิสติกมอยด์ หรือ Log-sig เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและมีค่าไม่ลดลง โดยค่าจะเพิ่มจาก 0 ไปยัง 1 เมื่อค่า X เปลี่ยนจาก $-\infty$ ไปยัง $+\infty$ มีลักษณะแสดงดังภาพที่ 10 และเขียนในรูปสมการได้ดังสมการที่ (1)

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$



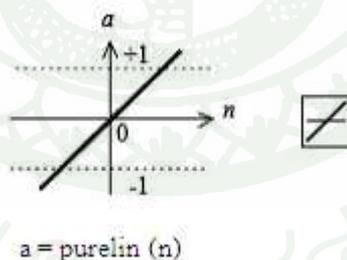
ภาพที่ 10 Log-Sigmoid transfer function

ที่มา: Demuth and Beale (2002)

2) ฟังก์ชันแบบเส้นตรง (Linear transfer function)

ฟังก์ชันแบบเส้นตรง หรือ Purelin เป็นฟังก์ชันที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตามเป็นเส้นตรง มีลักษณะแสดงดังภาพที่ 11 และเขียนในรูปสมการได้ดังสมการที่ (2)

$$y = x \quad (2)$$



ภาพที่ 11 Linear transfer function

ที่มา: Demuth and Beale (2002)

ค. กระบวนการฝึกฝน (Training algorithm)

ใช้ฝึกฝนค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ให้ลู่เข้าหาคำตอบได้อย่างถูกต้อง (รพีพร, 2551) โดยจะกล่าวเฉพาะวิธีกราเดียนเดสเซนต์ (Gradient descent, Trainingd) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการปรับแบบจำลอง และเป็นวิธีพื้นฐานที่ให้ผลดี โดยวิธีนี้เป็นการฝึกฝนที่ค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนจะถูกปรับจากผลต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลลัพธ์จริง

ง. เครือข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับร่วมด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PC-ANN)

Shao *et al.* (2007) กล่าวว่า เครือข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ เป็นกระบวนการเรียนรู้แบบมีครูสอน รูปแบบการฝึกฝนของการประมวลผลแบบย้อนกลับ เป็นการคำนวณแบบลาดชันลง (Gradient descent algorithm) และเมื่อข้อมูลนำเข้ามีจำนวนมาก ต้องทำการลดจำนวนข้อมูลนำเข้าเพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกฝน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) เป็นการนำรายละเอียดของข้อมูลที่มีจำนวนมากๆ ออกมาในรูปแบบของปัจจัยที่มีเพียงไม่กี่ปัจจัย (Principal component, PC) ดังนั้นจึงเรียกวิธีเครือข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับร่วมด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ว่า PC-ANN

ฟังก์ชันที่นิยมใช้ในเครือข่ายประสาทเทียมแบบย้อน ได้แก่ ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Theodoridis and Koutroumbas, 1999) โดยวิธีการกระจายกลับ (Backpropagation algorithm) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การคำนวณไปข้างหน้า (Forward computation)

การคำนวณไปข้างหน้า คือ การนำข้อมูลนำเข้าส่งผ่านไปข้างหน้าตามลำดับชั้น ซึ่งมีการรวมข้อมูลนำเข้ากับค่าน้ำหนักเข้าด้วยกัน และส่งผ่านทางฟังก์ชันส่งผ่าน เพื่อทำการแปลงให้เป็นผลลัพธ์ภายในชั้นซ่อน จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง และทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่เกิดขึ้น

2) การคำนวณย้อนกลับ (Backward computation)

เมื่อผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อน จะเริ่มขั้นตอนในการคำนวณย้อนกลับ โดยเริ่มจากการปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นแสดงผลกับชั้นซ่อนชั้นสุดท้าย และย้อนกลับไปยังชั้นรับข้อมูล

Li (2007) ศึกษาการแบ่งกลุ่มส้มสา (Chinese bayberry) 4 สายพันธุ์ จำนวน 120 ตัวอย่าง (สายพันธุ์ละ 30 ตัวอย่าง) โดยใช้เทคนิค PCA และ ANN พบว่า ใช้ PCA ในการลดจำนวนเส้นสเปกตรัม ช่วง 400 ถึง 1000 นาโนเมตร ได้เหลือจำนวน 20 PC ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 87.26 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาทำนายการแบ่งกลุ่มโดยใช้เทคนิค ANN โดยให้ชุดตัวอย่างสร้างสมการ 80 ตัว และชุดตรวจสอบความถูกต้องของสมการ 40 ตัว ชั้นตัวแปรนำเข้า 20 PC ชั้นซ่อน 24 นิวรอน และชั้นตัวแปรส่งออกพันธุ์ส้มสา 4 สายพันธุ์ โครงสร้างเป็น Back propagation โดยใช้ Transfer function เป็น Tansig function และ Logsig function ตามลำดับ กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.001 ในการเรียนรู้ทุก 1000 รอบ เมื่อได้สมการแล้วนำชุดตรวจสอบมาทดสอบการทำนาย พบว่าสามารถทำนายสายพันธุ์ได้ถูกต้อง 95 เปอร์เซ็นต์

Shao *et al.* (2007) สร้างสมการทำนายค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในโยเกิร์ต ด้วยเทคนิค NIRS และเนื่องจากข้อมูลนำเข้าที่ใช้คือ สเปกตรัม NIR ทำให้มีจำนวนข้อมูลนำเข้ามาก จึงได้นำ PC-ANN มาร่วมใช้ในการวิเคราะห์ทำการศึกษานำเข้าข้อมูลนำเข้าที่ระดับ 4 ถึง 10 PC จำนวนชั้นซ่อนที่ระดับ 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อนที่ระดับ 2 ถึง 15 นิวรอน พบว่า โครงสร้างที่เหมาะสมที่ใช้ทำนายค่า pH ประกอบด้วยจำนวนข้อมูลนำเข้า 6 PC จำนวนชั้นซ่อนที่ระดับ 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อนที่ระดับ 9 นิวรอน

2. ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น

เป็นขั้นตอนในการตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำของสมการมาตรฐานที่สร้างได้จากขั้นตอนการทำแคลิเบรชัน (Calibration) เรียกขั้นตอนนี้ว่า การทำเวลิเดชัน (Validation) หรือการทดสอบ (Verification) โดยตัวอย่างจะนำมาวิเคราะห์คุณภาพที่ต้องการทั้งด้วยวิธีมาตรฐาน เรียกค่าที่ได้ว่าค่าจริง (Actual value) และค่าที่ได้จากการสแกนตัวอย่างด้วยเครื่อง NIR นำค่าการดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นมาผ่านวิธีการเช่นเดียวกับขั้นตอนการทำแคลิเบรชัน และนำมาแทนค่าในสมการเพื่อทำนายค่าคุณภาพที่ต้องการทราบ (Predicted value) ต่อจากนั้นนำค่าจริงให้เป็นข้อมูลชุด

X และค่าทำนายที่ได้จากสมการเป็นข้อมูลชุด Y มาเปรียบเทียบข้อมูลกัน ว่าค่าจริงที่วัดได้กับค่าที่ทำนายด้วยเครื่อง NIR มีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

3. ประสิทธิภาพในการทำนายค่าคุณภาพที่ต้องการของสมการ

ในการตัดสินใจเลือกสมการทำนาย หากดูแค่ประสิทธิภาพในการทำนายแค่ในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ อาจดีสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการเท่านั้น แต่อาจไม่ดีสำหรับกลุ่มตัวอย่างอื่น (รณฤทธิ์, 2552) ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาประสิทธิภาพในการทำนายในกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการด้วย แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักการเลือกสมการทำนาย โดยพิจารณาที่ค่าประสิทธิภาพต่างๆ

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าประสิทธิภาพ
กลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ	
ค่า Correlation coefficient of calibration (R_{cal})	สูง
ค่า Root mean square error of calibration (RMSEC)	ต่ำ
กลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง	
ค่า Correlation coefficient of validation (R_{val})	สูง
ค่า Root mean square error of prediction (RMSEP)	ต่ำ
ค่า The ratio of standard deviation of reference data in the validation set to SEP (RPD)	สูง

จากตารางที่ 1 มีวิธีการคำนวณค่าประสิทธิภาพต่างๆ ดังนี้ (ธงชัย, 2550)

3.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Correlation coefficient of calibration, R_{cal}) ดังสมการที่ (3)

$$R_{cal} = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum x^2 - n\bar{x}^2) + (\sum y^2 - n\bar{y}^2)}} \quad (3)$$

โดยที่ x คือ ค่าที่ได้จากสเปกตรัม NIR (NIR data)

y คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (Standard data)

n คือ จำนวนข้อมูล

3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Root mean square error of calibration, RMSEC) ดังสมการที่ (4)

$$RMSEC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

โดยที่ y_i คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

\hat{y}_i คือ ค่าทำนายที่ได้จากสมการ, n คือ จำนวนข้อมูล

3.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Correlation coefficient of validation, R_{val}) ดังสมการที่ (5)

$$R_{val} = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum x^2 - n\bar{x}^2) + (\sum y^2 - n\bar{y}^2)}} \quad (5)$$

โดยที่ x คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

y คือ ค่าทำนายที่ได้จากสมการ, n คือ จำนวนข้อมูล

3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Root mean square error of prediction, RMSEP) ดังสมการที่ (6)

$$\text{RMSEP} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (6)$$

โดยที่ y_i คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

\hat{y}_i คือ ค่าทำนายที่ได้จากสมการ

n คือ จำนวนข้อมูล

3.5 สัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนทางเคมี และค่า SEP ดังสมการที่ (7) ของตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (The ratio of standard deviation of reference data in the validation set to SEP, RPD) ดังสมการที่ (8)

$$\text{SEP} = \sqrt{\frac{\sum(x-y)^2 + \frac{(\sum(x-y))^2}{n}}{n-1}} \quad (7)$$

โดยที่ x คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

y คือ ค่าทำนายที่ได้จากสมการ

n คือ จำนวนข้อมูล

$$\text{RPD} = \frac{\text{SD of the standard values}}{\text{SEP}} \quad (8)$$

โดยที่ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

นอกจากนี้ สามารถประเมินผลความสามารถของสมการทำนาย โดยอธิบายได้จากค่า R และค่า RPD แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (รณฤทธิ์, 2552; Williams, 2007)

ตารางที่ 2 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการทำนายด้วยค่า R

ค่า R	ความสามารถของสมการทำนาย
± 0.5	ไม่ควรนำมาใช้ในการทำนาย
± 0.51 - 0.70	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ
± 0.71 - 0.80	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ
± 0.81 - 0.90	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณ หรือประมาณค่าเบื้องต้น
± 0.91 - 0.95	การทำนายเพื่องานวิจัย และงานทั่วไป
± 0.96 - 0.98	การทำนายเพื่องานประกันคุณภาพ
± 0.99 ขึ้นไป	ทุกงาน

ตารางที่ 3 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการทำนายด้วยค่า RPD

ค่า RPD	ความสามารถของสมการทำนาย
0.0 - 2.3	ไม่แนะนำให้ใช้
2.4 - 3.0	การแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ
3.1 - 4.9	การแบ่งระดับปริมาณ
5.0 - 6.4	การควบคุมคุณภาพ
6.5 - 8.0	การควบคุมกระบวนการ
8.1 ขึ้นไป	ทุกงาน

การประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ในอุตสาหกรรมเกษตร

การผลิตของภาคอุตสาหกรรมเกษตร มีการตรวจสอบคุณภาพสินค้าที่เข้มงวดมาก ต้องตรวจสอบอย่างเข้มข้น ถูกต้อง แม่นยำ โดยเฉพาะต้องคำนึงถึงความรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคนิค NIRS มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยในงานวิจัยมีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค NIRS ทางด้านเคมี ด้านกายภาพ และทางด้านประสามสัมพันธ์ ดังกล่าวต่อไปนี้

1. การตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี

Iwamoto *et al.* (1984) ศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ใช้การทำนายปริมาณแคลป์ไซซินในผงปารีกรี้า ด้วยเทคนิค NIRS ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร พบว่า ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1200, 1700, 1760, 2250 และ 2350 นาโนเมตร เกี่ยวข้องกับการสั่นของพันธะ C-H และตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1950 และ 2200 นาโนเมตร เกี่ยวข้องกับการสั่นของพันธะ N-H และ O-H group ตามลำดับ เมื่อนำมาสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Multiple linear regression (MLR) พบว่า ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.993 ค่า SEC เท่ากับ 0.0036 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยของ Park *et al.* (2008) ศึกษาการทำนายปริมาณแคลป์ไซซินในพริกแดงป่นด้วยเทคนิค NIRS แบบรีเฟลคแทนซ์ (Reflectance) ที่ช่วงความยาวคลื่น 892-1695 นาโนเมตร และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการทำนายที่สร้างด้วยวิธี Principle components regression (PCR) และวิธี PLSR พบว่า หลังจากปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative แล้ว สมการทำนายที่สร้างด้วยวิธี PCR ให้ประสิทธิภาพในการทำนายดีกว่าวิธี PLSR โดยให้ค่า R_{cal} เท่ากับ 0.970 และ 0.903 ตามลำดับ และค่า SECV เท่ากับ 23.65 และ 43.05 ตามลำดับ ในส่วนงานวิจัยของ สุมาพร และคณะ (2552) ศึกษาการทำนายปริมาณแคลป์ไซซินในพริกแดงป่น ด้วยเทคนิค NIRS ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร และสร้างสมการทำนายด้วยวิธี PLSR โดยใช้ทั้งช่วงความยาวคลื่น พบว่า ใช้แฟคเตอร์ในการสร้างสมการ จำนวน 10 PC ให้ค่า R เท่ากับ 0.992 และค่า SECV เท่ากับ 0.0127 เปอร์เซ็นต์

Yano *et al.* (1997) ศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ใช้ทำนายปริมาณกรดอะซีติกในน้ำส้มสายชู ด้วยเทคนิค NIRS พบว่า ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1672, 1718 และ 2254 นาโนเมตร ให้ลักษณะยอดสเปกตรัมที่เด่นชัด และเกี่ยวข้องกับการสั่นของพันธะ C-H ในกรดอะซีติก เมื่อนำมาสร้างสมการทำนายด้วยวิธี MLR โดยใช้ชุดตัวอย่างสร้างสมการจำนวน 42 ตัวอย่าง พบว่า ให้ค่า R_{cal} เท่ากับ 0.940 และค่า SEC เท่ากับ 0.387 กรัมต่อลิตร เมื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้อง โดยใช้

ชุดตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง 21 ตัวอย่าง พบว่า ให้ค่า R_{val} เท่ากับ 0.976 และค่า SEP เท่ากับ 0.248 กรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Gonzales *et al.* (2008) ซึ่งพบการสั่นของพันธะ C-H ในกรดอะซิติก ที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 1608, 1696, 1700 และ 1702 นาโนเมตร

Ruoff *et al.* (2007) ศึกษาการทำนายค่า pH ในน้ำผึ้งด้วยเทคนิค NIRS แบบทรานส์ฟเลกแทนซ์ (Transflectance) เลขคลื่น 4000-10000 cm^{-1} (ช่วงความยาวคลื่น 2500-1000 นาโนเมตร) พบว่า ให้ประสิทธิภาพในการทำนายค่า โดยใช้แฟลคเตอร์ในการสร้างสมการ PLSR จำนวน 14 PC ให้ค่า R^2_{cal} เท่ากับ 0.622 และค่า SEC เท่ากับ 0.300 เมื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้อง โดย พบว่าให้ค่า R^2_{val} เท่ากับ 0.657 และค่า SEP เท่ากับ 0.300 เนื่องจากค่า pH เป็นสสารที่มีอนุภาคเล็กมาก อาจส่งผลให้มีความสัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนแสง NIR ค่อนข้างอ่อน

Goula and Adamopoulos (2003) ศึกษาการทำนายปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ในน้ำมะเขือเทศด้วยเทคนิค NIRS แบบรีเฟลคแทนซ์ (Reflectance) และสร้างสมการทำนายด้วยวิธี MLR พบว่า สมการ MLR ที่สร้างโดยใช้ความยาวคลื่นที่ 1722 1759 และ 2180 นาโนเมตร ให้ประสิทธิภาพในการทำนายสูง ค่า R^2 เท่ากับ 0.984 และค่า SEC เท่ากับ 0.590 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนการศึกษาของ Juan *et al.* (2008) ศึกษาการทำนายน้ำตาลรีดิวิซ์ในไวน์ขาว จำนวน 64 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค NIRS แบบทรานส์ฟเลกแทนซ์ (Transflectance) ช่วงความยาวคลื่น 700-1060 นาโนเมตร พบว่า ให้ประสิทธิภาพในการทำนายสูงเช่นกัน โดยใช้แฟลคเตอร์ในการสร้างสมการ PLSR จำนวน 2 PC ให้ค่า R_{cal} เท่ากับ 0.99 และค่า SEC เท่ากับ 8.61 กรัมต่อลิตร เมื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้อง พบว่า ให้ค่า R_{cv} เท่ากับ 0.99 และค่า SECV เท่ากับ 10.44 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ Ramble *et al.* (1997) ได้รายงานไว้ว่าพบการสั่นของพันธะที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ความยาวคลื่น 1584 2120 และ 2274 นาโนเมตร

2. การตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ

Pedro *et al.* (2005) ศึกษาการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะเขือเทศเข้มข้นจำนวน 42 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค NIRS แบบรีเฟลคแทนซ์ (Reflectance) เลขคลื่น 4000-10000 cm^{-1} (ช่วงความยาวคลื่น 2500-1000นาโนเมตร) และสร้างสมการ PLSR โดยใช้ 3 ช่วงเลขคลื่นความยาวคลื่นได้แก่ ช่วงเลขคลื่นที่ 4000-6000, 6000-8000 และ 8000-10000 cm^{-1} (ช่วงความยาวคลื่นที่ 2500-1667 1667-1250 และ 1250-1000) ตามลำดับ พบว่า ช่วงเลขคลื่นที่ 2 และ 3 ให้ประสิทธิภาพในการทำนายสูง โดยใช้แฟลคเตอร์ในการสร้างสมการ PLSR จำนวน 11 PC

ให้ค่า R_{val} เท่ากับ 0.9996 และค่า SEP เท่ากับ 0.6333 °Brix เนื่องจากสเปกตรัมที่ใช้สร้างสมการมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าที่ต้องการทำนายมากกว่า

Clement *et al.* (2008) ศึกษาการทำนายค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ในผลมะเขือเทศสด 4 สายพันธุ์ จำนวน 93 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค Visible and Near Infrared Spectroscopy (Vis-NIR) ช่วงความยาวคลื่น 400-1500 นาโนเมตร แล้วนำไปสร้างสมการ PLSR ทำนายค่าสีในเรื่อง ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) พบว่าใช้แฟกเตอร์ในการสร้างสมการจำนวน 5, 5 และ 9 PC ตามลำดับ ให้ค่า R^2_{cv} เท่ากับ 0.92, 0.98 และ 0.92 ตามลำดับ และค่า RMSECV เท่ากับ 1.46, 1.13 และ 2.13 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าสมการให้ประสิทธิภาพในการทำนายค่า L* และ ค่า a* สูง โดยใช้เพียง 5 แฟกเตอร์ แต่ในขณะที่สมการทำนายค่า b* ต้องใช้จำนวน 9 แฟกเตอร์ เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ อาจมีปริมาณรงควัตถุสีเหลือง (yellow pigment) น้อยเกินไป ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการทำนายค่าสี b* สูง

3. การตรวจสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

Ritthiruangdej and Suwonsichon (2007) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIR กับค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาในน้ำปลา พบว่า หลังจากใช้เทคนิค PCA สามารถจัดกลุ่มสเปกตรัมได้ใหม่เป็น 2 องค์ประกอบหลัก (2PC) คือ NIR1 และ NIR2 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 92 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่ NIR1 มีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่ 1100-1544, 1774-2062, 2092-2308 และ 2358-2440 นาโนเมตร ในขณะที่ NIR2 มีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่ 1742-1764, 2066-2088 และ 2312-2354 นาโนเมตร จากนั้นนำ NIR1, NIR2 และค่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่พบในน้ำปลา มาจัดกลุ่มอีกครั้งหนึ่งด้วยเทคนิค PCA พบว่า 3 องค์ประกอบหลักแรก สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 66.86 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ NIR1 มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะด้านกลิ่นน้ำปลา กลิ่นรสน้ำปลา และรสหวานตกค้างบนแกน PC1

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุประสงค์

ตัวอย่างซอสพริกที่นำมาศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 180 ตัวอย่าง โดยเป็นตัวอย่างจากทางโรงงาน ส่งเข้ามาตรวจวิเคราะห์ และตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาได้จากห้างสรรพสินค้าบริเวณรอบ กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2550-2551 ทำการเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และวัดค่า การดูดกลืนแสง

2. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

2.1.1 ชุดวิเคราะห์ปริมาณแคปไซซินอยด์ (Capsaicinoids) ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2.1.3 ชุดวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ด้วยการไทเทรต ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2.1.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) ยี่ห้อ EUTECH รุ่น Cyber Scan pH 510 ประเทศสิงคโปร์ แสดงดังภาพผนวกที่ ข1

2.1.2 ชุดวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2.1.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น DS 224S ประเทศเยอรมนี

2.1.6 เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ FOSS Tecator รุ่นHP 1022 ประเทศสวีเดน

2.1.6 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ยี่ห้อ Thomas รุ่นT22LAS ประเทศญี่ปุ่น

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

2.2.1 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น master M ประเทศญี่ปุ่น แสดงดังภาพผนวกที่ ข2

2.2.2 เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงดังภาพผนวกที่ ค

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์สเปกตรัม NIR

2.3.1 เครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIR) ยี่ห้อ BRAN + LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500 ประเทศเยอรมนี แสดงดังภาพผนวกที่ จ2

2.3.2 หัววัดชนิด Dutch cup ขนาด 0.2 มิลลิเมตร แสดงดังภาพผนวกที่ จ3

3. เครื่องมือที่ใช้คำนวณและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.1 โปรแกรม MATLAB version 6.5 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 โปรแกรม Unscramble version 8.0 ประเทศนอร์เวย์

3.3 โปรแกรม SESAME version 3.1 ประเทศเยอรมนี

วิธีการ

การศึกษาในครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1. การปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพซอสพริก

ส่วนที่ 2. สร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก

ส่วนที่ 3. สร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริก

1. ศึกษาการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพซอสพริก

ในส่วนนี้ใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็นตัวแทนค่าคุณภาพของซอสพริกในการศึกษาวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสมก่อนนำไปสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพของซอสพริก เนื่องจากเป็นค่าคุณภาพที่เด่นและสามารถทำการตรวจวัดได้ง่าย โดยใช้ตัวอย่างซอสพริก จำนวน 50 ตัวอย่าง นำมาใส่ในหลอดทดลอง ขนาด 40 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ก่อนทำการวัดค่าคุณภาพทางเคมีและค่าการดูดกลืนแสง โดยทำการวัดค่าตัวอย่างละ 2 ซ้ำการทดลอง

1.1 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของซอสพริก

1.1.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS) บันทึกค่า °Brix
วิธีการแสดงดังภาคผนวก ข

1.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

นำตัวอย่างซอสพริกทั้งหมด มาวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยนำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลอง ขนาด 40 มิลลิลิตร มาควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นจึงนำ

ตัวอย่างใส่ในหัววัดชนิด Dutch cup ระยะส่องผ่าน 0.2 มิลลิเมตร แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบทรานส์ฟเลกแทนซ์ (Transflectance) ด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIR) ยี่ห้อ BRAN+LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500 ทำการบันทึกค่าสเปกตรัม Log (1/R) ที่ช่วงคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ทุกช่วงระยะ 2 นาโนเมตร ด้วยโปรแกรม SESAME version 3.1 จากนั้นถ่ายโอนข้อมูลสเปกตรัมแบบ JCAM.DX สู่อุปกรณ์ Unscrambler version 8.0 สำหรับวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

1.3 การปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพซอสพริก

นำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ในข้อ 1.2 มาทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

- 1.3.1 วิธี Smoothing แบบ Savitzky-Golay smoothing
- 1.3.2 วิธี MSC
- 1.3.3 วิธี First Derivative transformation
- 1.3.4 วิธี Second Derivative transformation
- 1.3.5 วิธี MSC และวิธี First Derivative transformation
- 1.3.6 วิธี MSC และวิธี Second Derivative transformation

1.4 การสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพของซอสพริกโดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม

นำตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 50 ตัวอย่าง มาสร้างสมการ โดยกำหนดข้อมูลสเปกตรัมเริ่มต้นในข้อ 1.2 และข้อมูลสเปกตรัมที่ทำการปรับแต่งแล้วในข้อ 1.3 เป็นตัวแปร X ได้ทั้งหมด 7 ชุด และกำหนดข้อมูลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในข้อ 1.1.1 เป็นตัวแปร Y แล้วจึงนำมาสร้างสมการด้วยวิธี Partial least squares regression (PLSR) วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Unscramble version 8.0 จะได้สมการทั้งหมด 7 สมการ แต่ละชุดสมการทำการบันทึกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Correlation coefficient of calibration; R_{cal}) และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Root mean square error of calibration; RMSEC) และตรวจสอบความถูกต้องของสมการแบบ Cross-validation บันทึกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง (Correlation coefficient of cross validation; R_{cv}) และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง (Root mean

square error of cross validation; RMSECV) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการ เพื่อคัดเลือกหาวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่ให้สมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ดีที่สุด และจะนำวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมนี้ไปใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านอื่นๆต่อไป โดยพิจารณาจากค่า R_{cal} และค่า R_{cv} สูง ส่วนค่า RMSEC และค่า RMSECV ต่ำ

2. สร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก

ใช้ตัวอย่างซอสพริกจำนวน 180 ตัวอย่าง ในสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ ทำการวัดค่าตัวอย่างละ 2 ซ้ำการทดลอง ดังนี้คือ

2.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพของซอสพริก

2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก. ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ในรูปของกรดอะซิติก (Acetic acid) ด้วยการไทเทรชันตามวิธีการของ AOAC (2000) บันทึกร้อยละกรดอะซิติกทั้งหมดที่มีในตัวอย่าง 100 กรัม วิธีการแสดงดังภาคผนวก ข

ข. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยนำตัวอย่างมาทำการวัดค่าด้วยเครื่อง pH-meter ยี่ห้อ EUTECH รุ่น Cyber Scan pH 500 บันทึกค่า pH ในตัวอย่าง วิธีการแสดงดังภาคผนวก ข

ค. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon ตามวิธีการของ AOAC (2000) บันทึกร้อยละน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่าง 100 กรัม วิธีการแสดงดังภาคผนวก ข

ง. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon ตามวิธีการของ AOAC (2000) บันทึกร้อยละน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่าง 100 กรัม วิธีการแสดงดังภาคผนวก ข

2.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ก. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS) บันทึกค่า °Brix วิธีการแสดงดังภาคผนวก ค

ข. ค่าสี ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus ในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ บันทึกค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ค่าความเข้มของสี (Chroma, C^*) และค่ามุมของสี (hue angle, h) วิธีการแสดงดังภาคผนวก ค

2.2 การวัดค่าการดูดกลืนของแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง เช่นเดียวกับวิธีการข้อ 1.2 และทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 1.3

2.3 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก

ในการสร้างสมการจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก แสดงดังภาพที่ 12 ได้แก่ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนการสร้างสมการทำนาย

ก. นำตัวอย่างทั้งหมดมาแบ่งกลุ่มแบบสุ่มเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มแรกเพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนาย (Calibration set) จำนวน 126 ตัวอย่าง กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set) จำนวน 54 ตัวอย่าง โดยให้ตัวอย่างกลุ่มสร้างสมการมีค่าคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพครอบคลุมค่าในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งการแบ่งกลุ่มตัวอย่างสำหรับสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพ จะทำคนละครั้งกันในแต่ละค่าคุณภาพ

ข. นำข้อมูลสเปกตรัมในข้อ 2.2 มาหาความยาวคลื่น (ตัวแปร X) ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพ (ตัวแปร Y) ในข้อ 2.1 ที่ต้องการทำนาย โดยการคัดเลือกหาความยาวคลื่น สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี แสดงดังภาพที่ 13 ได้แก่ 1) วิธี PLSR แบบ Full spectra 2) วิธี MWPLSR และ 3) วิธี SCMWPLSR โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) วิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full spectra

กำหนดให้ความยาวคลื่นทั้งหมดเป็นตัวแปร X ชุดที่ 1 นำมาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนายซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Unscramble version 8.0

2) วิธี Moving Window Partial Least Squares Regression (MWPLSR)

เป็นขั้นตอนแรกในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย โดยนำความยาวคลื่นทั้งหมด และค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB version 6.5 แล้วใช้วิธีการคัดเลือกความยาวคลื่นจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log(SSR)$ ที่แต่ละความยาวคลื่น โดยเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ให้ค่า $\log(SSR)$ ต่ำ จากนั้นกำหนดให้ช่วงความยาวคลื่นที่คัดเลือกได้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 2 นำมาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนายซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Unscramble version 8.0

3) วิธี Searching Combination Moving Window Partial Least Squares Regression (SCMWPLSR)

เป็นขั้นตอนที่สองในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย โดยนำช่วงความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 2) และค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB version 6.5 ซึ่งจะได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนายมากขึ้น จากนั้นกำหนดให้ช่วงความยาวคลื่นที่คัดเลือกได้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 3 นำมาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนายซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Unscramble version 8.0

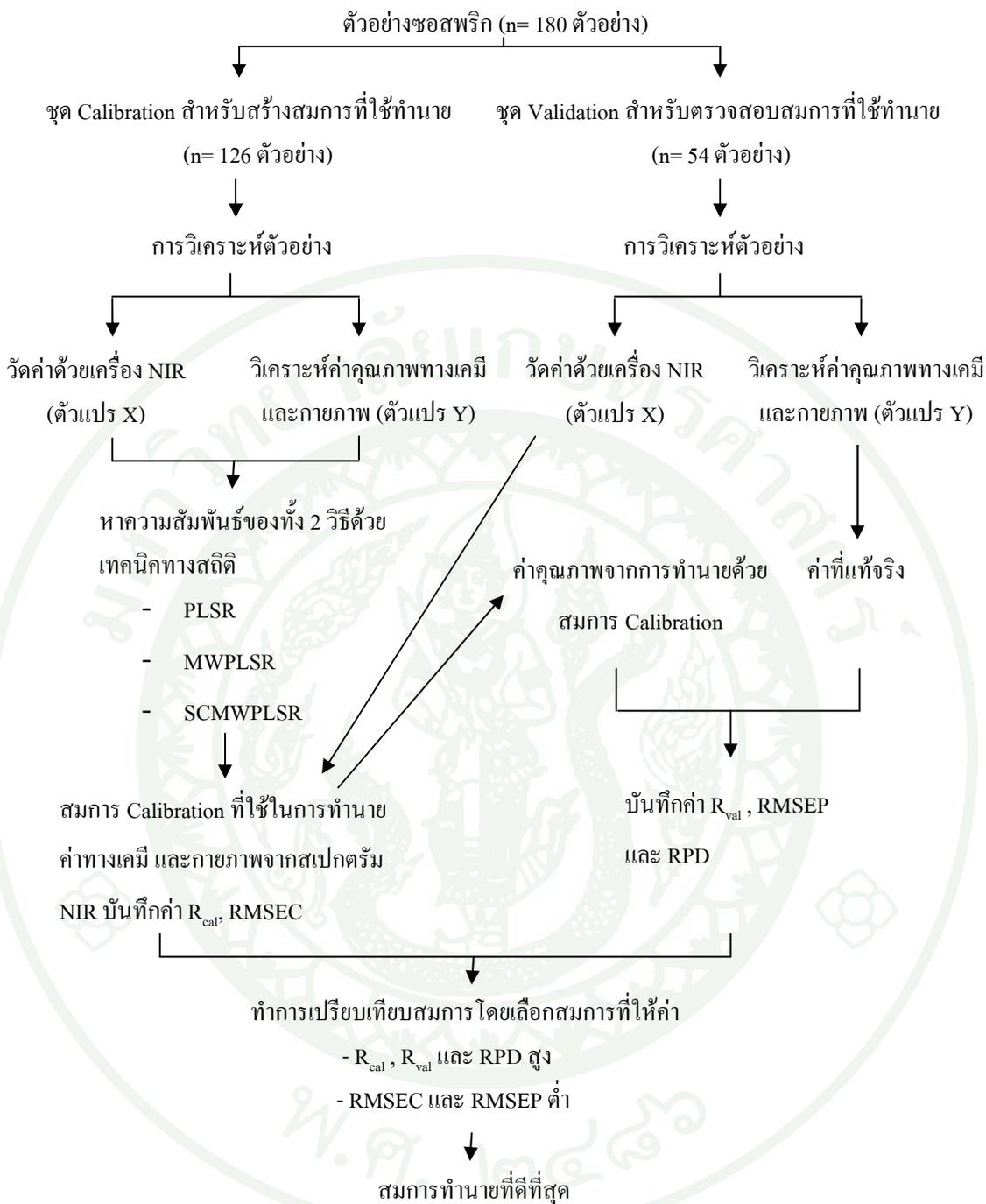
ค. สมการที่ได้ในแต่ละวิธี ทำการบันทึกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Correlation coefficient of calibration; R_{cal}) และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Root mean square error of calibration; RMSEC)

ง. พิจารณาสมการที่ให้ค่า R_{cal} เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และให้ค่า RMSEC ต่ำ เพื่อคัดเลือกสมการทำนายที่ดีที่สุดในการขึ้นต่อไป

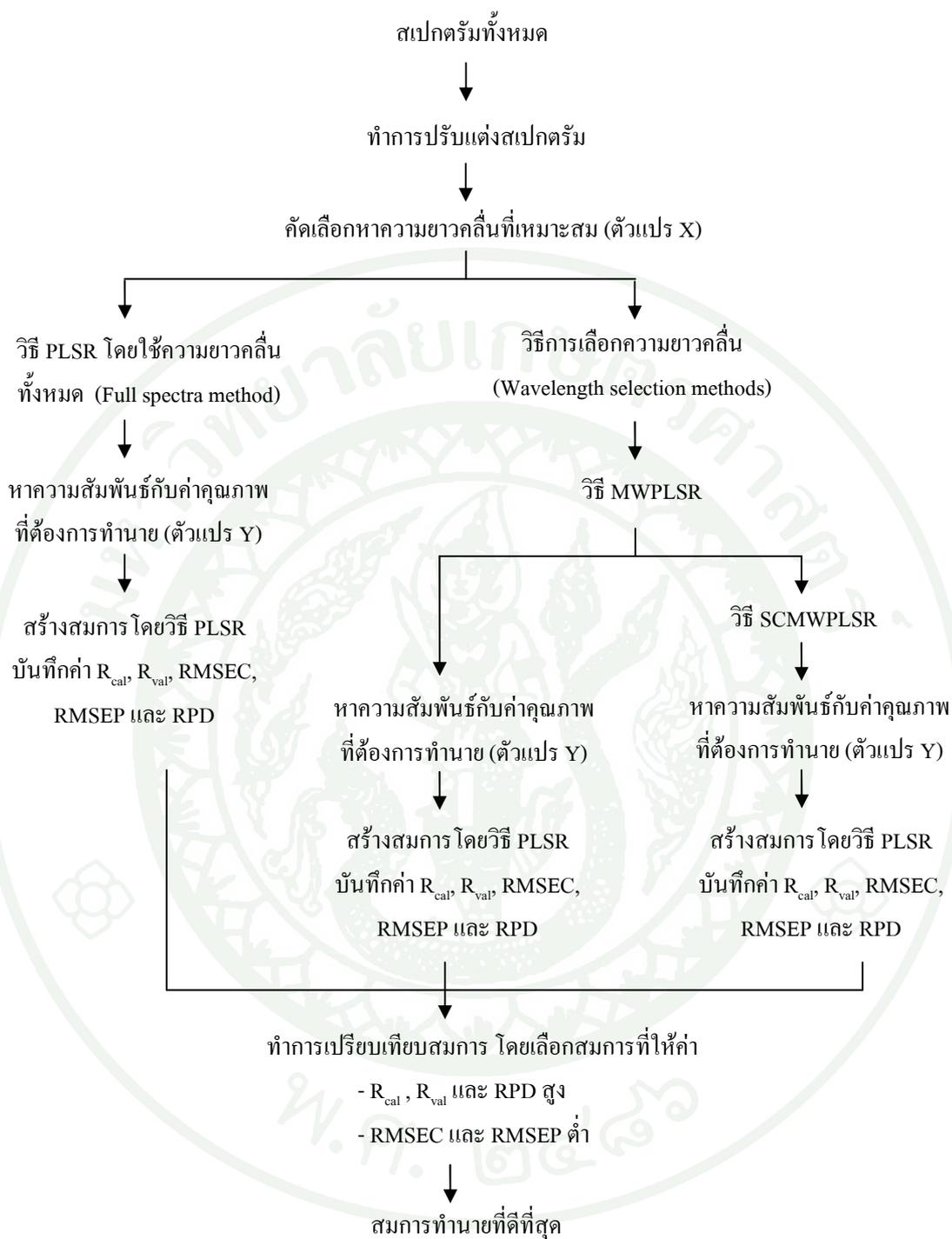
2.3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายที่สร้างขึ้น

ก. นำตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบ (Validation set) มาทำการทดสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นในแต่ละวิธี แล้วทำการบันทึกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Correlation coefficient of validation; R_{val}) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Root mean square error of prediction; RMSEP) และค่า RPD (The ratio of standard deviation of reference data in the validation set to SEP)

ข. ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการ เพื่อคัดเลือกหาสมการทำนายที่เหมาะสม และสามารถทำนายค่าได้ถูกต้องแม่นยำมากที่สุด โดยพิจารณาจากสมการที่ให้ค่า R_{val} เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ค่า RMSEP ต่ำ และค่า RPD สูง



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และภาพถ่าย โดยการหาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง NIR กับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพ และการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่ได้



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการสร้างสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR

3. สร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริก

ในส่วนของการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คุณภาพทางเคมีคือ ปริมาณแคปไซซิน (Capsaicin) และปริมาณ Scoville heat units (SHU) ในส่วนที่ 2 คือคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 การศึกษาคุณภาพด้านความเผ็ดทางเคมีของซอสพริก

เนื่องจากปัญหาในส่วนของค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์ จึงทำการสุ่มตัวอย่างมา จำนวน 100 ตัวอย่าง จากตัวอย่างซอสพริกทั้งหมดจำนวน 180 ตัวอย่างในข้อ 2 ทำการวัดค่า ตัวอย่าง ดังนี้คือ

3.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU

การวิเคราะห์ปริมาณปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ด้วยวิธี โครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ตามวิธีการของ AOAC (2000) บันทึกปริมาณแคปไซซิน (mg/kg) และ ปริมาณ SHU

3.1.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง เช่นเดียวกับวิธีการข้อ 1.2 และทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 1.3

3.1.3 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางเคมีของซอสพริก

ทำการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางเคมีในเรื่องค่าปริมาณแคปไซซิน (mg/kg) และ ปริมาณ SHU โดยใช้กลุ่มตัวอย่างในการสร้างสมการ (Calibration set) จำนวน 70 ตัวอย่าง และใช้กลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set) จำนวน 30 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการสร้างสมการในข้อ 2.3 แต่ใช้ข้อมูลสเปกตรัมในข้อ 3.1.2 เป็นตัวแปร X และข้อมูลคุณภาพเคมีในข้อ 3.1.1 เป็นตัวแปร Y

3.2 การศึกษาคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

ในส่วนนี้ใช้ตัวอย่างซอสพริกที่สุ่มมาจากตัวอย่างในข้อ 2 จำนวน 40 ตัวอย่าง

3.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

ทำการทดสอบตัวอย่างด้วยวิธีทดสอบเชิงพรรณนา (Generic Descriptive Analysis, QDA) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. ตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างซอสพริก โดยบรรจุอยู่ในถ้วยพลาสติกขนาด 2 ออนซ์ แบบมีฝาปิด ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

ข. ผู้เข้าร่วมฝึกฝน

ใช้ผู้เข้าร่วมฝึกฝนจำนวน 10 คน อายุตั้งแต่ 23-26 ปี จากภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยผู้เข้าร่วมฝึกฝนต้องมีประสบการณ์ในการทดสอบเชิงพรรณนามาก่อน

ค. วิธีการทดสอบตัวอย่าง

โดยขั้นแรกให้ผู้เข้าร่วมฝึกฝนคำศัพท์ คำนิยาม และการให้คะแนนในการประเมินค่าความเผ็ด 4 คุณลักษณะ ประกอบไปด้วยระดับความเผ็ดโดยรวม (Overall heat intensity) ความเผ็ดบริเวณลิ้น (Tongue Burn) ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก (Oral cavity burn) และความเผ็ดบริเวณลำคอ (Throat burn) จากนั้นจึงทำการทดสอบตัวอย่างจริง โดยในแต่ละครั้งผู้เข้าร่วมฝึกฝนจะได้ตัวอย่างคนละ 5 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ บรรจุอยู่ในถ้วยพลาสติกขนาด 2 ออนซ์ แบบมีฝาปิด ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ผู้เข้าร่วมฝึกฝนทำการทดสอบตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างปริมาณ $\frac{1}{2}$ ช้อนชา เข้าปากนาน 5 วินาทีก่อนกลืน หลังจากนั้นอีก 25 วินาทีจึงให้คะแนน ตั้งแต่ 0-15 (น้อยไปมาก) ในแต่ละคุณลักษณะที่พบในตัวอย่าง โดยระหว่างตัวอย่างผู้เข้าร่วมฝึกฝนต้องทานแครกเกอร์เพื่อล้างปากทุกครั้ง ทำการทดสอบ 3 ซ้ำการทดลองในแต่ละตัวอย่าง

3.2.2 การวัดค่าการดูดกลืนของแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง เช่นเดียวกับวิธีการข้อ 1.2 และทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 1.3

3.2.3 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

สร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก ใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ 4 วิธี ดังนี้

ก. วิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR

ทำการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก ในเรื่องระดับความเผ็ดโดยรวม ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ โดยใช้กลุ่มตัวอย่างในการสร้างสมการ (Calibration set) จำนวน 28 ตัวอย่าง และใช้กลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set) จำนวน 12 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการสร้างสมการในข้อ 2.3 แต่ใช้ข้อมูลสเปกตรัมในข้อ 3.2.2 เป็นตัวแปร X และข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสในข้อ 3.2.1 เป็นตัวแปร Y

ข. วิธีเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN)

สร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ (Backpropagation artificial neural networks, BP-ANN) ทำหน้าที่ละ 1 ข้อมูลนำออก ด้วยโปรแกรม MATLAB version 6.5 โดยนำข้อมูลจากข้อ 3.2.2 ได้แก่ ความยาวคลื่น ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) มากำหนดให้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ทำให้มีจำนวนข้อมูลมาก ดังนั้นจึงได้ทำการจัดกลุ่มจำนวนข้อมูลนำเข้าโดยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) ด้วยโปรแกรม Unscrambler version 8.0 และกำหนดให้ข้อมูลจากข้อ 3.1 เป็นข้อมูลนำออก (Output) ได้แก่ ระดับความเผ็ดโดยรวม ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- 1) ฟังก์ชันส่งผ่านก่อนชั้นซ่อนและระหว่างชั้นซ่อนเป็น Log-Sigmoid Transfer Function และฟังก์ชันส่งผ่านหลังชั้นซ่อนเป็น Linear transfer function
- 2) วิธีการฝึกฝนแบบ Batch gradient descent เป็นการฝึกฝนที่คำนวณน้ำหนักและค่า Bias จะถูกปรับจากผลต่างของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง
- 3) จำนวนรอบของการฝึกฝน (Epoch) เท่ากับ 1000 รอบ
- 4) การหยุดการฝึกฝน (Stopping rule) ใช้เกณฑ์ เมื่อถึงจำนวนรอบสูงสุดในการฝึกฝน คือ 1000 รอบ หรือเมื่อค่า Performance ลดลงถึงเป้าหมายที่กำหนด คือ 0

ทำการศึกษาจำนวนข้อมูลนำเข้า (Input node) 2 ระดับคือ 5 และ 10PC จำนวนชั้นซ่อน (Hidden layer) 2 ระดับคือ 1 และ 2 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อน (Hidden node) 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 นิวรอน ได้จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 16 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 4 โดยแต่ละสิ่งทดลองทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้งเพื่อสุ่มน้ำหนักเริ่มต้น (Initial weight) ในแต่ละการทดลอง

ตารางที่ 4 สภาวะที่ใช้สำหรับศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม

สิ่งทดลอง	จำนวนตัวแปรนำเข้า (PC)	จำนวนชั้นซ่อน (layer)	จำนวนหน่วยประสาท (node)
1	5	1	5
2	5	1	10
3	5	1	15
4	5	1	20
5	5	2	5
6	5	2	10
7	5	2	15
8	5	2	20
9	10	1	5
10	10	1	10
11	10	1	15
12	10	1	20
13	10	2	5
14	10	2	10
15	10	2	15
16	10	2	20

ในการประมวลผลทำการแบ่งตัวอย่างแบบสุ่มออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ตัวอย่างข้อมูลชุดฝึกฝนจำนวน 28 ตัวอย่าง และตัวอย่างข้อมูลชุดตรวจสอบความถูกต้องจำนวน 12 ตัวอย่าง แบบจำลองที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลอง จะทำการบันทึกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง สร้างสมการ (R_{cal}) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (RMSEC) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (R_{val}) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (RMSEP) และค่า RPD

3.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเค็มทาง ประสาธสัมพันธ์ของซอสพริก

ทำการเปรียบเทียบสมการทำนายระหว่างวิธี PLSR แบบ Full spectra
วิธี MWPLSR วิธีSCMWPLSR และวิธี BP-ANN ในข้อ 3.2.3 ก) และข้อ 3.2.3 ข) เพื่อคัดเลือกหา
สมการที่เหมาะสม และสามารถทำนายค่าได้ถูกต้องแม่นยำมากที่สุด โดยพิจารณาจากแบบจำลองที่
ให้ R_{cal} ค่า R_{val} และค่า RPD สูง ส่วนค่า RMSEC และค่า RMSEP ต่ำ

3. สถานที่ทำการทำวิจัย

3.1 หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันคั้นคว้าและ
พัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

3.2 ห้องปฏิบัติการทางเคมี กายภาพ และห้องทดสอบทางประสาธสัมพันธ์ ภาควิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

4. ระยะเวลาการทำวิจัย

ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2551 ถึงเดือนเมษายน 2552

ผลและวิจารณ์

1. การปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพซอสพริก

ใช้ตัวอย่างซอสพริกจำนวน 50 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลอง ขนาด 40 มิลลิลิตร มาควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS) และค่าการดูดกลืนแสง โดยทำการวัดค่าตัวอย่างละ 2 ชั่วโมงทดลอง

1.1 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของซอสพริก

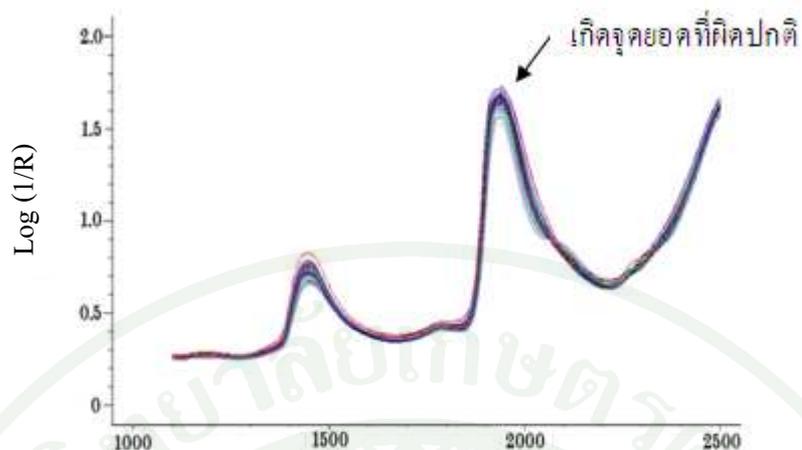
ทำการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของซอสพริกจำนวน 50 ตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.61 °Brix ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.19 °Brix และค่าอยู่ในช่วง 12.10-53.60 °Brix แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่างซอสพริกจำนวน 50 ตัวอย่าง

ค่าคุณภาพ	\bar{x}	SD	Range
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	31.61	9.19	12.10-53.60

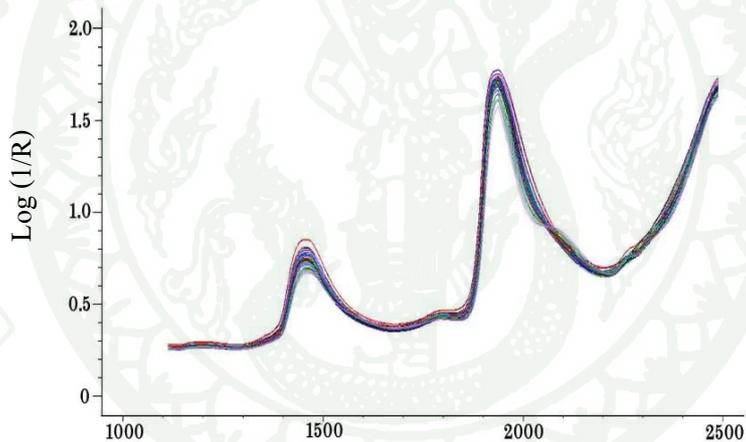
1.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

วัดค่าการดูดกลืนแสงในซอสพริกจำนวน 50 ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง NIR แบบทรานส์ฟเลคแทนซ์ (Transflectance) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ได้สเปกตรัมเริ่มต้นอยู่ในรูป Log (1/R) ทั้งหมด 701 ค่า แสดงดังภาพที่ 14



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ก)



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ข)

ภาพที่ 14 ลักษณะสเปกตรัมของซอสพริกจำนวน 50 ตัวอย่างที่วัดได้จากเครื่อง NIR

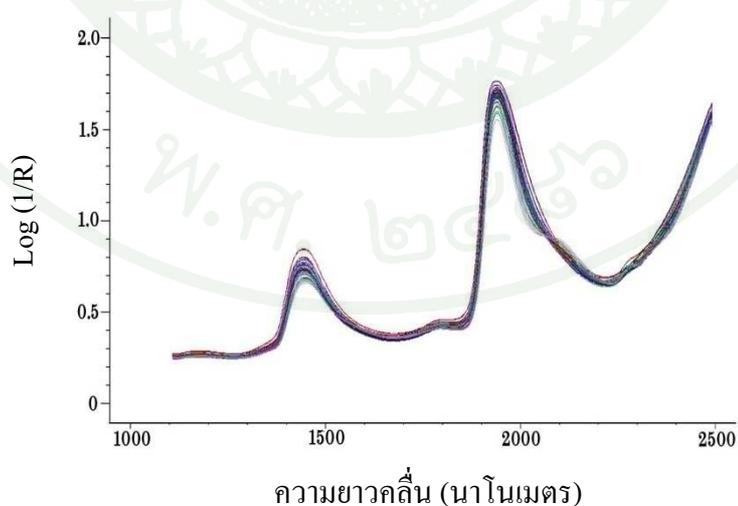
(ก) สเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร

(ข) สเปกตรัมช่วงความยาวคลื่น 1100-1934 นาโนเมตร และ 1948-2500 นาโนเมตร

เมื่อพิจารณาลักษณะของสเปกตรัมในภาพที่ 14 พบว่า สเปกตรัมมีจุดยอด (Peak) ที่ผิดปกติเกิดลักษณะกระตุกของสัญญาณที่ตัวเครื่อง (Detector) ในเครื่อง NIR ตรวจจับได้ ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้สูงเกินกว่าความสามารถของตัวเครื่อง (Over absorption) จึงได้ทำการตัดความยาวคลื่นในช่วง 1936-1946 นาโนเมตร ทำให้เหลือสเปกตรัมในรูปแบบ $\text{Log}(1/R)$ ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1934 และ 1948-2500 นาโนเมตร จำนวน 695 ค่า ซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้างสมการทำนายต่อไป

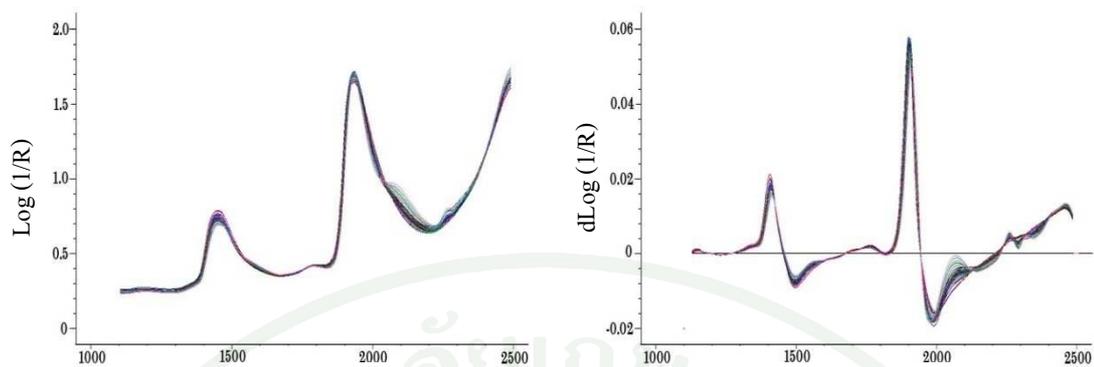
1.3 การปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพชอสพริก

จากสเปกตรัมที่ได้ในข้อ 1.2 พบว่า สเปกตรัมมีการดูดกลืนของน้ำ หรือจุดยอดของน้ำเด่นชัดที่ความยาวคลื่น 2 ค่า คือ 1450 นาโนเมตร และ 1940 นาโนเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของพันธะ O-H (Ritthiruangdej, 2006) เนื่องจากในตัวอย่างมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และน้ำเป็นสารดูดกลืนแสงที่มีประสิทธิภาพมาก ทำให้ไม่สามารถมองเห็นจุดยอดของสารอื่นได้อย่างชัดเจน ดังนั้นก่อนการสร้างสมการทำนาย จึงได้นำเทคนิคทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน และลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม (อนุพันธ์, 2545) โดยเทคนิคต่างๆที่ใช้ ได้แก่ (ก) Smoothing (ข) MSC (ค) First derivative (ง) Second derivative (จ) MSC ร่วมด้วย First derivative และ (ช) MSC ร่วมด้วย Second derivative ได้ลักษณะสเปกตรัม แสดงดังภาพที่ 15



(ก) วิธี Smoothing

ภาพที่ 15 ลักษณะสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างๆ ในตัวอย่างชอสพริก

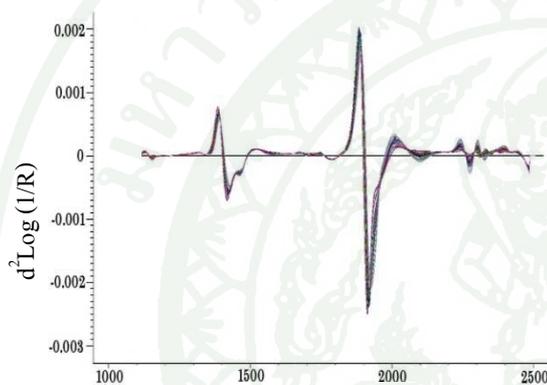


ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ง) วิธี MSC

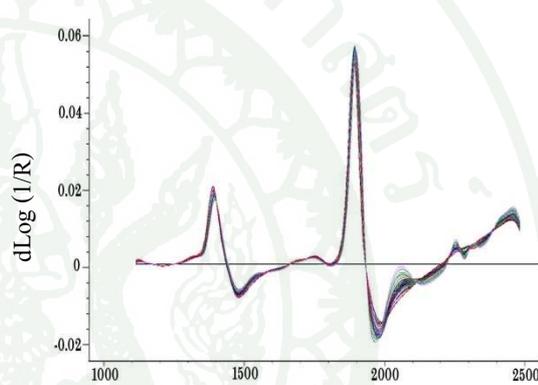
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ค) วิธี First derivative



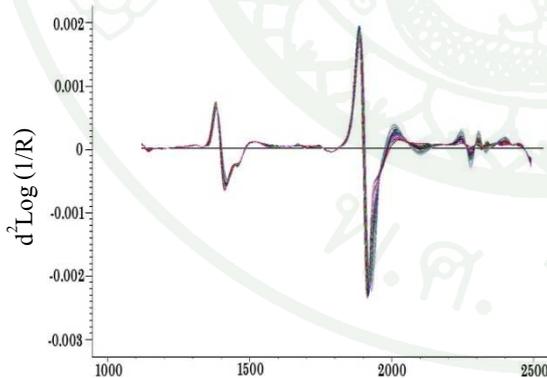
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(จ) วิธี Second derivative



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ฉ) วิธี MSC และวิธี First derivative



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ช) วิธี MSC และวิธี Second derivative

ภาพที่ 15 (ต่อ)

เมื่อพิจารณาลักษณะสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่า

ในภาพที่ 15 (ก) เป็นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Smoothing เป็นวิธีที่ทำให้สัญญาณสเปกตรัมเรียบที่นิยมใช้มากที่สุด (อนุพันธ์, 2545) ให้รูปร่างของสเปกตรัมเหมือนสเปกตรัมเริ่มต้น สามารถลดปัญหาการรบกวนของสัญญาณต่อการดูคลื่นแสง

ในภาพที่ 15 (ข) เป็นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC ซึ่งสามารถลดผลที่เกิดจากการกระเจิงแสง โดยจะเห็นว่าสเปกตรัมมีรูปร่างไม่แตกต่างจากสเปกตรัมก่อนการปรับแก้มากนัก เนื่องจากการหมุนสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย (อนุพันธ์, 2545)

ในภาพที่ 15 (ค) เป็นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี First derivative ซึ่งสามารถลดปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัม (Williams, 2007) จากภาพ พบว่า เห็นจุดยอดได้ชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากเกิดการแยกของจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันออกมา ในส่วนของภาพที่ 15 (ง) เป็นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Second derivative ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับวิธี First derivative แต่จะให้จุดยอดที่ชัดเจนมากกว่า

ในภาพที่ 15 (จ)-15 (ซ) เป็นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC ร่วมด้วยวิธี First derivative และ Second derivative ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดผลกระทบที่เกิดจากการกระเจิงแสง และการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัมเดิม

1.4 การสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพของซอสพริกโดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม

นำตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 50 ตัวอย่าง มาสร้างสมการ โดยกำหนดข้อมูลสเปกตรัมเริ่มต้นในข้อ 1.2 และข้อมูลสเปกตรัมที่ทำการปรับแต่งแล้วในข้อ 1.3 เป็นตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X) ได้ทั้งหมด 7 ชุด และกำหนดข้อมูลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในข้อ 1.1.1 เป็นตัวแปรตาม (ตัวแปร Y) แล้วจึงนำมาสร้างสมการด้วยวิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) จะได้สมการทั้งหมด 7 สมการ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{cv} และค่า RMSECV ของสมการ PLSR ที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในซอสพริก ด้วยเทคนิคการปรับแต่งสเปกตรัมแบบต่างๆ

สมการที่	วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม	แฟกเตอร์ ¹	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง	
			R_{cal}^2	RMSEC ³	R_{cv}^4	RMSECV ⁵
1	สเปกตรัมเริ่มต้น	8	0.998	0.580	0.997	0.727
2	Smoothing	8	0.998	0.512	0.997	0.724
3	MSC	8	0.998	0.511	0.996	0.758
4	1D ⁶	8	0.998	0.503	0.997	0.732
5	2D ⁷	8	0.998	0.456	0.996	0.777
6	MSC และ 1D ⁶	8	0.998	0.504	0.997	0.754
7	MSC และ 2D ⁷	8	0.998	0.435	0.996	0.789

หมายเหตุ ¹แฟกเตอร์ หมายถึง จำนวนกลุ่มตัวแปรใหม่ที่ใช้ในการสร้างสมการ

² R_{cal} หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ

³RMSEC หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ

⁴ R_{cv} หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง

⁵RMSECV หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง

⁶1D หมายถึง First derivative

⁷2D หมายถึง Second derivative

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพสมการทำนายในตารางที่ 6 พบว่า สมการทำนายที่สร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Smoothing มีความเหมาะสมในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรใหม่ได้เป็น 8 แฟกเตอร์ มีค่า R_{cal} และ RMSEC เท่ากับ 0.998 และ 0.512 °Brix ตามลำดับ และเมื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการ มีค่า R_{cv} และ RMSECV เท่ากับ 0.997 และ 0.724 °Brix ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพทั้งหมดนี้อยู่ในระดับที่สามารถใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ (Williams, 2007) และจะนำวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Smoothing ไปใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านอื่นๆต่อไป

2. การสร้างสมการทำนายที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของซอสพริก

ใช้ตัวอย่างซอสพริกจำนวน 180 ตัวอย่าง ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ ทำการวัดค่าตัวอย่างละ 2 ซ้ำการทดลอง ดังนี้คือ

2.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพของซอสพริก

จากการวัดค่าคุณภาพทางเคมีในเรื่อง ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และคุณภาพทางกายภาพในเรื่อง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* , h นำมาแบ่งเป็นกลุ่มแบบสุ่ม เพื่อใช้ในการสร้างสมการ (Calibration set) จำนวน 126 ตัวอย่าง และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set) จำนวน 54 ตัวอย่าง ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 7

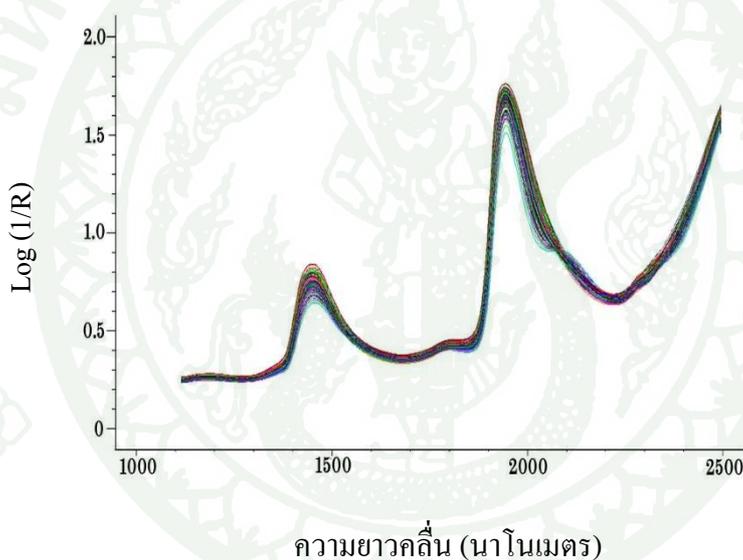
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างซอสพริกในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ และกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการ

ค่าคุณภาพ	กลุ่มสร้างสมการ (n=126)			กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (n=54)		
	\bar{x}	SD	Range	\bar{x}	SD	Range
ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	1.12	0.34	0.20-1.86	1.13	0.25	0.58-1.62
ค่า pH	3.47	0.20	3.01-3.96	3.46	0.15	3.19-3.76
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)	15.24	9.11	1.88-45.46	15.70	9.30	1.97-41.22
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	20.85	8.56	3.58-46.33	21.22	8.32	4.40-42.89
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)	31.11	8.36	12.0-54.10	32.06	8.43	12.30-53.60
ค่าสี : CIE $L^*a^*b^*$						
ค่าสี L^*	31.21	6.04	18.87-54.21	31.34	5.48	18.94-43.28
ค่าสี a^*	41.79	6.78	27.72-71.32	41.88	6.33	28.94-60.74
ค่าสี b^*	34.26	3.60	26.60-48.40	34.59	3.40	26.65-43.28
ค่าสี C^*	53.98	6.98	38.45-82.55	54.76	6.55	42.16-73.02
ค่าสี h ($^{\circ}$)	50.20	3.04	43.86-60.70	50.76	3.40	45.23-60.15

จากตารางที่ 7 พบว่า ตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องมีค่าคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพอยู่ในช่วงของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ เนื่องจากต้องการให้สมการทำนายที่สร้างขึ้นสามารถทำนายได้ครอบคลุมตัวอย่างได้ทั้งหมด

2.2 การวัดค่าการดูดกลืนของแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

นำซอสพริกทั้งหมด 180 ตัวอย่าง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ทำการตัดความยาวคลื่นที่ผิดปกติในช่วง 1936-1346 นาโนเมตร ทำให้เหลือสเปกตรัมในรูปแบบ $\text{Log}(1/R)$ ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1934 และ 1948-2500 นาโนเมตร จำนวน 695 ค่า จากนั้นทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing แสดงดังภาพที่ 16



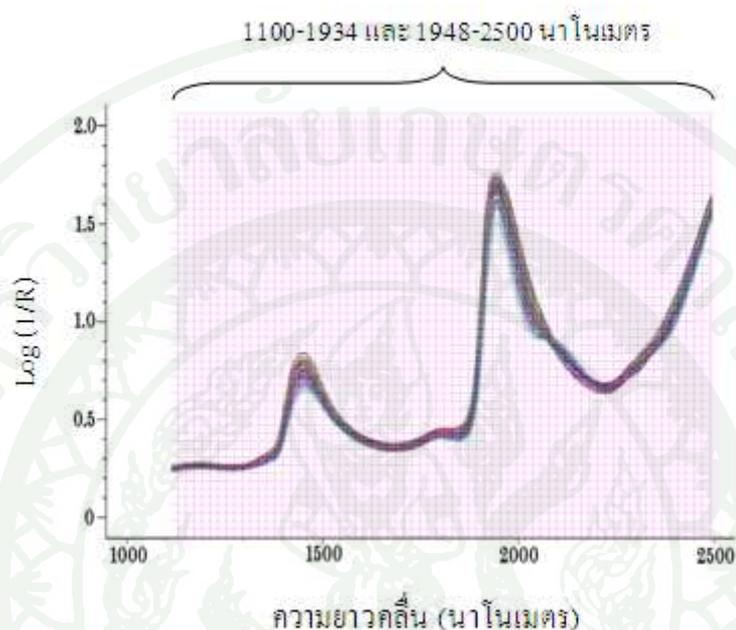
ภาพที่ 16 ลักษณะสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Smoothing ของซอสพริกจำนวน 180 ตัวอย่าง

2.3 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก

นำข้อมูลสเปกตรัมในข้อ 2.2 มาหาความยาวคลื่น (ตัวแปร X) ที่มีความสัมพันธ์กับค่าทางเคมี และกายภาพ (ตัวแปร Y) ในข้อ 2.1 ที่ต้องการทำนาย โดยการคัดเลือกหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี แสดงดังภาพที่ 13 ได้แก่ 1) วิธี PLSR แบบ Full spectra 2) วิธี MWPLSR และ 3) วิธี SCMWPLSR โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 วิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full spectra

เป็นวิธีการหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากการนำความยาวคลื่นทั้งหมดเป็นตัวแปร X ชุดที่ 1 แสดงดังภาพที่ 17



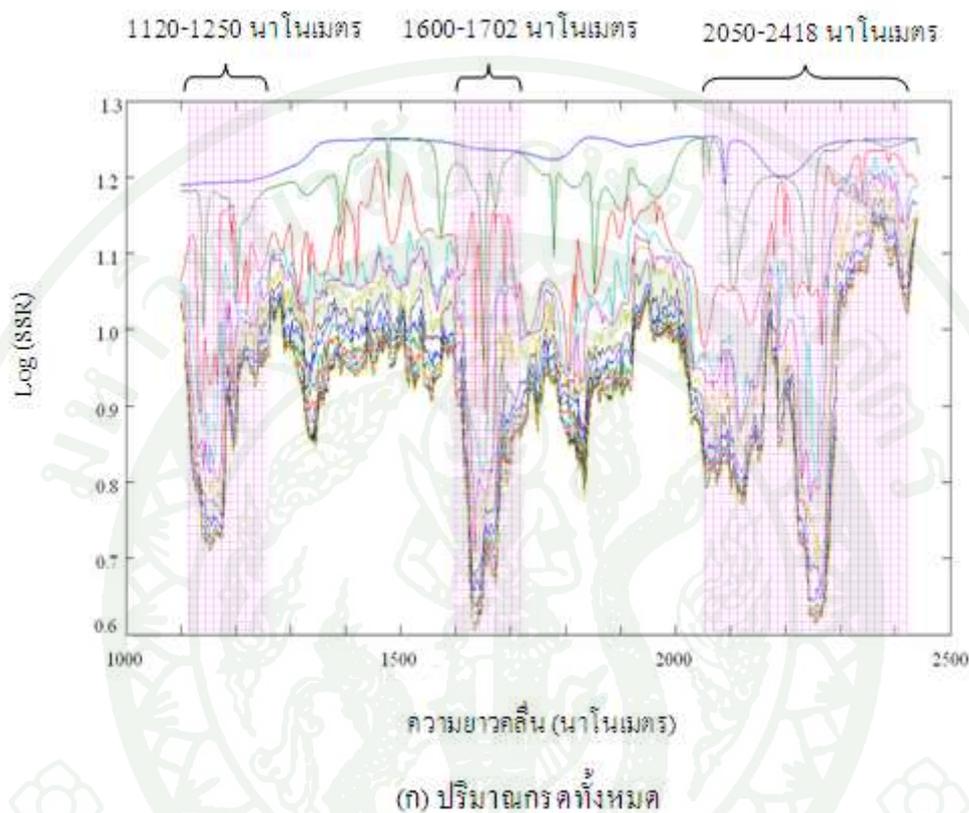
ภาพที่ 17 ช่วงความยาวคลื่น (ส่วนที่แรเงา) ที่ใช้สร้างสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก

2.3.2 วิธี Moving Window Partial Least Squares Regression (MWPLSR)

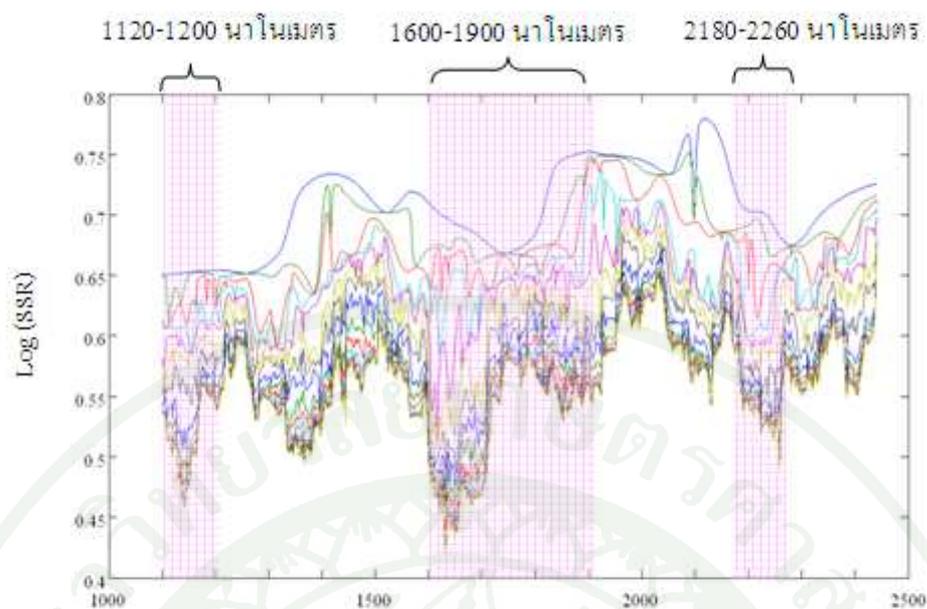
เป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ให้สมการที่มีประสิทธิภาพสูง (Jiang *et al.*, 2002) โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 2 จากภาพที่ 18 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log (SSR) กับความยาวคลื่นของปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดอะซิติกในซอสพริก พบว่า ได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม 3 ช่วง คือ 1120-1250, 1600-1702 และ 2050-2418 นาโนเมตร เนื่องจากให้ค่า Log (SSR) อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งในช่วงความยาวคลื่นนี้มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งพันธะ O-H ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดอะซิติก (Yano, 2007; Gonzales, 2008)

ในส่วนของการสัมพันธ์ระหว่างค่า Log (SSR) กับความยาวคลื่นของอีก 9 ค่าคุณภาพของซอสพริก ได้แก่ ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่

ละลายได้ทั้งหมด ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ h แสดงดังภาพที่ 18 (ข), (ค), (ง), (จ), (ฉ), (ช), (ฌ) และ (ญ) ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งพันธะที่เกี่ยวข้องกับค่าคุณภาพนั้นอยู่ แสดงดังตารางที่ 8

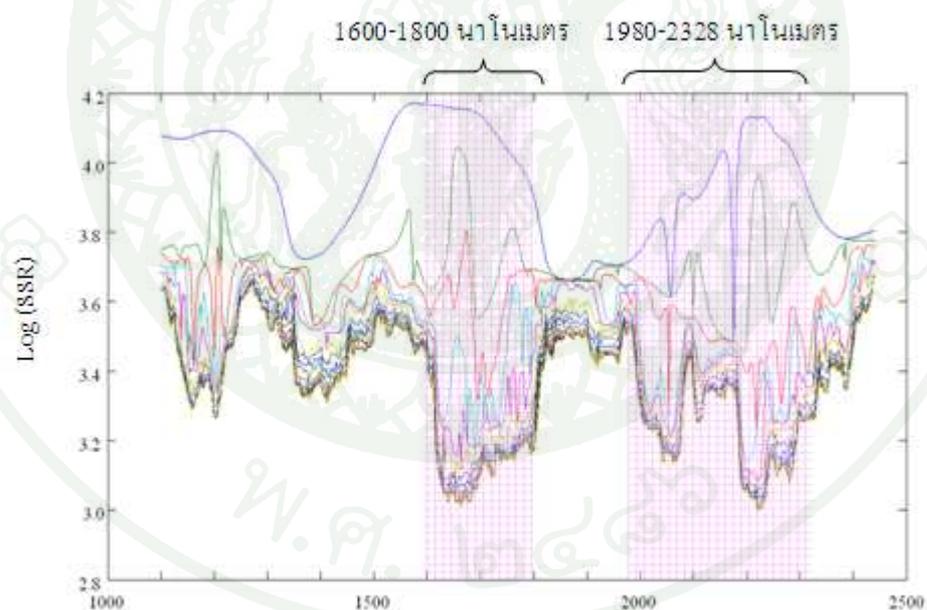


ภาพที่ 18 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรเงา) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายค่า (ก) ปริมาณกรดทั้งหมด (ข) ค่า pH (ค) ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ (ง) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (จ) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ฉ) ค่าสี L^* (ช) ค่าสี a^* (ฌ) ค่าสี b^* (ฎ) ค่าสี C^* และ (ญ) ค่าสี h ของซอสพริก



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

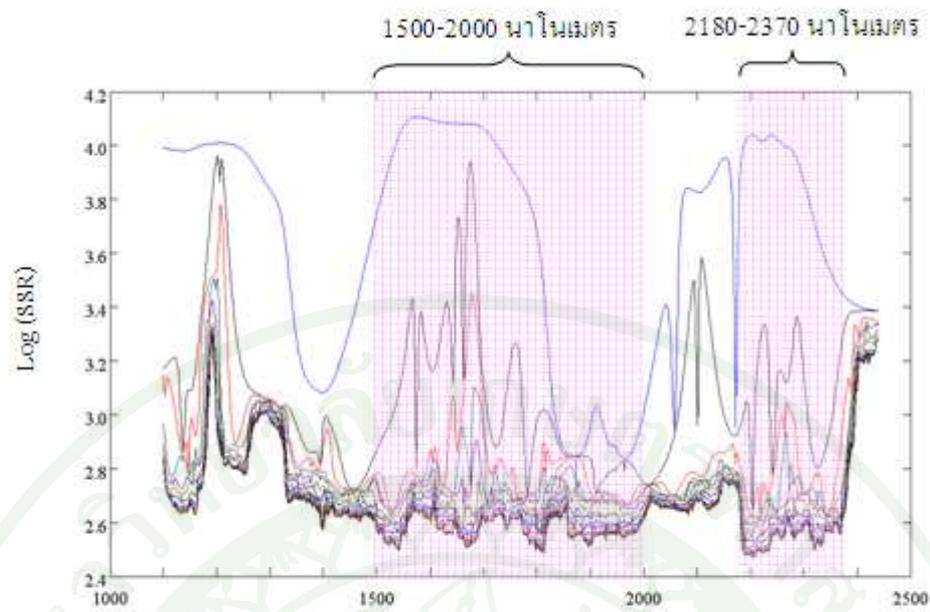
(ข) ค่า pH



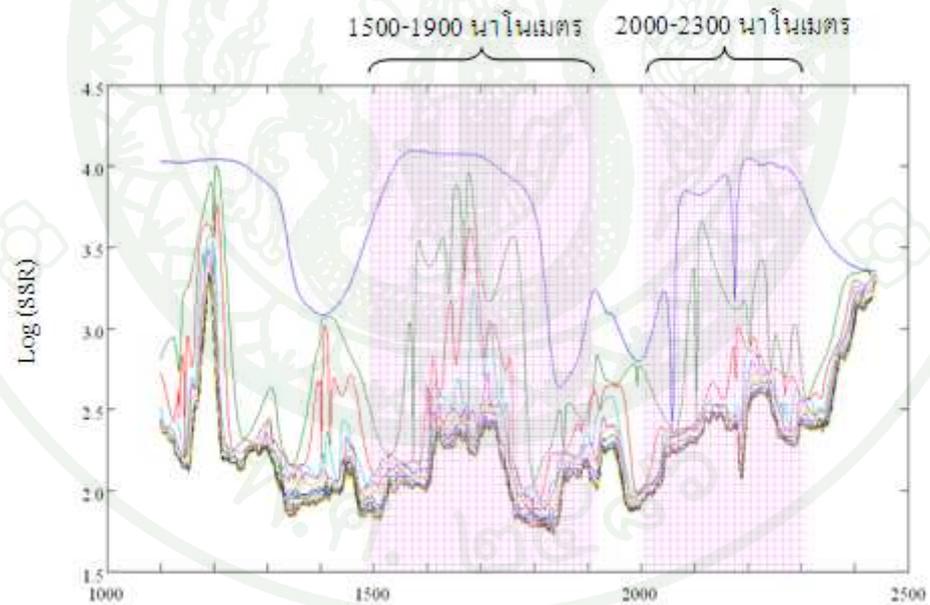
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ค) ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

ภาพที่ 18 (ต่อ)

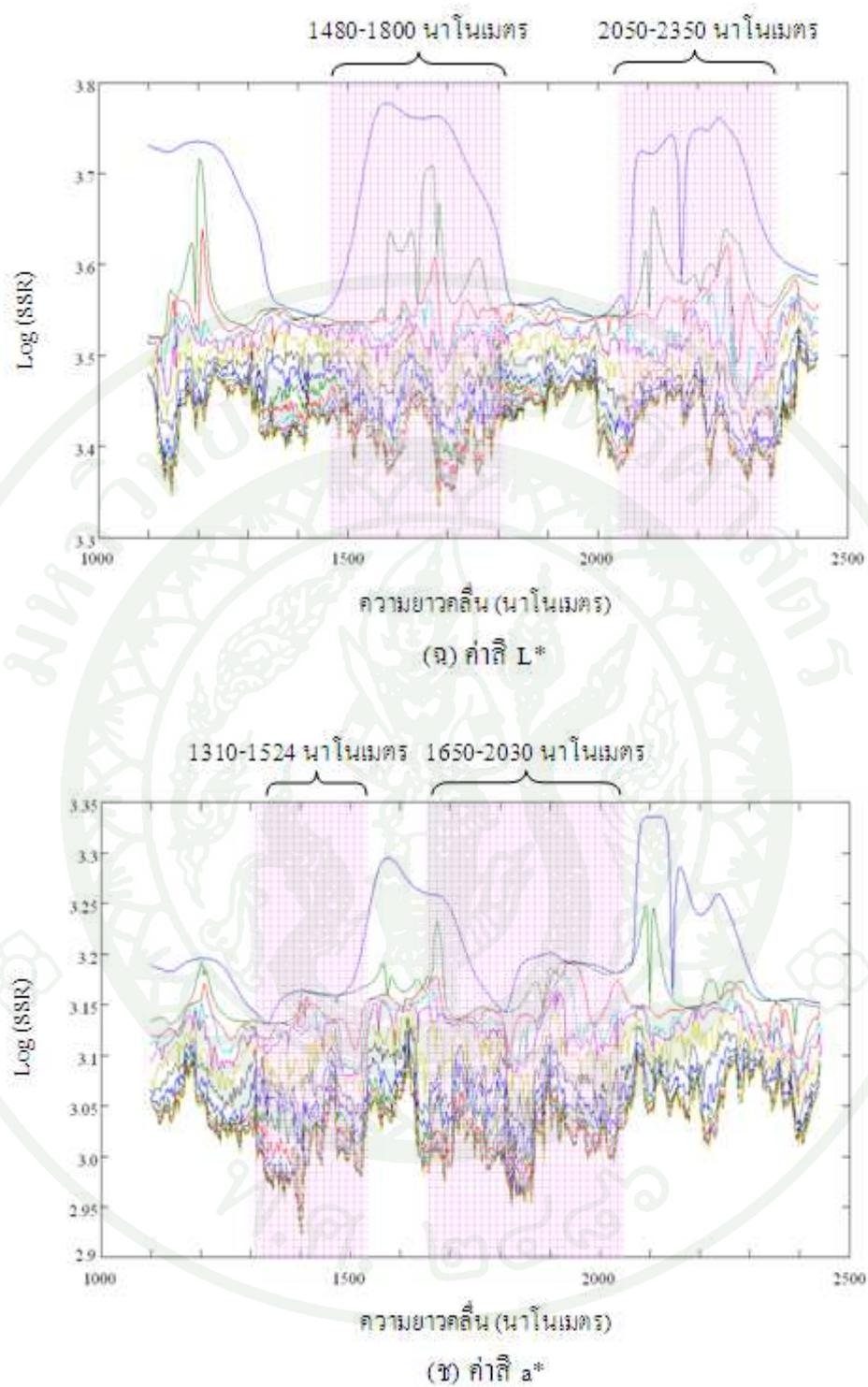


ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
(ง) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

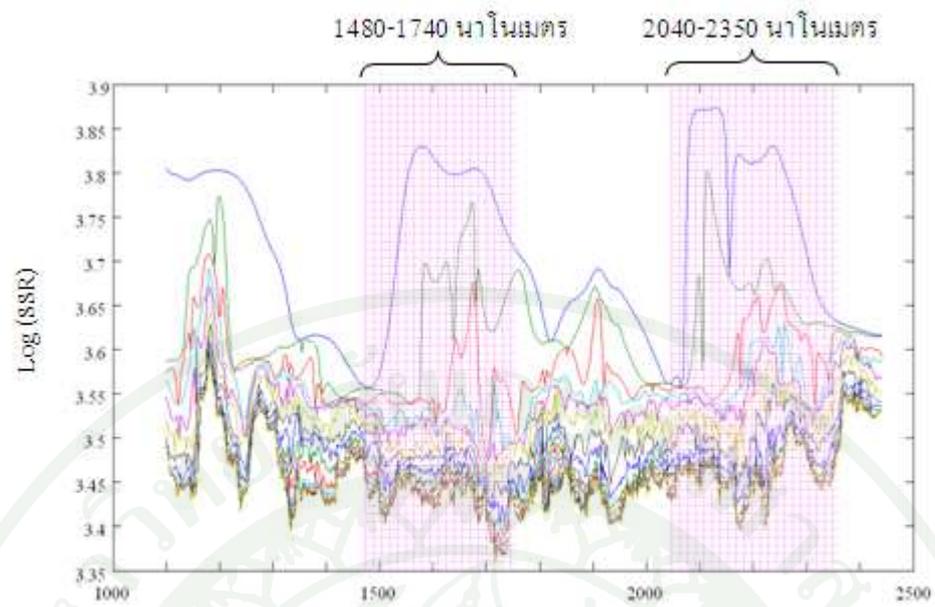


ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
(จ) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ภาพที่ 18 (ต่อ)

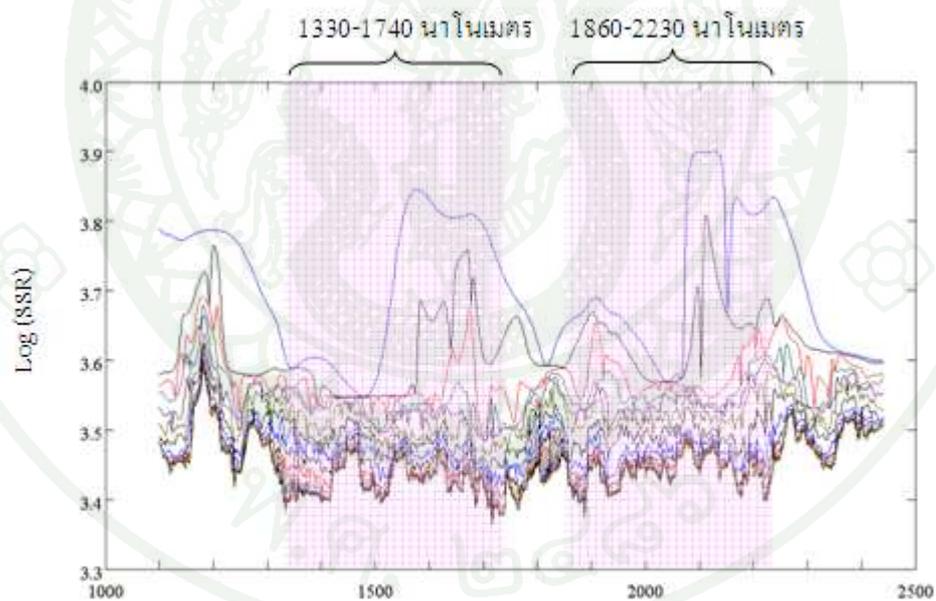


ภาพที่ 18 (ต่อ)



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

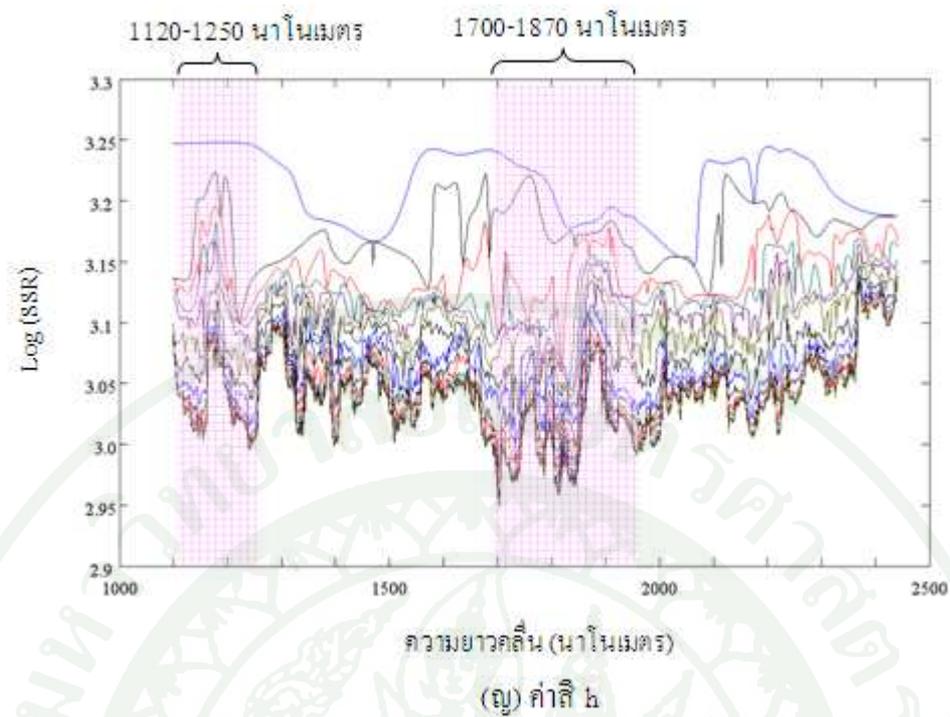
(ข) ค่าสี b*



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ฉ) ค่าสี C*

ภาพที่ 18 (ต่อ)



ภาพที่ 18 (ต่อ)

2.3.3 วิธี Searching Combination Moving Window Partial Least Squares Regression (SCMWPLSR)

เป็นขั้นตอนที่ทำต่อจากวิธี MWPLSR เพื่อให้ได้ช่วงความยาวคลื่นที่ให้สมการที่มีประสิทธิภาพสูงมากกว่าเดิม (Kasemsumran *et al.*, 2004) โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 3 แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR หมูฟังก์ชัน และ โมเลกุลที่เกี่ยวข้องของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (นาโนเมตร)	หมูฟังก์ชัน และ โมเลกุล ที่เกี่ยวข้อง
ปริมาณกรดทั้งหมด	1120-1250	-CH, -CH ₃
	1600- 1702	C=O, -OH, COOH group , -CH, CH ₃ group
	2050-2418	-CO, -OH, -C-CH ₃ , -CH
ค่า pH	1120-1200	-CH, -CH ₃
	1600-1900	-OH, -CH, CH ₃ group
	2180-2260	-OH, -C-CH ₃ , -CH
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	1600-1800	C=O, -OH, COO ⁻ , -CH, -CH ₂
	1980-2328	-CO, -OH, -CH, -CH ₂
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	1500-2000	-CO, C=O, COO ⁻ , -OH, -CH
	2180-2370	-CO, C=O, -CH, -CH ₂
ปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด	1500-1900	C=O, -OH, -CH, -CH ₂
	2000-2300	-CO, -OH, -CH, -CH ₂
ค่าสี : CIE L*a*b*		
ค่าสี L*	1480-1800	-CH, CH ₃ group
	2050-2350	-CH, -C=C-, (CH ₃) ₂ -C
ค่าสี a*	1310-1524	-CH, -C=C-
	1650-2030	-CH, CH ₃ group
ค่าสี b*	1480-1740	-CH, CH ₃ group
	2040-2350	-CH, -C=C-, (CH ₃) ₂ -C
ค่าสี C*	1330-1740	-CH, CH ₃ group
	1860-2230	-CH, -C=C-, (CH ₃) ₂ -C
ค่าสี h	1120-1250	-CH, CH ₃ group
	1700-1870	-CH, CH ₂ group

ที่มา: Williams and Norris (1990)

ตารางที่ 9 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR และ SCMWPLSR ของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	วิธีการเลือกความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	MWPLSR	SCMWPLSR
ปริมาณกรดทั้งหมด	1120-1250, 1600-1702, 2050-2418	1132-1148, 1628-1676, 2226-2306
ค่า pH	1120-1200, 1600-1900, 2180-2260	1160-1180, 1840-1852, 2240-2256
ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ	1600-1800, 1980-2328	1628-1776
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	1500-2000, 2180-2370	1704-1880, 2272-2280
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	1500-1900, 2000-2300	1516-1792, 2000-2288
ค่าสี : CIE L*a*b*		
ค่าสี L*	1480-1800, 2050-2350	1504-1716, 2062-2294
ค่าสี a*	1310-1524, 1650-2030	1362-1402, 1778-1926
ค่าสี b*	1480-1740, 2040-2350	1548-1564, 2176-2196
ค่าสี C*	1330-1740, 1860-2230	2172-2200
ค่าสี h	1120-1250, 1700-1870	1136-1168, 1736-1868

จากนั้นนำตัวแปร X ในแต่ละวิธีมาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ต้องการทำนาย ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการ แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในการทำนายค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ปริมาณกรดทั้งหมด ในรูปกรดอะซิติก(%w/w)	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	10	0.926	0.129	0.893	0.115	2.153
	MWPLSR ⁶	1120-1250	9	0.841	0.184	0.847	0.138	1.797
	MWPLSR ⁷	1600-1702	8	0.868	0.169	0.777	0.157	1.575
	MWPLSR ⁸	2050-2418	9	0.908	0.143	0.845	0.137	1.841
	MWPLSR ⁹	1120-1250, 1600-1702, 2050-2418	10	0.927	0.128	0.895	0.112	2.225
	SCMWPLSR ¹⁰	1132-1148, 1628-1676, 2226-2306	8	0.891	0.155	0.842	0.138	1.794
ค่า pH	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	10	0.784	0.123	0.713	0.109	1.369
	MWPLSR ⁶	1120-1200	8	0.681	0.145	0.579	0.124	1.201
	MWPLSR ⁷	1600-1900	9	0.714	0.138	0.693	0.108	1.386
	MWPLSR ⁸	2180-2260	8	0.676	0.146	0.517	0.139	1.072
	MWPLSR ⁹	1120-1200, 1600-1900, 2180-2260	9	0.747	0.131	0.725	0.104	1.442
	SCMWPLSR ¹⁰	1160-1180, 1840-1852, 2240-2256	7	0.713	0.139	0.674	0.112	1.330

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R^1_{cal}	RMSEC ²	R^3_{val}	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	9	0.969	2.231	0.952	2.939	3.269
	MWPLSR ⁶	1600-1800	7	0.958	2.598	0.953	2.859	3.281
	MWPLSR ⁷	1980-2328	6	0.954	2.721	0.952	2.882	3.258
	MWPLSR ⁸	1600-1800, 1980-2328	7	0.958	2.602	0.954	2.817	3.336
	SCMWPLSR ¹⁰	1628-1776	5	0.958	2.607	0.953	2.884	3.282
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	5	0.985	1.461	0.980	1.670	4.950
	MWPLSR ⁶	1500-2000	4	0.981	1.649	0.983	1.638	5.104
	MWPLSR ⁷	2180-2370	4	0.983	1.586	0.980	1.685	4.924
	MWPLSR ⁸	1500-2000, 2180-2370	4	0.984	1.517	0.982	1.617	5.136
	SCMWPLSR ¹⁰	1704-1880, 2272-2280	3	0.982	1.617	0.977	1.799	4.625
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	8	0.998	0.560	0.996	0.722	11.635
	MWPLSR ⁶	1500-1900	6	0.997	0.646	0.997	0.693	12.250
	MWPLSR ⁷	2000-2300	6	0.998	0.564	0.996	0.785	10.776
	MWPLSR ⁸	1500-1900, 2000-2300	6	0.997	0.635	0.997	0.662	12.737
	SCMWPLSR ¹⁰	1516-1792, 2000-2288	5	0.998	0.549	0.997	0.709	11.872

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R^1_{cal}	RMSEC ²	R^3_{val}	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ค่าสี L*	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	10	0.852	3.153	0.741	3.713	1.482
	MWPLSR ⁶	1480-1800	6	0.714	4.234	0.693	3.921	1.386
	MWPLSR ⁷	2050-2350	5	0.762	3.892	0.769	3.523	1.548
	MWPLSR ⁸	1480-1800, 2050-2350	7	0.816	3.473	0.798	3.329	1.647
	SCMWPLSR ¹⁰	1504-1716, 2062-2294	6	0.827	3.381	0.778	3.486	1.584
ค่าสี a*	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	9	0.772	2.277	0.711	2.433	1.396
	MWPLSR ⁶	1310-1524	6	0.673	2.651	0.737	2.286	1.476
	MWPLSR ⁷	1650-2030	8	0.765	2.307	0.731	2.304	1.465
	MWPLSR ⁸	1310-1524, 1650-2030	8	0.773	2.273	0.739	2.289	1.473
	SCMWPLSR ¹⁰	1362-1402, 1778-1926	5	0.736	2.428	0.721	2.355	1.431

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R^1_{cal}	RMSEC ²	R^3_{val}	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ค่าสี b*	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	9	0.834	3.724	0.775	4.055	1.577
	MWPLSR ⁶	1480-1740	7	0.809	3.966	0.766	4.099	1.551
	MWPLSR ⁷	2040-2350	8	0.814	3.926	0.775	4.002	1.579
	MWPLSR ⁸	1480-1740, 2040-2350	8	0.827	3.798	0.787	3.933	1.620
	SCMWPLSR ⁹	1548-1564, 2176-2196	3	0.776	4.261	0.712	4.501	1.423
ค่าสี C*	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	6	0.810	4.071	0.800	3.961	1.659
	MWPLSR ⁶	1330-1740	5	0.785	4.300	0.775	4.245	1.530
	MWPLSR ⁷	1860-2230	5	0.789	4.267	0.775	4.139	1.570
	MWPLSR ⁸	1330-1740, 1860-2230	6	0.811	4.066	0.805	3.952	1.658
	SCMWPLSR ⁹	2172-2200	4	0.789	4.269	0.741	4.523	1.436

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ค่าสี h (°)	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	10	0.676	2.232	0.655	2.563	1.314
	MWPLSR ⁶	1120-1250	8	0.643	2.321	0.625	2.658	1.268
	MWPLSR ⁷	1700-1870	8	0.660	2.277	0.619	2.689	1.257
	MWPLSR ⁸	1120-1250, 1700-1870	9	0.697	2.172	0.675	2.561	1.326
	SCMWPLSR ¹⁰	1136-1168, 1736-1868	8	0.659	2.279	0.634	2.630	1.282

- หมายเหตุ ¹ R_{cal} หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ
- ²RMSEC หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ
- ³ R_{val} หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง
- ⁴RMSEP หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง
- ⁵RPD หมายถึง The ratio of standard deviation of reference data in the validation set to SEP
- ⁶MWPLSR หมายถึง วิธีการสถิติ Moving window partial least square regression ช่วงความยาวคลื่นที่หนึ่ง
- ⁷MWPLSR หมายถึง วิธีการสถิติ Moving window partial least square regression ช่วงความยาวคลื่นที่สอง
- ⁸MWPLSR หมายถึง วิธีการสถิติ Moving window partial least square regression ช่วงความยาวคลื่นที่สาม
- ⁹MWPLSR หมายถึง วิธีการสถิติ Moving window partial least square regression ช่วงความยาวคลื่นที่หนึ่ง สอง และสาม
- ¹⁰SCMWPLSR หมายถึง วิธีการสถิติ Searching combination moving window partial least square regression

เมื่อพิจารณาสมการทำนายที่สร้างขึ้นจากวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในตารางที่ 10 ให้ผลการศึกษาดังนี้

สมการทำนายปริมาณกรดทั้งหมด พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1120-1250, 1600-1702 และ 2050-2418 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นสมการที่ใช้จำนวนแฟลคเตอร์น้อย ให้ค่า R_{cal} สูง และค่า RMSEC ต่ำ โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 10 แฟลคเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.927 และ 0.128 %w/w ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และโมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yano *et al.*, (1997) ที่รายงานไว้ว่า พบการสั่นของพันธะ C-H ซึ่งเกี่ยวข้องกับกรดอะซิติกที่ความยาวคลื่น 1672 และ 2254 นาโนเมตร และงานวิจัยของ Gonzales *et al.*, (2008) รายงานว่า พบที่ความยาวคลื่น 1608, 1696 1700 และ 1702 นาโนเมตร เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสมให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.895, 0.112 %w/w และ 2.225 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 19

สมการทำนายค่า pH พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1120-1200, 1600-1900 และ 2180-2260 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นสมการที่ใช้จำนวนแฟลคเตอร์น้อย ให้ค่า R_{cal} สูง และค่า RMSEC ต่ำ โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 9 แฟลคเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.747 และ 0.131 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และโมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.725, 0.104 และ 1.442 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 20 จะเห็นว่าสมการทำนายค่า pH ให้ผลการทำนายค่อนข้างต่ำ โดย Ruoff *et al.* (2007) กล่าวว่า ความเป็นกรด-ด่าง เป็นสสารที่มีอนุภาคเล็กมาก อาจส่งผลให้มีความสัมพันธ์กับค่าการดูดแสง NIR ค่อนข้างอ่อน

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี SCMWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1628-1776 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นสมการที่ใช้จำนวนแฟลคเตอร์น้อย ให้ค่า R_{cal} สูง และค่า RMSEC ต่ำ โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 5 แฟลคเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.958 และ 2.607 %w/w ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และโมเลกุลตาม

การศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Luis (2001) ที่รายงานไว้ว่า พบการสั่นของพันธะ O-H ซึ่งเกี่ยวข้องกับน้ำตาลที่ความยาวคลื่น 1666-2500 นาโนเมตร และงานวิจัยของ Goula *et al.* (2003) ที่รายงานไว้ว่าพบการสั่นของพันธะที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาลรีดิวซ์ที่ความยาวคลื่น 1722 และ 1759 นาโนเมตร เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.953, 2.883 %w/w และ 3.282 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 21

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1500-2000 และ 2180-2370 นาโนเมตร และวิธี SCMWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1704-1880 และ 2272-2280 นาโนเมตร มีค่าประสิทธิภาพในการทำนายใกล้เคียงกัน แต่ได้ทำการเลือกวิธี SCMWPLSR เป็นสมการที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้ขจัดความยาวคลื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าที่ต้องการทำนายออกไปแล้ว โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 3 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.982 และ 1.617 %w/w ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และโมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Luis (2001) ที่รายงานไว้ว่า พบการสั่นของพันธะ O-H ซึ่งเกี่ยวข้องกับน้ำตาลที่ความยาวคลื่น 1666-2500 นาโนเมตร และงานวิจัยของ Ramble *et al.* (1997) ที่รายงานไว้ว่าพบการสั่นของพันธะที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสที่ความยาวคลื่น 2271 นาโนเมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสมให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.977, 1.799 %w/w และ 4.625 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 22

สมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี SCMWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1516-1792 และ 2000-2288 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นสมการที่ใช้จำนวนแฟกเตอร์น้อย ให้ค่า R_{cal} สูง และค่า RMSEC ต่ำ โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 5 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.998 และ 0.549 °Brix ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และโมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramble *et al.* (1997) ที่รายงานไว้ว่าพบการสั่นของพันธะที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาลซูโครสที่ความยาวคลื่น 1584, 2120 และ 2274 นาโนเมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.997, 0.709 °Brix และ 11.872 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 23

สมการทำนายค่าความสว่าง (L^*) พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1480-1800 และ 2050-2350 นาโนเมตร เป็นสมการที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 7 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.816 และ 3.473 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.798, 3.329 และ 1.647 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 24

สมการทำนายค่าสีแดง-เขียว (a^*) พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1310-1524 และ 1650-2030 นาโนเมตร เป็นสมการที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 8 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.773 และ 2.273 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.739, 2.289 และ 1.473 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 25 โดยค่า a^* มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคโรทีนอยด์ (Ruiz *et al.*, 2008) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในผักและผลไม้ที่มีสีแดง เหลือง และส้ม

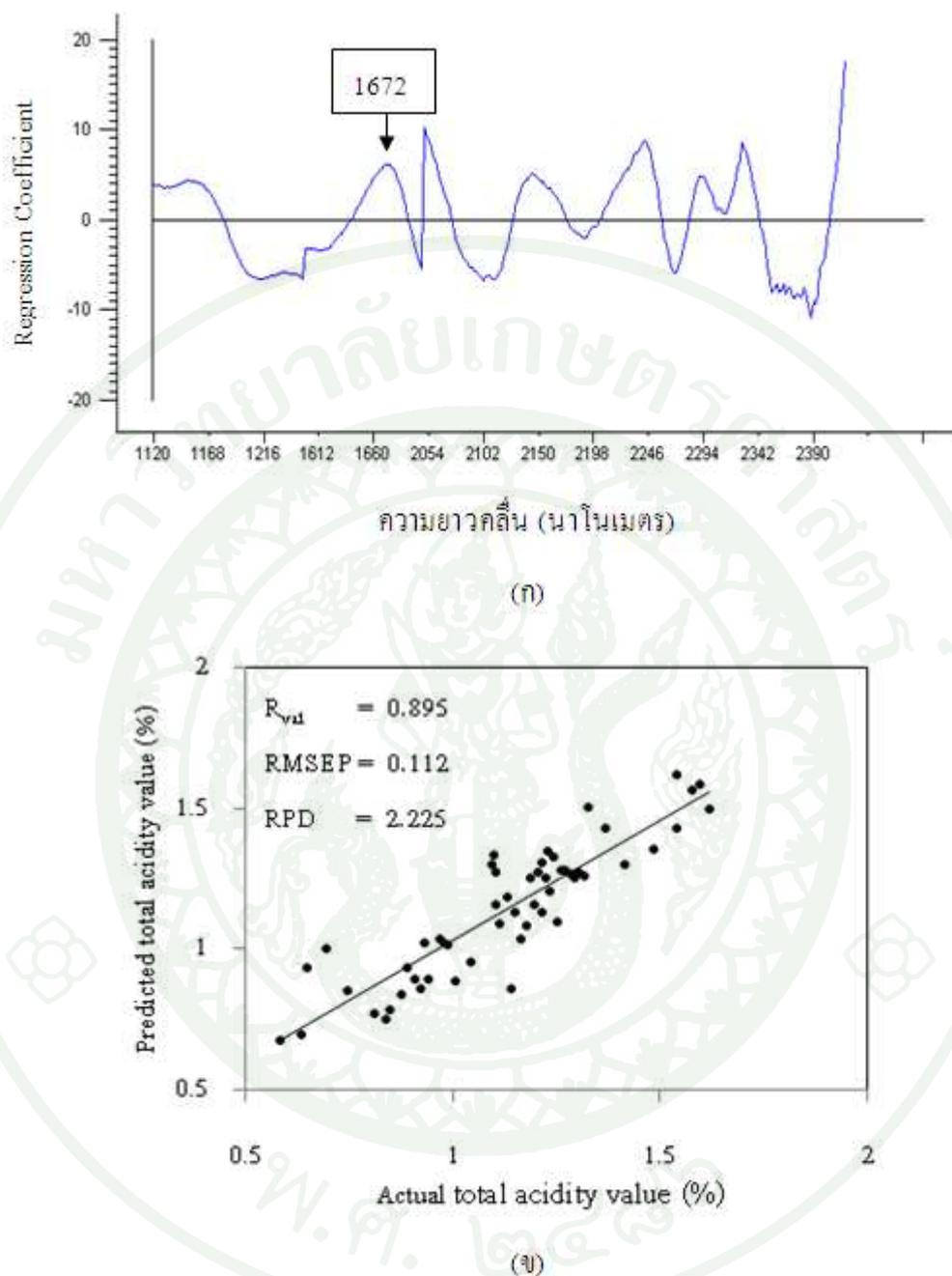
สมการทำนายค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1480-1740 และ 2040-2350 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 8 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.827 และ 3.798 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.787, 3.933 และ 1.620 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 26

สมการทำนายค่าความเข้มของสี (C^*) พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1330-1740 และ 1860-2230 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นสมการที่ใช้จำนวนแฟกเตอร์น้อย ให้ค่า R_{cal} สูง และค่า RMSEC ต่ำ โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 6 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.811 และ 4.066 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลตามการศึกษาของ

Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.805, 3.952 และ 1.658 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 27

สมการทำนายค่ามุมของสี (h) พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1120-1250 และ 1700-1870 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นสมการที่ใช้จำนวนแฟกเตอร์น้อย ให้ค่า R_{cal} สูง และค่า RMSEC ต่ำ โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 9 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.697 และ 2.172° ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.675, 2.561° และ 1.326 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 28

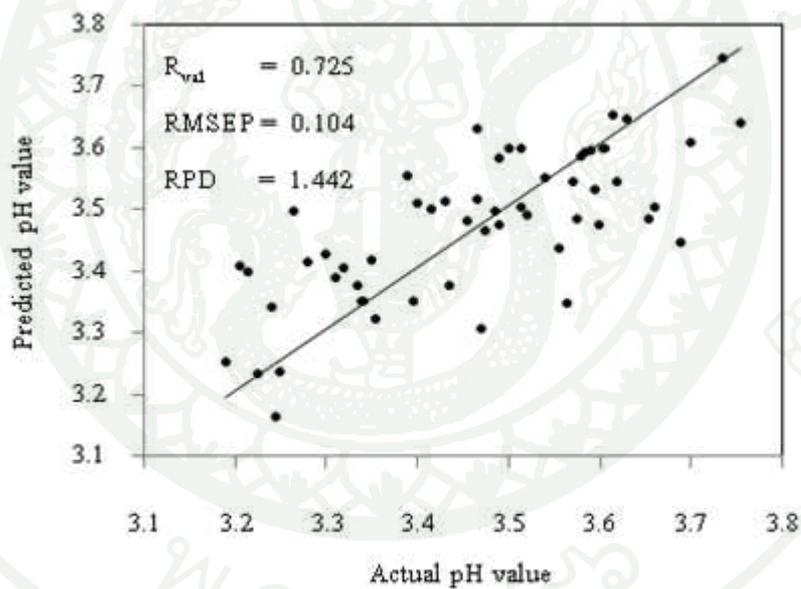
จากผลการศึกษาทั้งหมด พบว่า สมการทำนายที่สร้างโดยวิธี SCMWPLSR ไม่สามารถทำนายค่าคุณภาพในเรื่องปริมาณกรดทั้งหมด ค่า pH ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ h ได้ดีที่สุด เนื่องจาก ค่าคุณภาพเหล่านี้มีช่วงข้อมูลที่ใช้สร้างสมการที่แคบ ในส่วนของค่าสีเป็นค่าคุณภาพทางกายภาพ ซึ่งส่งผลให้มีความสัมพันธ์ระหว่างพันธะเคมีกับค่าการดูดแสง NIR ค่อนข้างอ่อน (Ritthiruangdej, 2006) จึงอาจไม่เพียงพอสำหรับวิธี SCMWPLSR



ภาพที่ 19 ปริมาณกรดทั้งหมดของซอสพริก (%w/w) โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1120-1250, 1600-1702 และ 2050-2418 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)

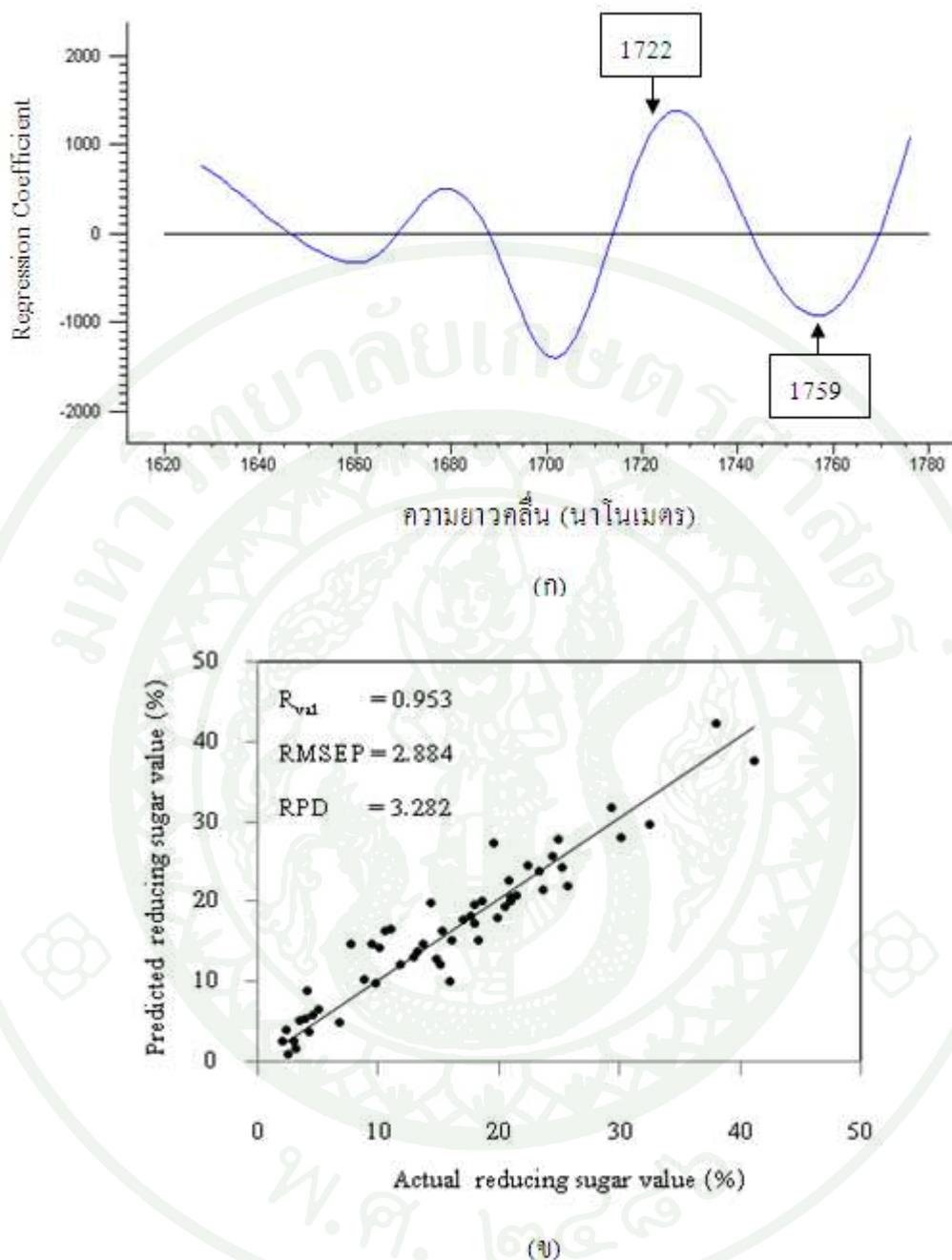


(ก)

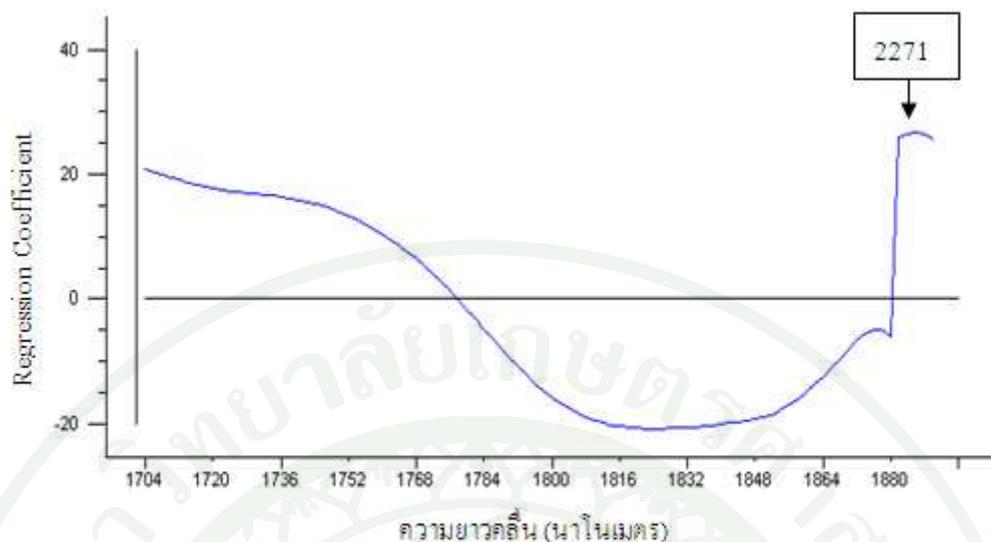


(ข)

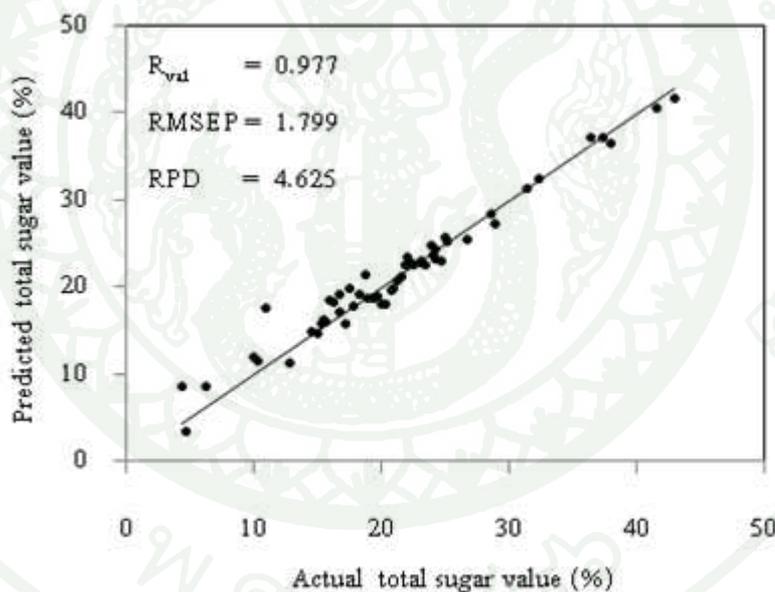
ภาพที่ 20 ค่า pH ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1120-1200, 1600-1900 และ 2180-2260 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



ภาพที่ 21 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของซอสพริก (%w/w) โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี SCMWPLSR ช่วง 1628-1776 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)

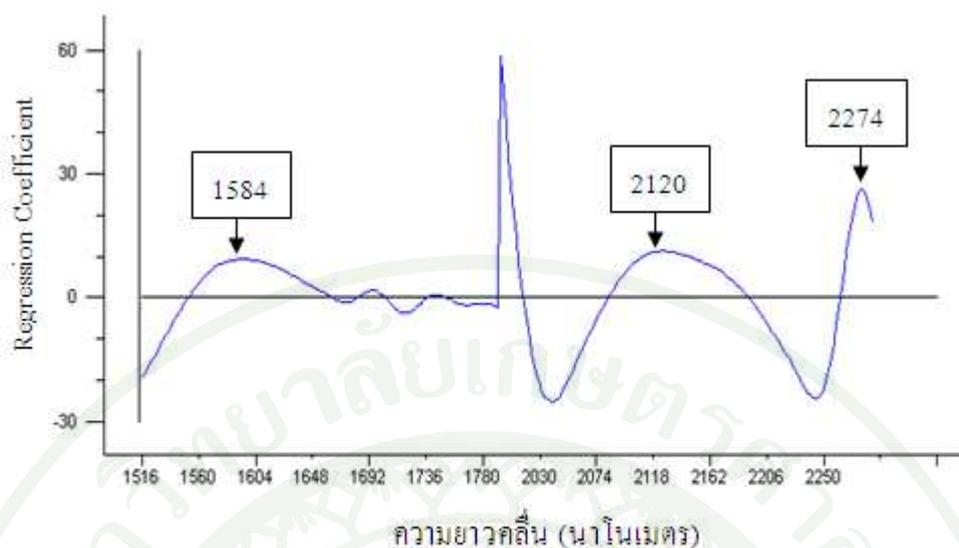


(ก)

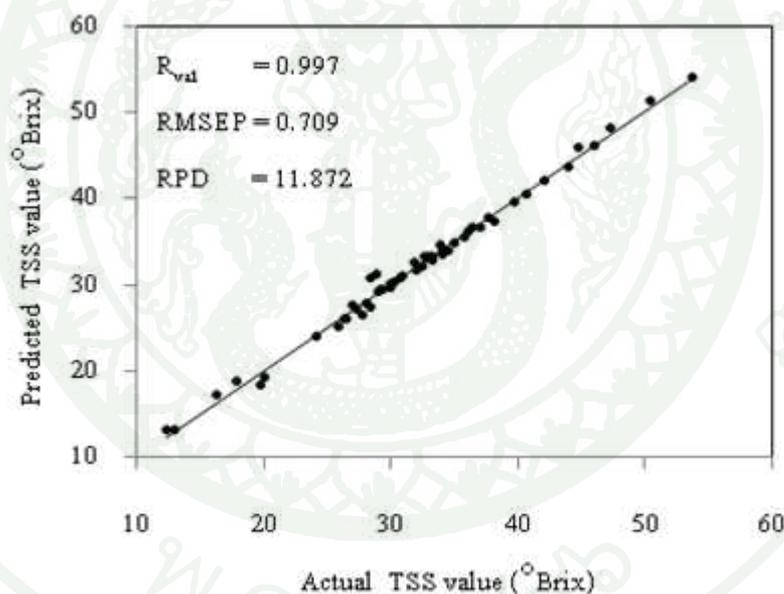


(ข)

ภาพที่ 22 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของซอสพริก (%w/w) โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี SCMWPLSR ช่วง 1704-1880 และ 2272-2280 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



(ก)

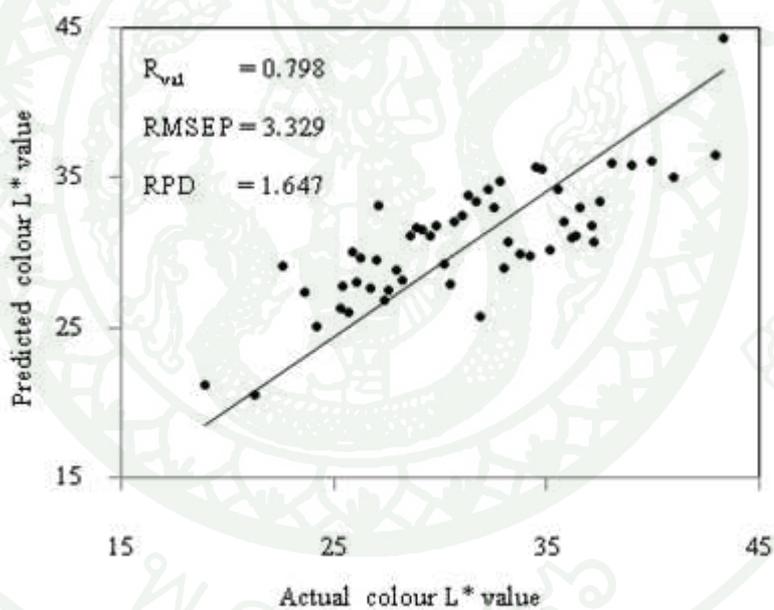


(ข)

ภาพที่ 23 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี SCMWPLSR ช่วง 1516-1792 และ 2000-2288 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)

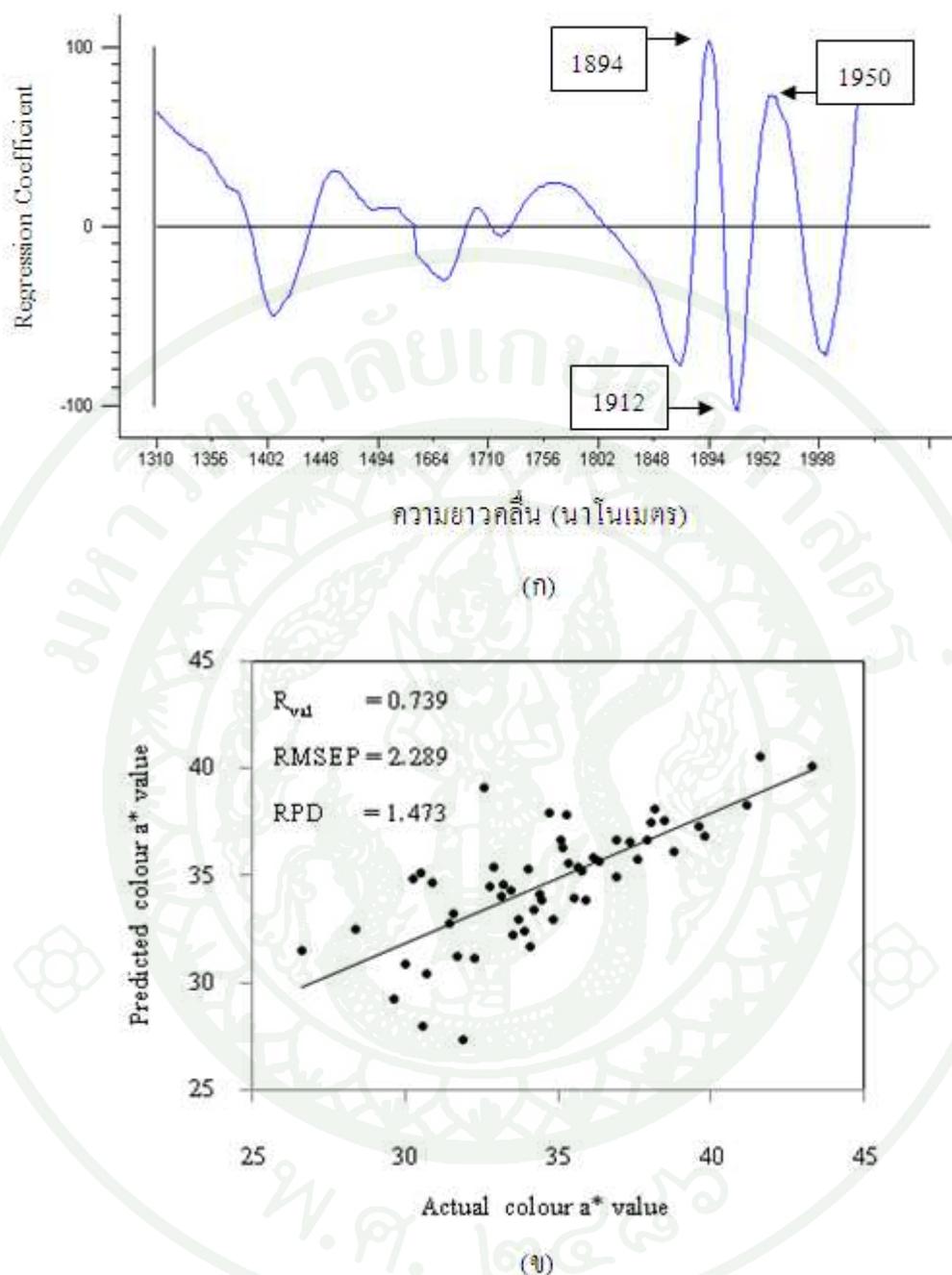


(ก)

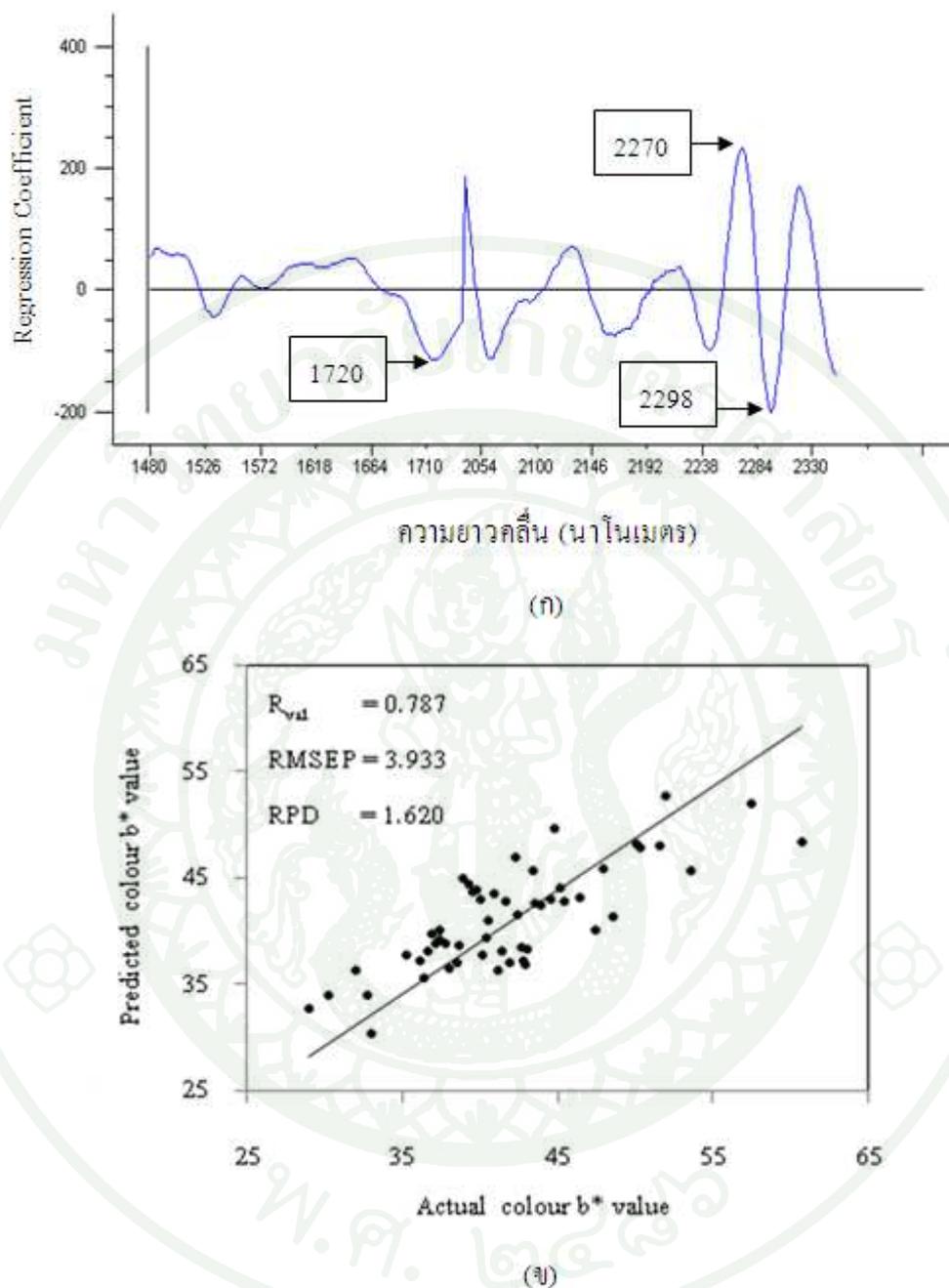


(ข)

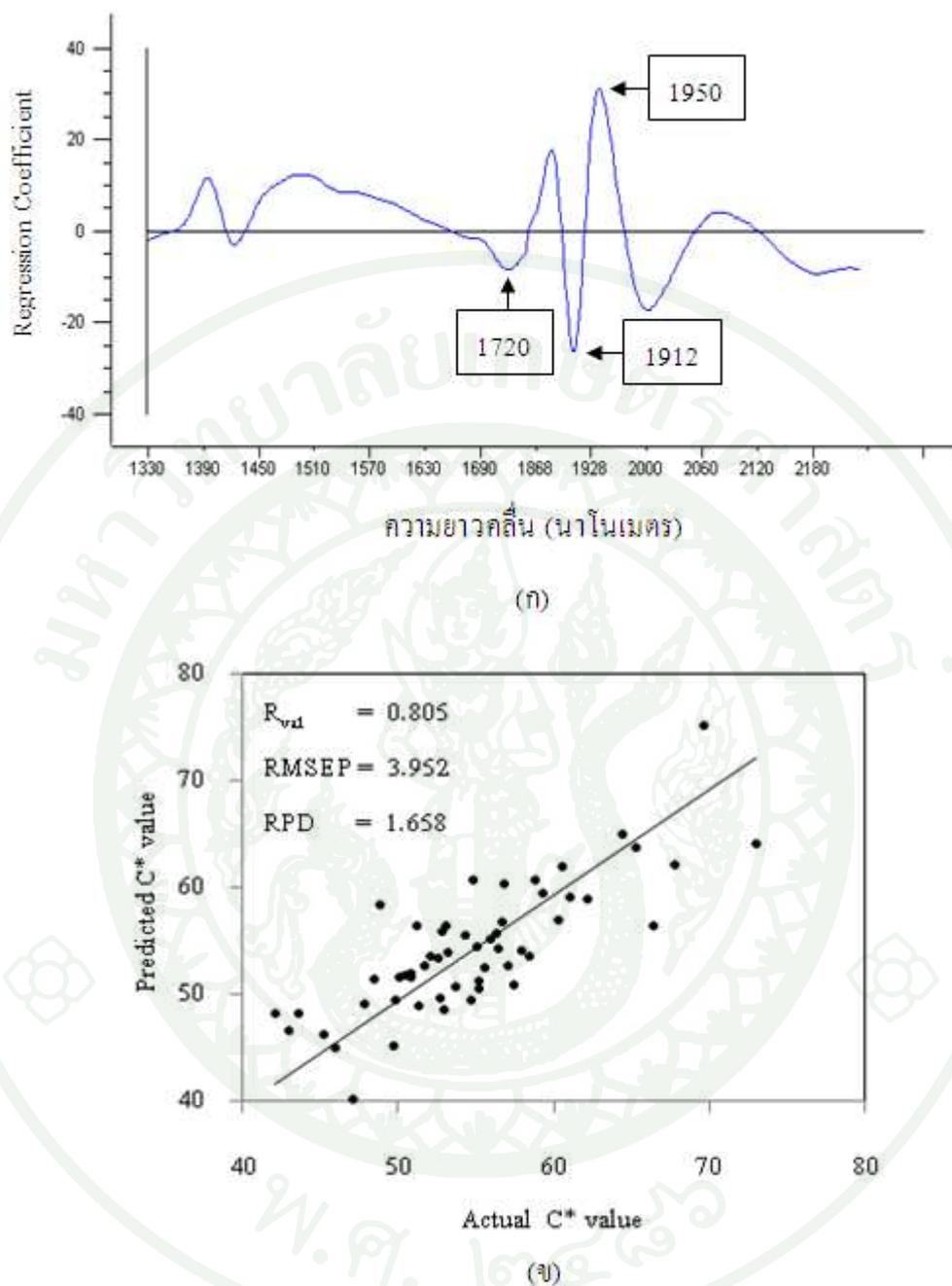
ภาพที่ 24 ค่าสี L^* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1480-1800 และ 2050-2350 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



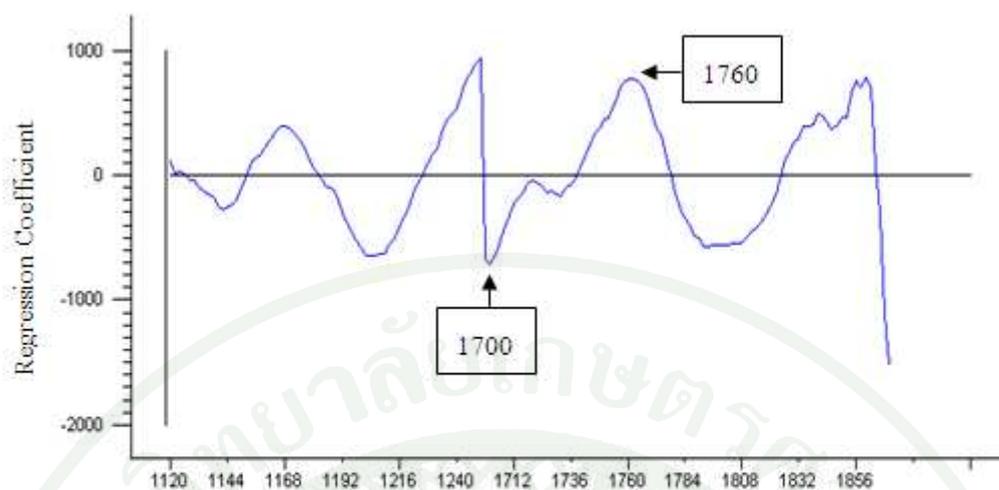
ภาพที่ 25 ค่า a^* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1310-1524 และ 1650-2030 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



ภาพที่ 26 ค่าสี b^* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1480-1740 และ 2040-2350 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)

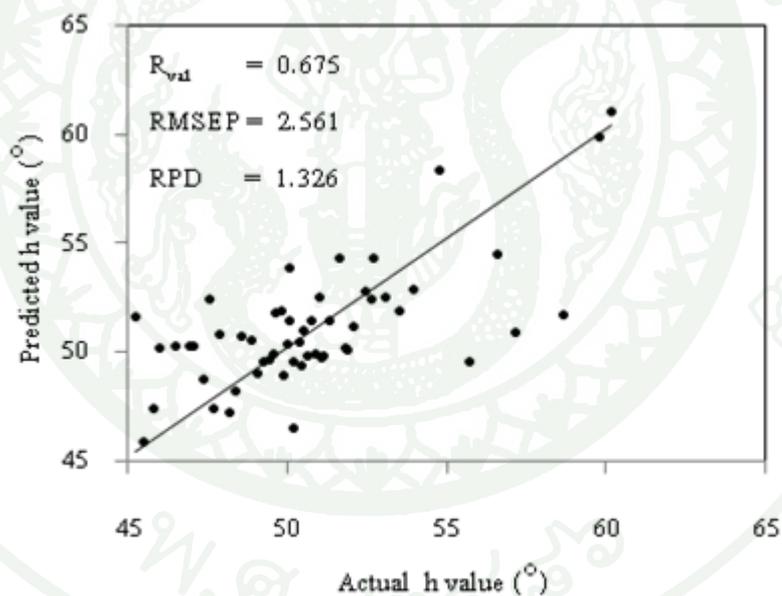


ภาพที่ 27 ค่าสี C^* ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1330-1740 และ 1860-2230 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ก)



(ข)

ภาพที่ 28 ค่าสี h (°) ของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นวิธี MWPLSR ช่วง 1120-1250 และ 1700-1870 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)

3. สร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริก

ในส่วนของการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คุณภาพทางเคมีคือ ปริมาณแคปไซซิน (Capsaicin) และปริมาณ Scoville heat units (SHU) ในส่วนที่ 2 คือคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ได้ผลการศึกษาดังนี้

3.1 การศึกษาคุณภาพด้านความเผ็ดทางเคมีของซอสพริก

ใช้ตัวอย่างซอสพริกจำนวน 100 ตัวอย่าง ในสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางเคมี ดังนี้คือ

3.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU

จากการวัดค่าความเผ็ดทางเคมีในเรื่องปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU นำมาแบ่งเป็นกลุ่มแบบสุ่ม เพื่อใช้ในการสร้างสมการ (Calibration set) จำนวน 70 ตัวอย่าง และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set) จำนวน 30 ตัวอย่าง ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ของตัวอย่างซอสพริกในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการและกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง

ค่าคุณภาพ	กลุ่มสร้างสมการ (n=70)			กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (n=30)		
	\bar{x}	SD	Range	\bar{x}	SD	Range
ปริมาณแคปไซซิน	17.85	9.33	5.07-42.29	18.11	10.03	5.76-37.34
ปริมาณ SHU	979.77	523.96	255.0-2490.3	1004.50	556.18	293.0-2185.0

หมายเหตุ ปริมาณแคปไซซิน หน่วย mg/kg

ปริมาณ SHU หน่วย SHU

จากตารางที่ 11 พบว่า ตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องมีค่าปริมาณ แคลป์ไซซิน และปริมาณ SHU อยู่ในช่วงของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ เนื่องจากต้องการให้สมการ ทำนายที่สร้างขึ้นสามารถทำนายได้ครอบคลุมตัวอย่างได้ทั้งหมด

3.1.2 การวัดค่าการดูดกลืนของแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

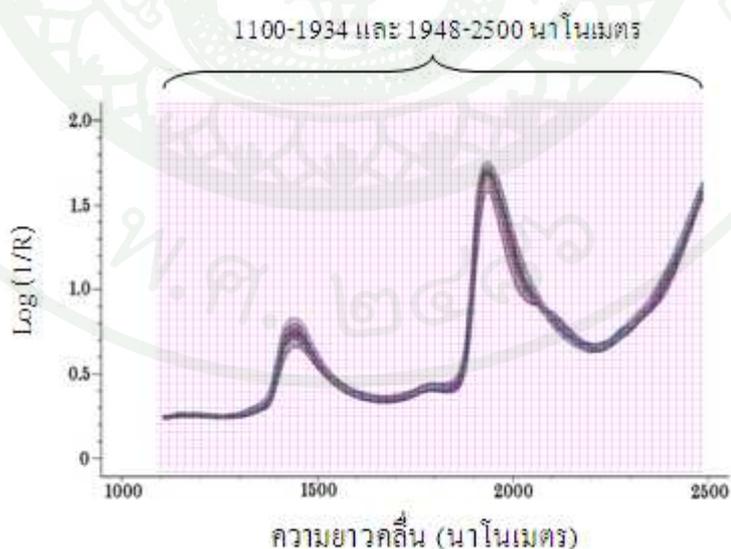
สเปกตรัมเช่นเดียวกับข้อ 2.2 แต่ใช้ข้อมูลตัวอย่างจำนวน 100 ตัวอย่าง

3.1.3 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางเคมีของ ซอสพริก

นำข้อมูลสเปกตรัมในข้อ 3.1.2 มาหาความยาวคลื่น (ตัวแปร X) ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเผ็ดทางเคมี (ตัวแปร Y) ในข้อ 3.1.1 โดยมีขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 2.3 ได้ผลการศึกษาดังนี้

ก. วิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full spectra

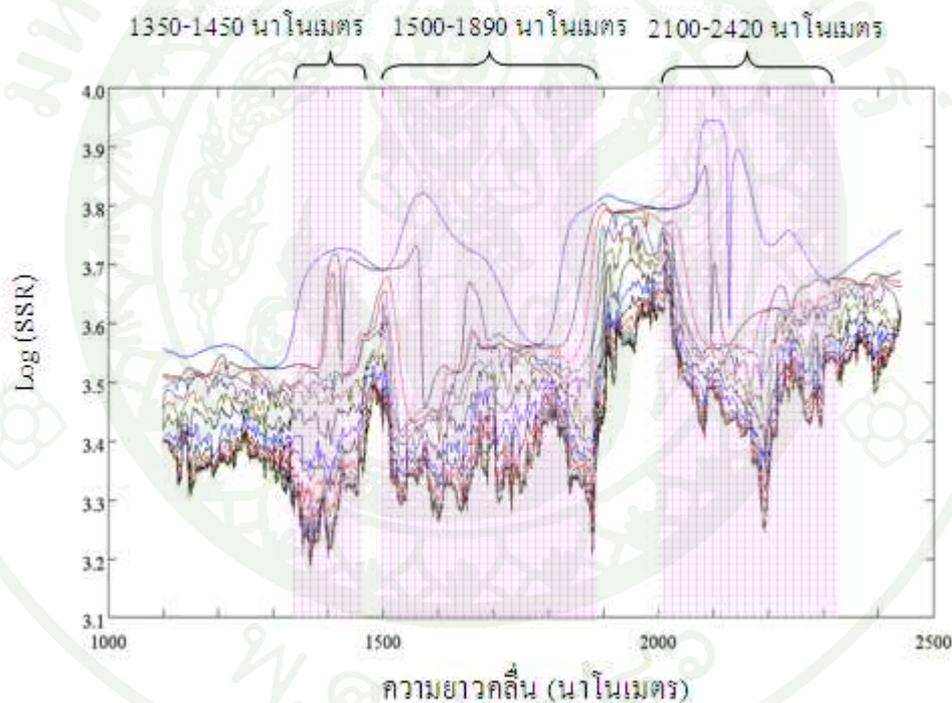
เป็นวิธีการหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากการนำความยาวคลื่น ทั้งหมดเป็นตัวแปร X ชุดที่ 1 แสดงดังภาพที่ 29



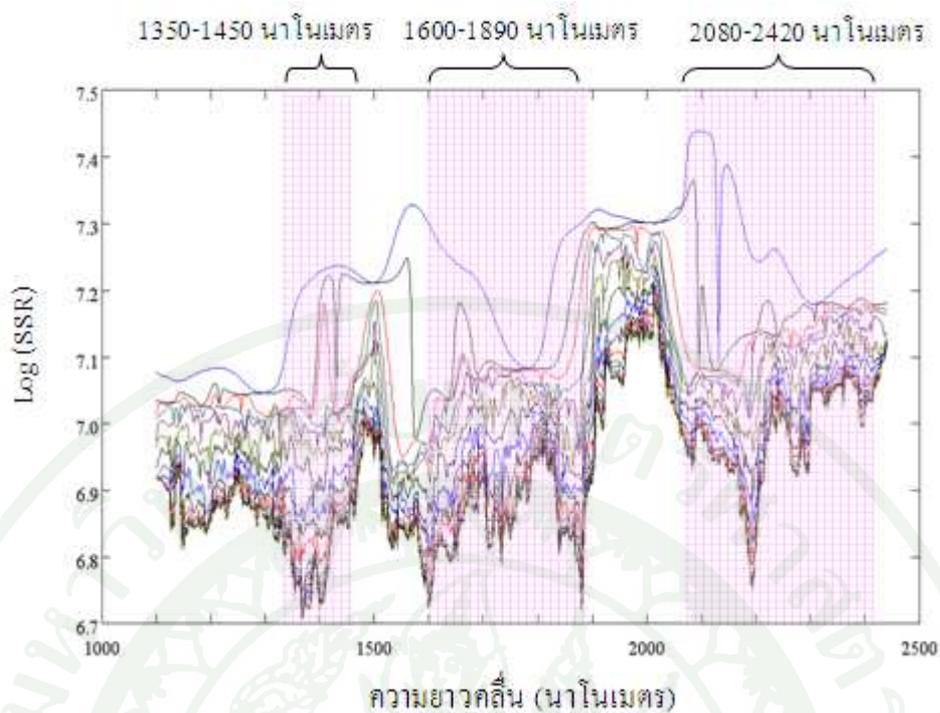
ภาพที่ 29 ช่วงความยาวคลื่น (ส่วนที่แรเงา) ที่ใช้สร้างสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra ในการทำนายปริมาณแคลป์ไซซิน และปริมาณ SHU ของซอสพริก

ข. วิธี Moving Window Partial Least Squares Regression (MWPLSR)

เป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ให้สมการที่มีประสิทธิภาพสูง (Jiang *et al.*, 2002) โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 2 จากภาพที่ 30 และ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log (SSR) กับความยาวคลื่นของปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ในซอสพริก ตามลำดับ พบว่า ได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม 3 ช่วง โดยที่ช่วงปริมาณแคปไซซิน คือ 1350-1450, 1500-1890 และ 2100-2420 นาโนเมตร ในขณะที่ช่วงปริมาณ SHU คือ 1350-1450, 1600-1890 และ 2080-2420 นาโนเมตร เนื่องจากให้ค่า Log (SSR) อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งในแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งพันธะที่เกี่ยวข้องกับค่าคุณภาพนั้นอยู่ แสดงดังตารางที่ 12



ภาพที่ 30 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรเงา) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายปริมาณแคปไซซินของซอสพริก



ภาพที่ 31 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรง) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายปริมาณ SHU ของซอสพริก

ตารางที่ 12 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR หมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลที่เกี่ยวข้องของปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (นาโนเมตร)	หมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลที่เกี่ยวข้อง
ปริมาณแคปไซซิน	1350-1450	C=O, -OH
	1500-1890	-CN, C-O, C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , C-CH ₃ , -CH=CH-, CH ₃ group
	2100-2420	-CN, C-O, C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , (CH ₃) ₂ -C , C-CH ₃ ,
ปริมาณ SHU	1350-1450	C=O, -OH
	1600-1890	-CN, C-O, C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , C-CH ₃ , -CH=CH-, CH ₃ group
	2080-2420	-CN, C-O, C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , (CH ₃) ₂ -C , C-CH ₃ ,

ที่มา: Williams and Norris (1990)

ก. วิธี Searching Combination Moving Window Partial Least Squares Regression (SCMWPLSR)

เป็นขั้นตอนที่ทำต่อจากวิธี MWPLSR เพื่อให้ได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพสูงมากกว่าเดิม (Kasemsumran *et al.*, 2004) โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 3 แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR และ SCMWPLSR ของปริมาณแคปไซซิน และปริมาณSHU ในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	วิธีการเลือกความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	MWPLSR	SCMWPLSR
ปริมาณแคปไซซิน	1350-1450, 1500-1890, 2100-2420	1684-1776, 2196-2228
ปริมาณ SHU	1350-1450, 1600-1890, 2080-2420	1656-1780, 2196-2228

จากนั้นนำตัวแปร X ในแต่ละวิธีมาหาความสัมพันธ์กับค่าความเค็มที่ต้องการทำนาย ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการ แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในการทำนายค่าความเค็มทางเคมีในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ปริมาณแคปไซซิน (mg/kg)	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	10	0.950	2.899	0.944	3.469	2.850
	MWPLSR ⁶	1350-1450	9	0.868	4.592	0.869	5.295	1.977
	MWPLSR ⁷	1500-1890	9	0.856	4.782	0.844	5.448	1.846
	MWPLSR ⁸	2100-2420	8	0.823	5.261	0.839	5.484	1.824
	MWPLSR ⁹	1350-1450, 1500-1890, 2100-2420	10	0.943	3.075	0.949	3.455	3.075
	SCMWPLSR ¹⁰	1684-1776, 2196-2228	9	0.902	4.002	0.938	3.636	2.765
ปริมาณ SHU (SHU)	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	9	0.934	185.270	0.931	212.176	2.613
	MWPLSR ⁶	1350-1450	8	0.823	295.622	0.825	310.246	1.764
	MWPLSR ⁷	1600-1890	8	0.841	281.286	0.812	321.226	1.704
	MWPLSR ⁸	2080-2420	7	0.807	306.947	0.823	311.925	1.758
	MWPLSR ⁹	1350-1450, 1600-1890, 2080-2420	8	0.915	210.007	0.929	205.488	2.662
	SCMWPLSR ¹⁰	1656-1780, 2196-2228	7	0.894	233.433	0.891	253.687	2.179

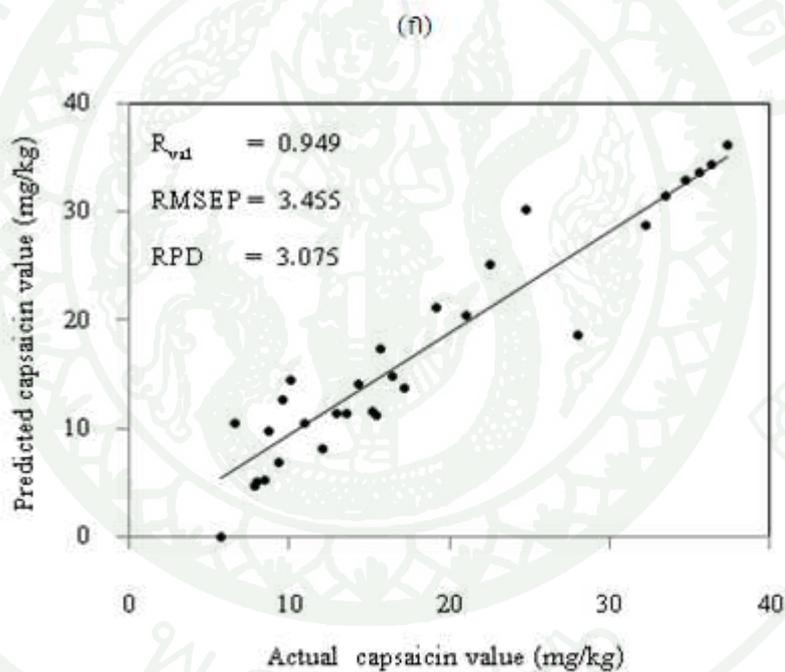
หมายเหตุ สัญลักษณ์^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10} เช่นเดียวกับตารางที่ 10

เมื่อพิจารณาสมการทำนายที่สร้างขึ้นจากวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในตารางที่ 14 ให้ผลการศึกษาดังนี้

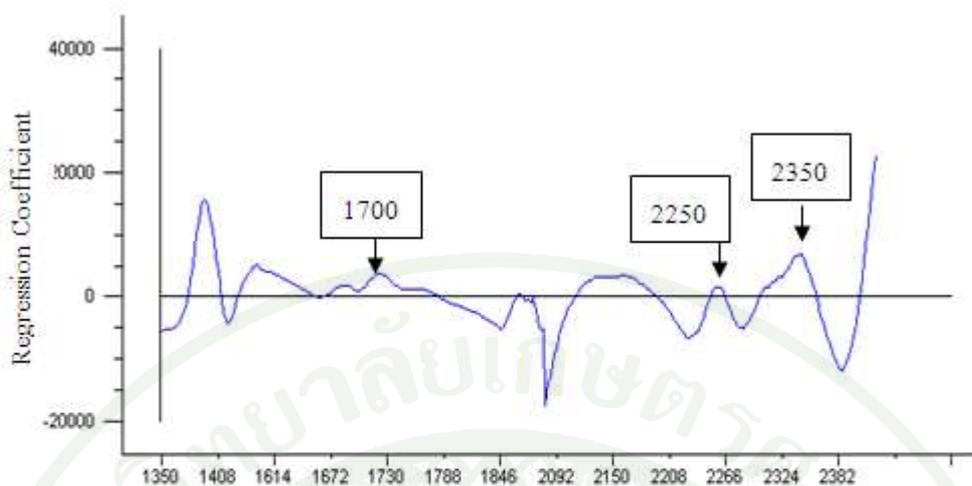
สมการทำนายปริมาณแคปไซซิน พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี PLSR แบบ Full spectra และวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1350-1450, 1500-1890 และ 2100-2420 นาโนเมตร มีค่าประสิทธิภาพในการทำนายใกล้เคียงกัน แต่ได้ทำการเลือกวิธี MWPLSR เป็นสมการที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้ขจัดความยาวคลื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าที่ต้องการทำนายออกไปแล้ว โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 10 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.943 และ 3.075 mg/kg ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และ โมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Iwamoto *et al.* (1984) ที่รายงานไว้ว่า พบการสั่นของพันธะ C-H ของสารแคปไซซินที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 1700, 1760, 2250 และ 2350 นาโนเมตร และพันธะ O-H group ของสารแคปไซซินที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 2200 นาโนเมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.949, 3.455 mg/kg และ 3.075 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 14 และภาพที่ 32

สมการทำนายปริมาณ SHU พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1350-1450, 1600-1890 และ 2080-2420 นาโนเมตร มีความเหมาะสมที่สุด และเป็นช่วงคลื่นที่ใกล้เคียงกับปริมาณแคปไซซิน เนื่องจากปริมาณแคปไซซินเป็นส่วนหนึ่งของปริมาณ SHU (ชวานพิศ, 2550) โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 8 แฟกเตอร์ ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.915 และ 210.007 SHU ตามลำดับ และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.929, 205.488 SHU และ 2.662 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 14 และภาพที่ 33

จากผลการศึกษาทั้งหมด พบว่า สมการทำนายที่สร้างโดยวิธี SCMWPLSR ไม่สามารถทำนายค่าคุณภาพความเผ็ดในเรื่องปริมาณแคปไซซิน และปริมาณ SHU ได้ดีที่สุด เนื่องจากค่าคุณภาพเหล่านี้มีหน่วยที่ใช้สร้างสมการที่เล็กมากคือ ระดับส่วนในล้านส่วน (parts per million, ppm) จึงอาจไม่เพียงพอสำหรับวิธี SCMWPLSR

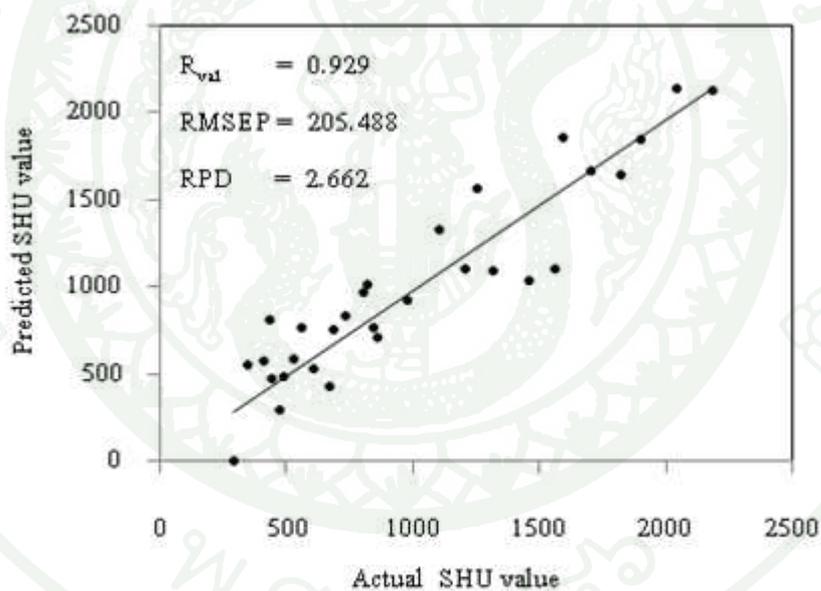


ภาพที่ 32 ปริมาณแคปไซซินของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1350-1450, 1500-1890 และ 2100-2420 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ก)



(ข)

ภาพที่ 33 ปริมาณ SHU โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1350-1450, 1600-1890 และ 2080-2420 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (actual value)

3.2 การศึกษาคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

ใช้ตัวอย่างซอสพริกจำนวน 40 ตัวอย่าง ในสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัส ดังนี้คือ

3.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Generic descriptive analysis) โดยคุณลักษณะด้านความเผ็ด คำอธิบาย ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้ม แสดงดังตารางที่ 15 จากนั้นให้ผู้ทดสอบระบุระดับความเข้มของคุณลักษณะต่างๆ โดยให้คะแนน 0-15 (น้อยไปมาก) ลงในใบบันทึกผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของซอสพริก แสดงดังภาคผนวก ง

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของซอสพริกในคุณลักษณะความเผ็ดโดยรวม ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ นำมาแบ่งเป็นกลุ่มแบบสุ่ม เพื่อใช้ในการสร้างสมการ (Calibration set) จำนวน 28 ตัวอย่าง และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set) จำนวน 12 ตัวอย่าง ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 16 พบว่า ตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องมีค่าความเผ็ดโดยรวม ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ อยู่ในช่วงของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ เนื่องจากต้องการให้สมการทำนายที่สร้างขึ้นสามารถทำนายได้ครอบคลุมตัวอย่างได้ทั้งหมด

ตารางที่ 15 คำอธิบายคำศัพท์ คำจำกัดความ ตัวอย่างอ้างอิง และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส
เชิงพรรณนาของซอสพริก

หึ่งตัวอย่างไว้ในปากนาน 5 วินาทีก่อนกลืน หลังจากนั้นอีก 25 วินาทีจึงให้คะแนน

คุณลักษณะ	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง
ระดับความเผ็ดโดยรวม (Overall heat intensity)	ความรู้สึกลึกแสบ และเผ็ดร้อนภายในช่อง ปากและลำคอเนื่องมาจากสารให้ความ เผ็ด (แคปไซซิน) ในพริก	สารละลายแคปไซซิน ความเข้มข้น 0.8 ppm = 5.0 ความเข้มข้น 1.3 ppm = 7.5 ความเข้มข้น 2.6 ppm = 12.0
ความเผ็ดบริเวณลิ้น (Tongue burn)	ความรู้สึกลึกแสบ และเผ็ดร้อนที่ปรากฏ บริเวณด้านหน้า ด้านข้าง ด้านหลัง หรือ ผิวหน้าของลิ้น เนื่องมาจากสารให้ความ เผ็ด (แคปไซซิน) ในพริก	สารละลายแคปไซซิน ความเข้มข้น 0.8 ppm = 5.0 ความเข้มข้น 1.3 ppm = 7.5 ความเข้มข้น 2.6 ppm = 12.0
ความเผ็ดบริเวณเพดาน ปาก (Oral cavity burn)	ความรู้สึกลึกแสบ และเผ็ดร้อนที่บริเวณ ช่องปาก ได้แก่ ริมฝีปาก เหงือก เพดาน ปาก และกระพุ้งแก้ม เนื่องมาจากสารให้ ความเผ็ด (แคปไซซิน) ในพริก	สารละลายแคปไซซิน ความเข้มข้น 0.8 ppm = 5.0 ความเข้มข้น 1.3 ppm = 5.5 ความเข้มข้น 2.6 ppm = 10.5
ความเผ็ดบริเวณลำคอ (Throat Burn)	ความรู้สึกลึกแสบ และเผ็ดร้อนที่ปรากฏ บริเวณลำคอ รวมไปถึงเพดานอ่อน เนื่องมาจากสารให้ความเผ็ด (แคปไซซิน) ในพริก	สารละลายแคปไซซิน ความเข้มข้น 0.8 ppm = 4.0 ความเข้มข้น 1.3 ppm = 6.5 ความเข้มข้น 2.6 ppm = 12.0

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และช่วงข้อมูล (Range) ของค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างซอสพริกในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ และกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการ

ค่าคุณภาพ	กลุ่มสร้างสมการ (n=28)			กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (n=12)		
	\bar{x}	SD	Range	\bar{x}	SD	Range
ระดับความเผ็ดโดยรวม	2.72	1.01	1.03-4.63	2.70	1.05	1.07-4.17
ความเผ็ดบริเวณลิ้น	2.80	1.07	1.00-4.45	2.40	0.84	1.04-3.67
ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก	2.53	0.99	0.97-4.58	2.40	0.99	1.03-3.90
ความเผ็ดบริเวณลำคอ	2.48	1.01	0.81-4.28	2.34	0.99	0.83-3.85

3.2.2 การวัดค่าการดูดกลืนของแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

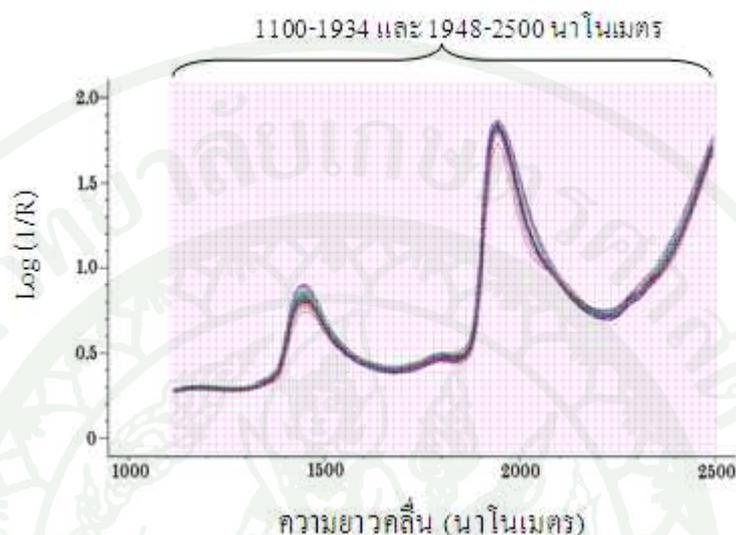
สเปกตรัมเช่นเดียวกับข้อ 2.2 แต่ใช้ข้อมูลตัวอย่างจำนวน 40 ตัวอย่าง

3.2.3 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

สร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริกในเรื่องระดับความเผ็ดโดยรวม ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมในข้อ 3.2.3 มาหาความยาวคลื่น (ตัวแปร X) ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเผ็ดทางประสาทสัมผัส (ตัวแปร Y) ในข้อ 3.2.1 โดยมีขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 2.3 ใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ 4 วิธี คือ ดังนี้

ก. วิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full spectra

เป็นวิธีการหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากการนำความยาวคลื่นทั้งหมดเป็นตัวแปร X ชุดที่ 1 แสดงดังภาพที่ 34

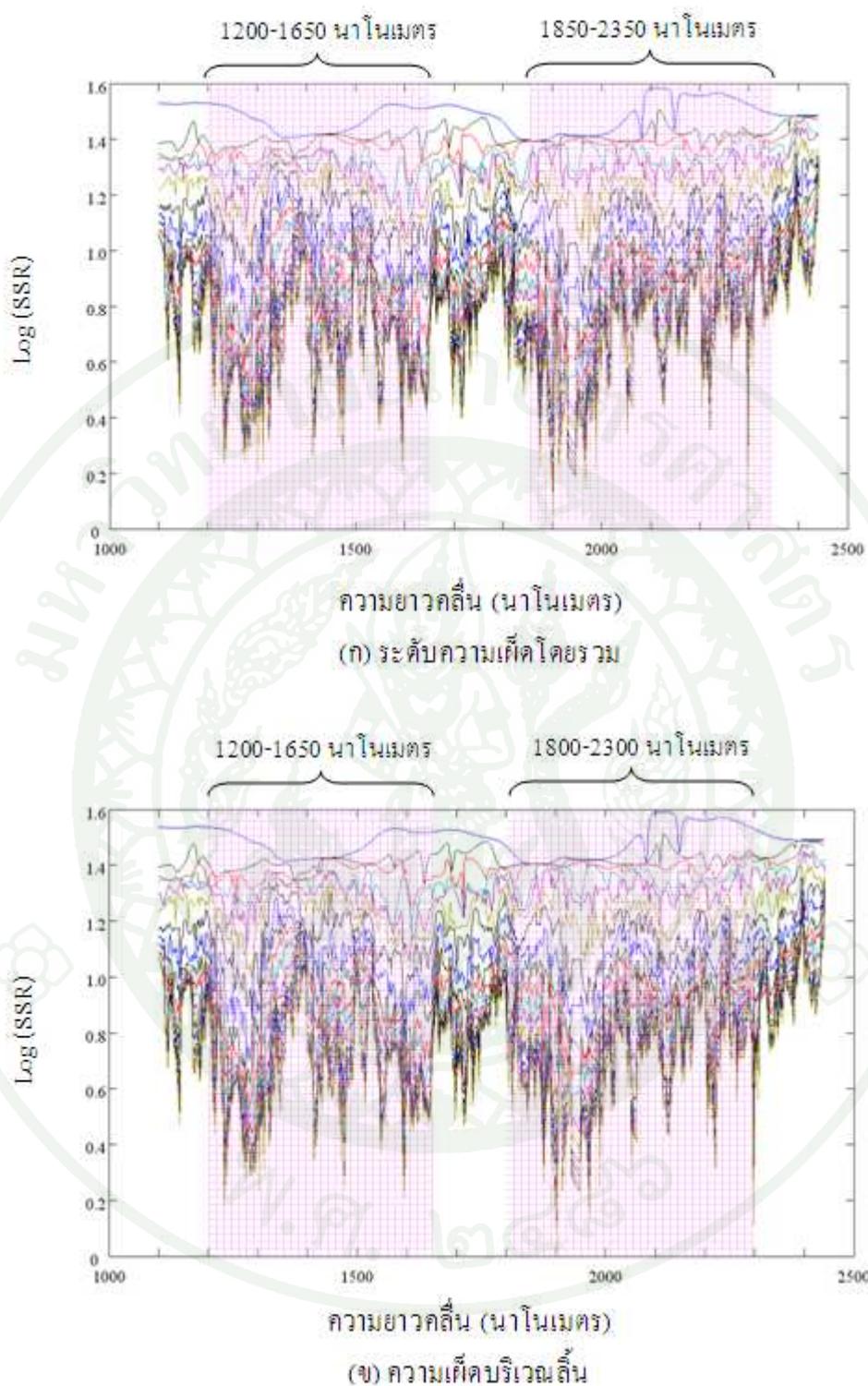


ภาพที่ 34 ช่วงความยาวคลื่น (ส่วนที่แรเงา) ที่ใช้สร้างสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra ในการทำนายคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

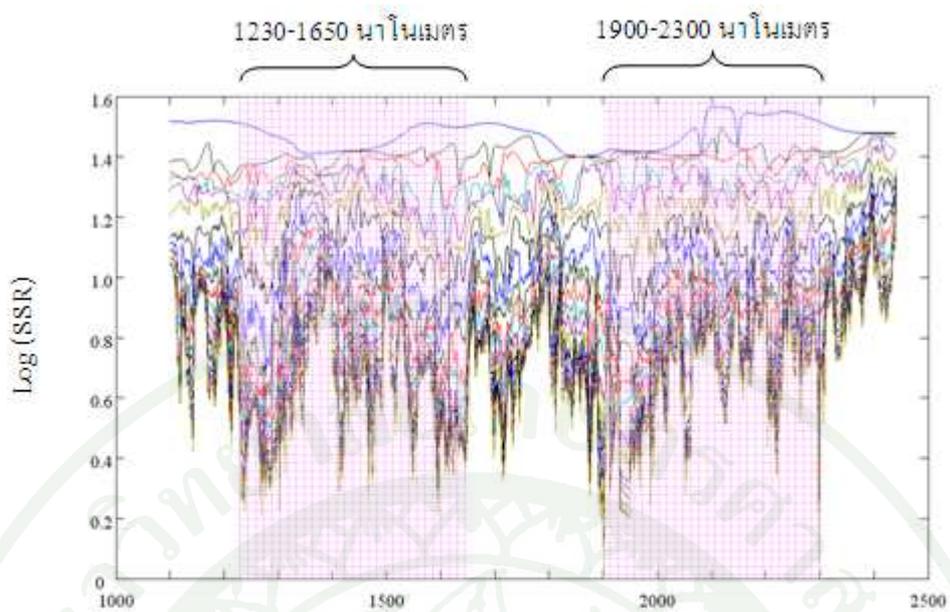
ข. วิธี Moving Window Partial Least Squares Regression (MWPLSR)

เป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ให้สมการที่มีประสิทธิภาพสูง

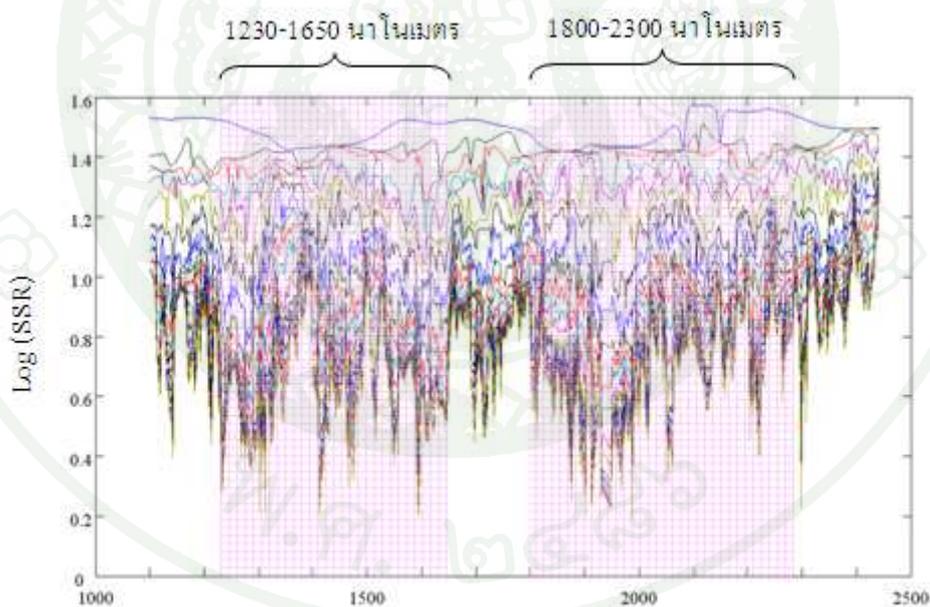
(Jiang *et al.*, 2002) โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 2 จากภาพที่ 35 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log(SSR)$ กับความยาวคลื่นของระดับความเผ็ดโดยรวมในซอสพริก พบว่า ได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม 2 ช่วง คือ 1200-1650 นาโนเมตร และ 1850-2350 นาโนเมตร เนื่องจากให้ค่า $\log(SSR)$ อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งในแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งพันธะที่เกี่ยวข้องกับค่าคุณภาพที่ส่งผลต่อระดับความเผ็ดโดยรวม ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log(SSR)$ กับความยาวคลื่นของอีก 3 คุณลักษณะความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริกได้แก่ ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ แสดงดังภาพที่ 35 (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งพันธะที่เกี่ยวข้องกับค่าคุณภาพที่ส่งผลต่อความเผ็ดทางประสาทสัมผัสนั้นอยู่ แสดงดังตารางที่ 17



ภาพที่ 35 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (ส่วนที่แรเงา) ที่ได้จากวิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายค่า (ก) ระดับความถี่โดยรวม (ข) ความถี่บริเวณสั้น (ค) ความถี่คบริเวณเพดานปาก และ (ง) ความถี่คบริเวณลำคอ ของซอสพริก



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
(ค) ความถี่คืบบริเวณเพดานปาก



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
(ง) ความถี่คืบบริเวณลำคอ

ภาพที่ 35 (ต่อ)

ตารางที่ 17 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR หมูฟังก์ชัน และ โมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านความเค็มทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

ค่าคุณภาพ	ช่วงความยาวคลื่น	
	ที่เหมาะสม (นาโนเมตร)	หมูฟังก์ชัน และ โมเลกุลที่เกี่ยวข้อง
ระดับความเค็มโดยรวม	1200-1650	-CN, C=O, -OH, -NH, , -CH, -CH=CH-
	1850-2350	C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , (CH ₃) ₂ -C , C-CH ₃ ,
ความเค็มบริเวณลิ้น	1200-1650	-CN, C=O, -OH, -NH, , -CH, -CH=CH-
	1800-2300	C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , (CH ₃) ₂ -C , C-CH ₃ ,
ความเค็มบริเวณเพดานปาก	1230-1650	-CN, C=O, -OH, -NH, , -CH, -CH=CH-
	1900-2300	C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , (CH ₃) ₂ -C , C-CH ₃ ,
ความเค็มบริเวณลำคอ	1230-1650	-CN, C=O, -OH, -NH, , -CH, -CH=CH-
	1800-2300	C=O, -OH, -NH, , -CH, CH ₂ , (CH ₃) ₂ -C , C-CH ₃ ,

ที่มา: Williams and Norris (1990)

ก. วิธี Searching Combination Moving Window Partial Least Squares Regression (SCMWPLS)

เป็นขั้นตอนที่ทำต่อจากวิธี MWPLSR เพื่อให้ได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมการที่มีประสิทธิภาพสูงมากกว่าเดิม (Kasemsumran *et al.*, 2004) โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร X ชุดที่ 3 แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากวิธี MWPLSR และ SCMWPLSR ของปริมาณ แคปไซซิน และปริมาณ SHU ในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	วิธีการเลือกความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	MWPLSR	SCMWPLSR
ระดับความเผ็ดโดยรวม	1200-1650, 1850-2350	1966-1994
ความเผ็ดบริเวณลิ้น	1200-1650, 1800-2300	2034-2062
ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก	1230-1650, 1900-2300	1972-2004
ความเผ็ดบริเวณลำคอ	1230-1650, 1800-2300	1972-2000

จากนั้นนำตัวแปร X ในแต่ละวิธีมาหาความสัมพันธ์กับค่าความเผ็ดทางเคมีที่ต้องการทำนาย ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปร Y โดยการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการ แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของสมการวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในการทำนายค่าความเค็มทางประสาทสัมผัสในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ระดับความเค็มโดยรวม	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	8	0.881	0.467	0.858	0.655	1.900
	MWPLSR ⁶	1200-1650	7	0.806	0.585	0.643	0.878	1.230
	MWPLSR ⁷	1850-2350	8	0.891	0.448	0.877	0.603	2.079
	MWPLSR ⁸	1200-1650, 1850-2350	8	0.894	0.443	0.900	0.578	2.186
	SCMWPLSR ¹⁰	1966-1994	6	0.873	0.483	0.853	0.623	1.804
ความเค็มบริเวณลิ้น	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	8	0.907	0.442	0.807	0.652	1.361
	MWPLSR ⁶	1200-1650	8	0.852	0.549	0.655	0.792	1.012
	MWPLSR ⁷	1800-2300	7	0.886	0.486	0.788	0.636	1.524
	MWPLSR ⁸	1200-1650, 1800-2300	8	0.900	0.457	0.828	0.652	1.370
	SCMWPLSR ⁹	2034-2062	2	0.611	0.831	0.594	0.731	1.241

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ค่าคุณภาพ	วิธีการ	ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการ (นาโนเมตร)	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง		
				R^1_{cal}	RMSEC ²	R^3_{val}	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ความถี่คบริเวณพาดานปาก	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	8	0.893	0.437	0.709	0.696	1.418
	MWPLSR ⁶	1230-1650	6	0.764	0.626	0.748	0.865	1.249
	MWPLSR ⁷	1900-2300	7	0.702	0.692	0.737	0.729	1.478
	MWPLSR ⁸	1230-1650, 1900-2300	7	0.867	0.484	0.757	0.642	1.486
	SCMWPLSR ¹⁰	1972-2004	7	0.895	0.434	0.803	0.706	1.415
ความถี่คบริเวณลำคอ	Full spectra	1100-1934, 1948-2500	8	0.899	0.432	0.624	0.758	1.270
	MWPLSR ⁶	1230-1650	10	0.892	0.446	0.383	0.919	1.039
	MWPLSR ⁷	1800-2300	7	0.867	0.492	0.640	0.728	1.301
	MWPLSR ⁸	1230-1650, 1800-2300	7	0.884	0.462	0.719	0.664	1.437
	SCMWPLSR ⁹	1972-2000	8	0.931	0.360	0.645	0.861	1.159

หมายเหตุ สัญลักษณ์^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10} เช่นเดียวกับตารางที่ 10

เมื่อพิจารณาสมการทำนายที่สร้างขึ้นจากวิธี PLSR แบบ Full spectra วิธี MWPLSR และวิธี SCMWPLSR ในตารางที่ 19 ให้ผลการศึกษาดังนี้

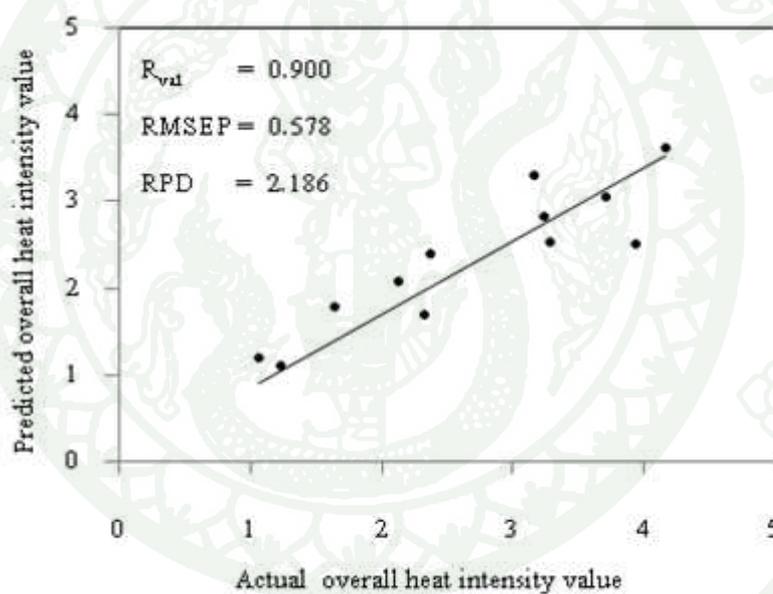
สมการทำนายค่าระดับความเผ็ดโดยรวม พบว่า สมการที่สร้างโดยวิธี PLSR แบบ Full spectra และวิธี MWPLSR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1200-1650 และ 1850-2350 นาโนเมตร มีค่าประสิทธิภาพในการทำนายใกล้เคียงกัน แต่ได้ทำการเลือกวิธี MWPLSR เป็นสมการที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นวิธีที่ได้ขจัดความยาวคลื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าที่ต้องการทำนายออกไปแล้ว โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปร (ตัวแปร X) ใหม่ได้ 8 แพลตฟอร์ม ให้ค่า R_{cal} และค่า RMSEC เท่ากับ 0.894 และ 0.443 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชัน และโมเลกุลตามการศึกษาของ Williams and Norris (1990) แสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Iwamoto *et al.* (1984) ที่รายงานไว้ว่า พบการสั่นของพันธะ C-H ที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 1200, 2250 และ 2350 นาโนเมตร และพันธะ N-H และ O-H group ของสารแคปไซซินที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 1950 และ 2200 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคปไซซินเป็นสารที่พบอยู่ในพริกที่ส่งผลต่อความรู้สึกเผ็ด (Reinbach *et al.*, 2009) และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสม ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.900, 0.578 และ 2.186 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 19 และภาพที่ 36

ในส่วนของสมการทำนายค่าความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ พบว่า ได้สมการทำนายและช่วงคลื่นที่ใกล้เคียงกับสมการทำนายค่าระดับความเผ็ดโดยรวม เนื่องจากทุกคุณลักษณะเป็นผลมาจากปริมาณแคปไซซินในพริกที่มีอยู่ในซอสพริกเช่นเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 19 และภาพที่ 37-39 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาทั้งหมด พบว่า สมการทำนายที่สร้างโดยวิธี SCMWPLSR ไม่สามารถทำนายค่าคุณภาพในเรื่องระดับความเผ็ดโดยรวม ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอได้ดีที่สุด เนื่องจาก ค่าคุณภาพเหล่านี้เป็นค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัส ซึ่งส่งผลให้มีความสัมพันธ์ระหว่างพันธะเคมีกับค่าการดูดแสง NIR ค่อนข้างอ่อน (Ritthiruangdej, 2006) จึงอาจไม่เพียงพอสำหรับวิธี SCMWPLSR

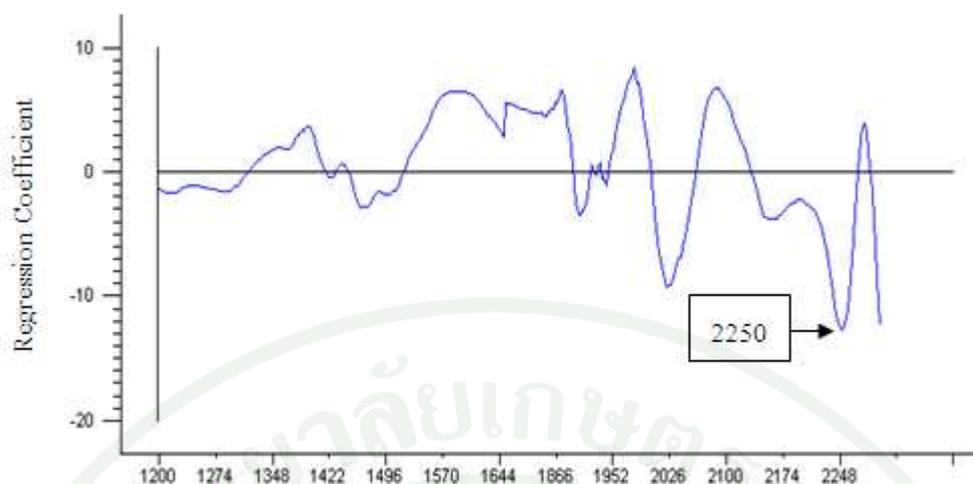


(ก)



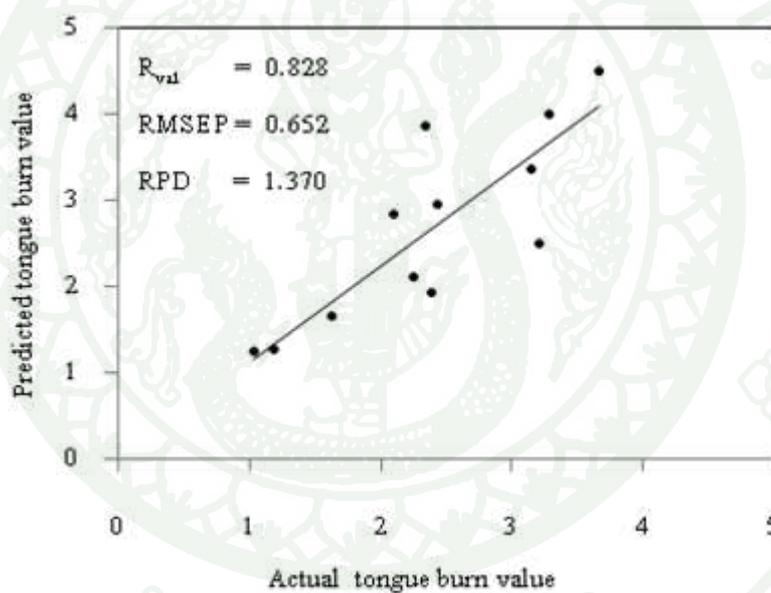
(ข)

ภาพที่ 36 ระดับความเผ็ดโดยรวมของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1200-1650 และ 1850-2350 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



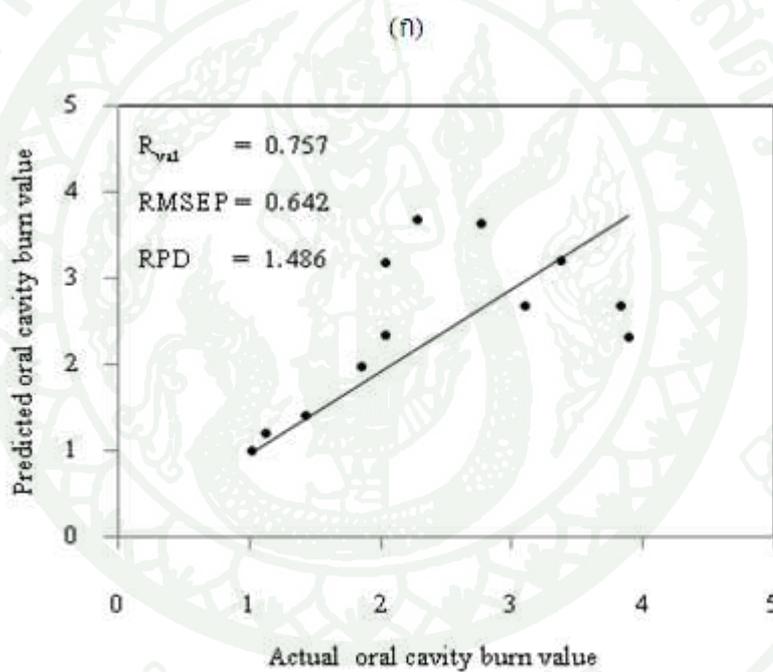
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

(ก)



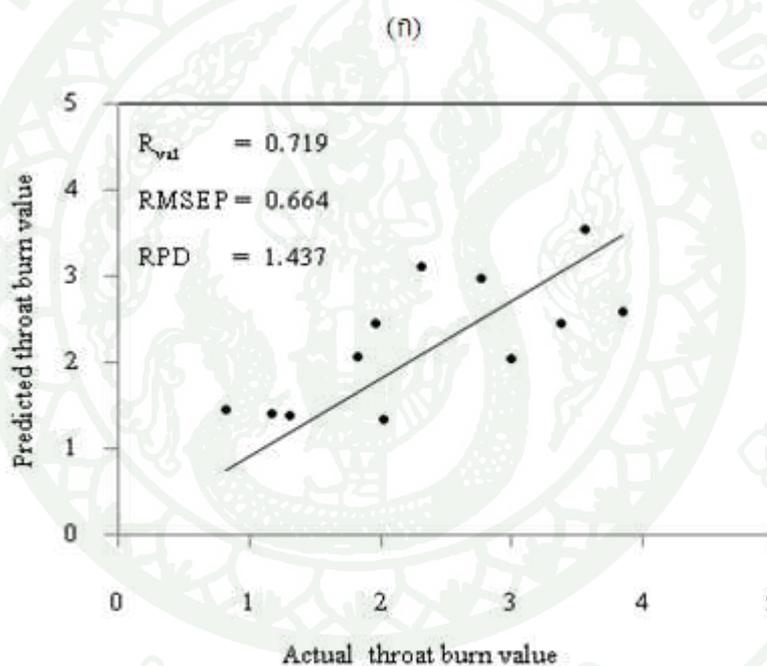
(ข)

ภาพที่ 37 ความเผ็ดบริเวณลิ้นของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1200-1650 และ 1800-2300 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



(ข)

ภาพที่ 38 ความถี่บริเวณเพดานปากของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1230-1650 และ 1900-2300 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)



(ข)

ภาพที่ 39 ความถี่บริเวณลำคอของซอสพริก โดยการเลือกความยาวคลื่นแบบ MWPLSR ช่วง 1230-1650 และ 1800-2300 นาโนเมตร (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient) ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย (ข) ค่าที่ได้จากสมการทำนาย ที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value)

ง. วิธีเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN)

สร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ (Backpropagation Artificial neural networks, BP-ANN) โดยนำข้อมูลจากข้อ 3.2.2 ได้แก่ ความยาวคลื่น ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_{695}$) มากำหนดให้เป็นตัวแปรนำเข้า (Input) ทำให้มีจำนวนตัวแปรมาก ดังนั้นจึงได้ทำการจัดกลุ่มจำนวนตัวแปรนำเข้า โดยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) พบว่า กลุ่มของ 10 องค์ประกอบหลักแรก (10PC แรก) สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 99.99 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 20 และเมื่อพิจารณาค่า Loading weights ในแต่ละความยาวคลื่น พบว่ากลุ่มของตัวแปร PC1, PC4, PC6, PC7 และ PC10 มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบน้ำ PC2 และ PC3 มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบน้ำตาล PC5 มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบแคลเซียม PC8, PC9 และ PC10 มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบกรดอะซิติก แสดงดังภาพที่ 40

ตารางที่ 20 ความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้ในกลุ่มของ 10 องค์ประกอบหลักแรก (10 PC แรก)

PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
AC (เปอร์เซ็นต์)	89.11	97.78	99.01	99.49	99.76	99.92	99.95	99.97	99.98	99.99

หมายเหตุ PC หมายถึง องค์ประกอบหลัก

AC หมายถึง ความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้



ภาพที่ 40 ค่า Loading weights ของสเปกตรัม NIR ในกลุ่มของ 10 องค์ประกอบหลักแรก (10PC แรก) โดยวิธี Principal component analysis (PCA)

จากนั้นใช้ข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการลดจำนวนตัวแปรโดยวิธีการ PCA แล้วเป็นตัวแปรนำเข้า และข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสในข้อ 3.2.1 เป็นตัวแปรนำออกมา สร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม แสดงดังตารางที่ 21 - 24

ตารางที่ 21 ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายใยประสาทเทียมในการทำนายค่าระดับความเค็มโดยรวมในซอสพริก

จำนวน ตัวแปรนำเข้า (PC)	จำนวนชั้นซ่อน (layer)	จำนวนหน่วยซ่อน (node)	กลุ่มสร้างสมการ					กลุ่มตรวจสอบ ความถูกต้อง	
			R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵		
5	1	5	0.839	0.538	0.830	0.766	1.309		
5	1	10	0.855	0.521	0.816	0.720	1.392		
5	1	15	0.896	0.442	0.791	0.757	1.323		
5*	1	20	0.904	0.426	0.876	0.710	1.412		
5	2	5	0.859	0.505	0.831	0.689	1.454		
5	2	10	0.925	0.377	0.832	0.785	1.276		
5	2	15	0.938	0.343	0.856	0.747	1.342		
5	2	20	0.921	0.386	0.773	0.822	1.218		
10	1	5	0.908	0.415	0.876	0.570	1.759		
10	1	10	0.903	0.425	0.904	0.459	2.181		
10**	1	15	0.947	0.322	0.933	0.404	2.483		
10	1	20	0.943	0.331	0.878	0.527	1.902		
10	2	5	0.935	0.349	0.894	0.453	2.212		
10	2	10	0.940	0.337	0.869	0.535	1.874		
10	2	15	0.959	0.282	0.903	0.448	2.237		
10	2	20	0.974	0.227	0.846	0.617	1.624		

หมายเหตุ สัญลักษณ์^{1,2,3,4,5} เช่นเดียวกับตารางที่ 10

* แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 5 PC

** แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 10 PC

ตารางที่ 22 ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายใยประสาทเทียมในการทำนายค่าความเผื่อบริเวณลิ้นในซอสพริก

จำนวน ตัวแปรนำเข้า (PC)	จำนวนชั้นซ่อน (layer)	จำนวนหน่วยซ่อน (node)	กลุ่มสร้างสมการ					กลุ่มตรวจสอบ ความถูกต้อง	
			R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵		
5	1	5	0.852	0.552	0.794	0.786	1.017		
5	1	10	0.861	0.533	0.657	0.770	1.039		
5	1	15	0.873	0.514	0.725	0.696	1.148		
5*	1	20	0.931	0.388	0.827	0.554	1.444		
5	2	5	0.878	0.507	0.814	0.609	1.313		
5	2	10	0.912	0.431	0.794	0.733	1.090		
5	2	15	0.925	0.401	0.724	0.712	1.124		
5	2	20	0.928	0.393	0.716	0.758	1.056		
10	1	5	0.873	0.512	0.823	0.554	1.444		
10	1	10	0.934	0.374	0.850	0.523	1.528		
10**	1	15	0.946	0.345	0.907	0.470	1.701		
10	1	20	0.959	0.296	0.888	0.517	1.547		
10	2	5	0.846	0.562	0.833	0.522	1.531		
10	2	10	0.930	0.389	0.813	0.497	1.610		
10	2	15	0.971	0.253	0.734	0.643	1.244		
10	2	20	0.852	0.552	0.794	0.786	1.221		

หมายเหตุ สัญลักษณ์^{1,2,3,4,5} เช่นเดียวกับตารางที่ 10

* แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 5 PC

** แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 10 PC

ตารางที่ 23 ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายใยประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค็มบริเวณเขตแดนปากในซอสพริก

จำนวน ตัวแปรนำเข้า (PC)	จำนวนชั้นซ่อน (layer)	จำนวนหน่วยซ่อน (node)	กลุ่มตรวจสอบ ความถูกต้อง				
			R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵
5	1	5	0.822	0.555	0.740	0.686	1.388
5	1	10	0.858	0.499	0.753	0.652	1.460
5	1	15	0.862	0.494	0.797	0.680	1.401
5*	1	20	0.918	0.388	0.814	0.639	1.489
5	2	5	0.826	0.550	0.735	0.716	1.330
5	2	10	0.870	0.479	0.756	0.668	1.425
5	2	15	0.874	0.476	0.769	0.670	1.422
5	2	20	0.910	0.405	0.740	0.763	4.320
10	1	5	0.890	0.444	0.857	0.517	1.842
10	1	10	0.902	0.420	0.845	0.636	1.498
10**	1	15	0.920	0.382	0.898	0.427	2.223
10	1	20	0.943	0.326	0.839	0.527	1.808
10	2	5	0.946	0.316	0.914	0.481	1.979
10	2	10	0.951	0.303	0.854	0.500	1.905
10	2	15	0.968	0.245	0.829	0.560	1.701
10	2	20	0.971	0.236	0.858	0.527	1.805

หมายเหตุ สัญลักษณ์^{1,2,3,4,5} เช่นเดียวกับตารางที่ 10

* แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 5 PC

** แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 10 PC

ตารางที่ 24 ค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของแบบจำลองเครือข่ายใยประสาทเทียมในการทำนายค่าความเผื่อบริเวณลำคอในซอสพริก

จำนวน ตัวแปรนำเข้า (PC)	จำนวนชั้นซ่อน (layer)	จำนวนหน่วย ซ่อน(node)	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบ ความถูกต้อง		
			R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵
5	1	5	0.844	0.531	0.610	0.763	1.237
5	1	10	0.880	0.470	0.594	0.801	1.178
5	1	15	0.892	0.448	0.568	0.817	1.154
5*	1	20	0.909	0.414	0.624	0.760	1.241
5	2	5	0.848	0.523	0.613	0.773	1.221
5	2	10	0.869	0.490	0.603	0.771	1.224
5	2	15	0.947	0.319	0.587	0.925	1.020
5	2	20	0.934	0.359	0.609	0.764	1.235
10	1	5	0.887	0.457	0.751	0.665	1.418
10	1	10	0.938	0.346	0.804	0.635	1.486
10**	1	15	0.930	0.363	0.875	0.459	2.054
10	1	20	0.955	0.294	0.847	0.603	1.563
10	2	5	0.912	0.405	0.862	0.498	1.895
10	2	10	0.899	0.433	0.830	0.549	1.718
10	2	15	0.959	0.280	0.786	0.593	1.590
10	2	20	0.974	0.225	0.804	0.584	1.616

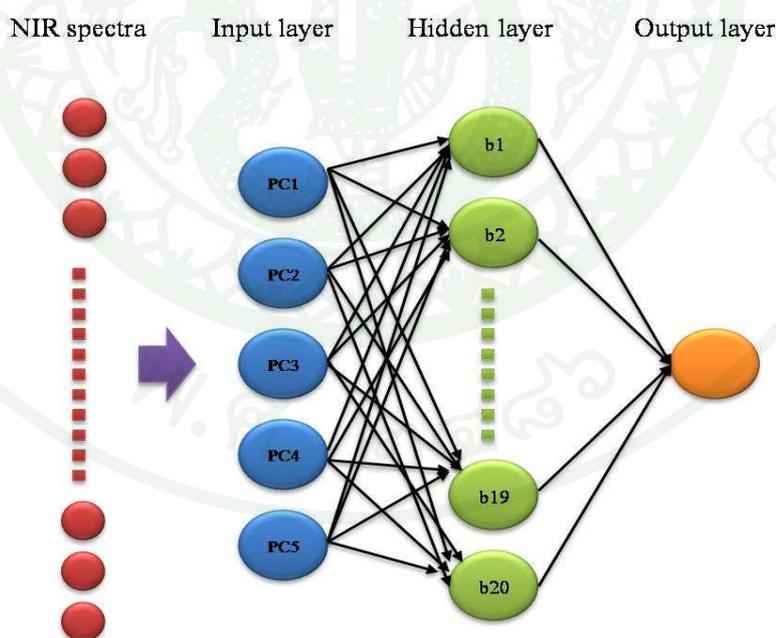
หมายเหตุ สัญลักษณ์^{1, 2, 3, 4, 5} เช่นเดียวกับตารางที่ 10

* แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 5 PC

** แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใยประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 10 PC

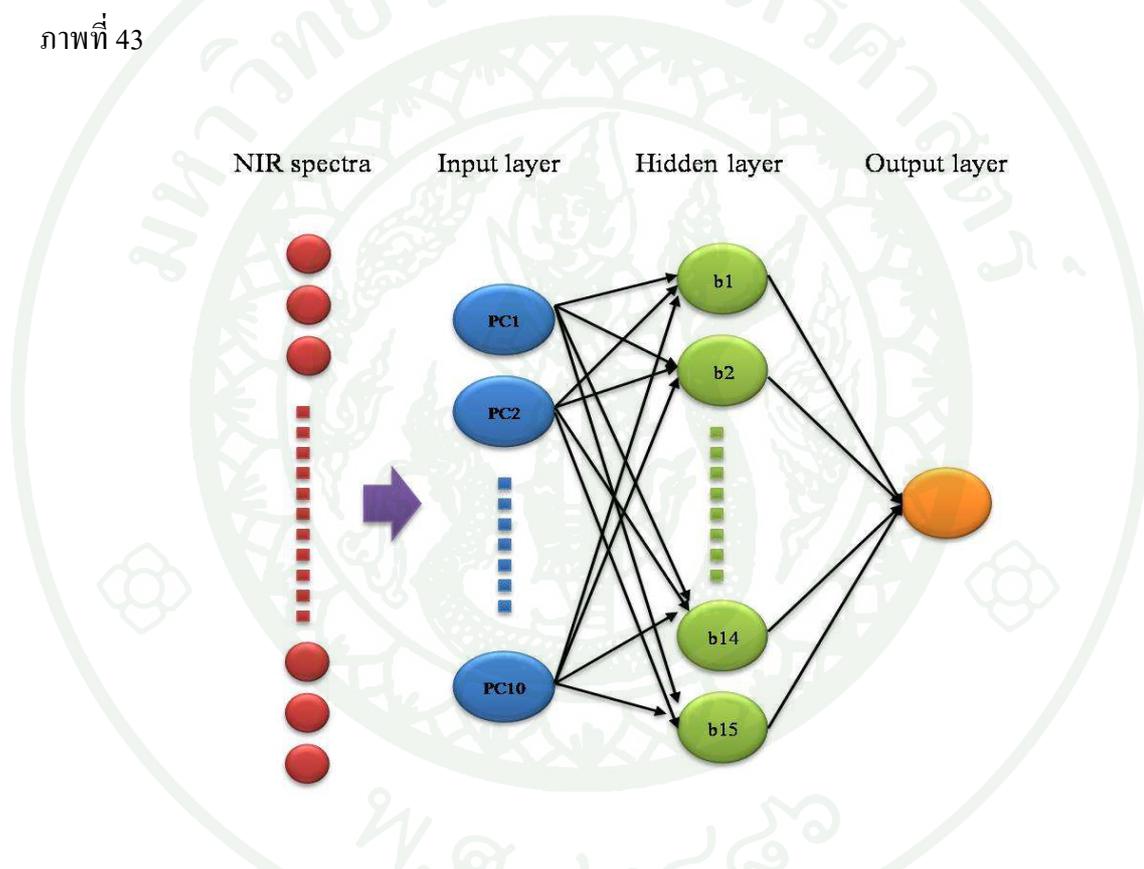
จากตารางที่ 21 ศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม ในการทำนายค่าระดับความเผ็ดโดยรวมของซอสพริก พบว่า

แบบจำลองของเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 5 PC ที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทซ่อน จะทำให้ค่าประสิทธิภาพของการทำนาย ดีขึ้น และจะมีค่าดีที่สุดเมื่อจำนวนหน่วยประสาทซ่อนเท่ากับ 20 นิวรอน แสดงดังภาพที่ 41 โดยได้ค่า R_{cal} และ RMSEC เท่ากับ 0.904 และ 0.426 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ที่มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทซ่อนจาก 5 นิวรอน เป็น 10 นิวรอน จะทำให้ค่าประสิทธิภาพของการทำนายลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทซ่อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายของสมการ แต่ถ้าเพิ่มมากเกินไปนอกจากจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพ ดีขึ้น อาจทำให้ประสิทธิภาพในการทำนายลดลงจากการเกิด Overparameter ซึ่งแบบจำลองจะจดจำ กับข้อมูลชุดฝึกฝนมากเกินไป (รววิพิมพ์, 2551) และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น จำนวนหน่วยประสาทซ่อนเท่ากับ 20 นิวรอน ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD เท่ากับ 0.876, 0.710 และ 1.412 ตามลำดับ



ภาพที่ 41 แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 5 PC จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อนเท่ากับ 20 นิวรอน

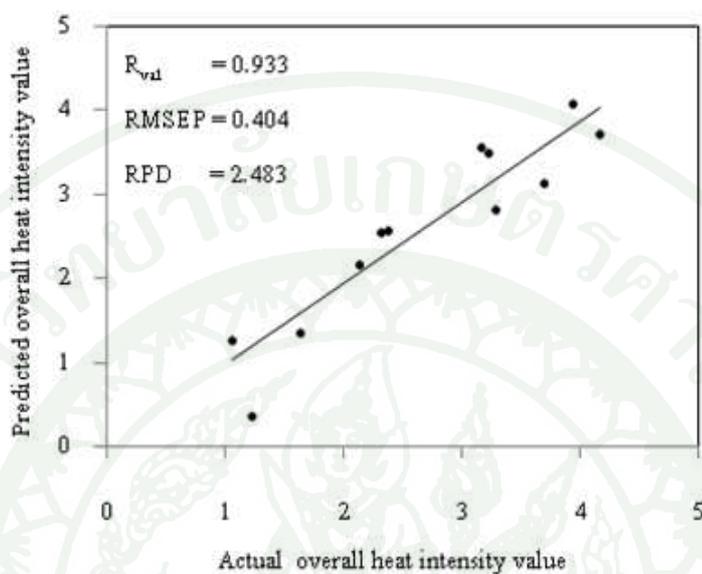
แบบจำลองของเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 10 PC ที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทซ่อน จะทำให้ค่าประสิทธิภาพของการทำนายดีขึ้น และจะมีค่าดีที่สุดเมื่อจำนวนหน่วยประสาทซ่อนเท่ากับ 15 นิวรอน แสดงดังภาพที่ 42 โดยได้ค่า R_{cal} และ RMSEC เท่ากับ 0.947 และ 0.322 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทซ่อนจาก 5 นิวรอน เป็น 10 นิวรอน จะทำให้ค่าประสิทธิภาพของการทำนายลดลง และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่า แบบจำลองที่เหมาะสมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น จำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนเท่ากับ 15 นิวรอน ให้ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD เท่ากับ 0.933, 0.404 และ 2.483 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 43



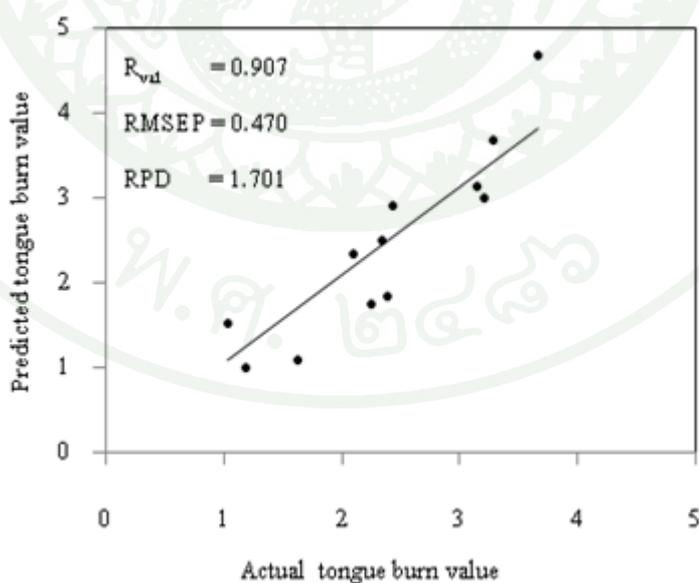
ภาพที่ 42 แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรนำเข้า 10 PC จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อนเท่ากับ 15 นิวรอน

และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายที่ดีที่สุด ที่ได้จากการใช้ตัวแปรนำเข้า 5PC และ 10PC พบว่า การใช้ตัวแปรนำเข้า 10PC จะให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีกว่า เนื่องจากตัวแปรนำเข้า 10PC สามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในส่วนของการจัดตัวแปรใหม่ได้มากกว่า ดังที่กล่าวไว้ในตารางที่ 18 ในส่วนของแบบจำลองที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม ในการทำนายอีก 3 ค่าคุณภาพด้านความผิดพลาดประสาทสัมผัส

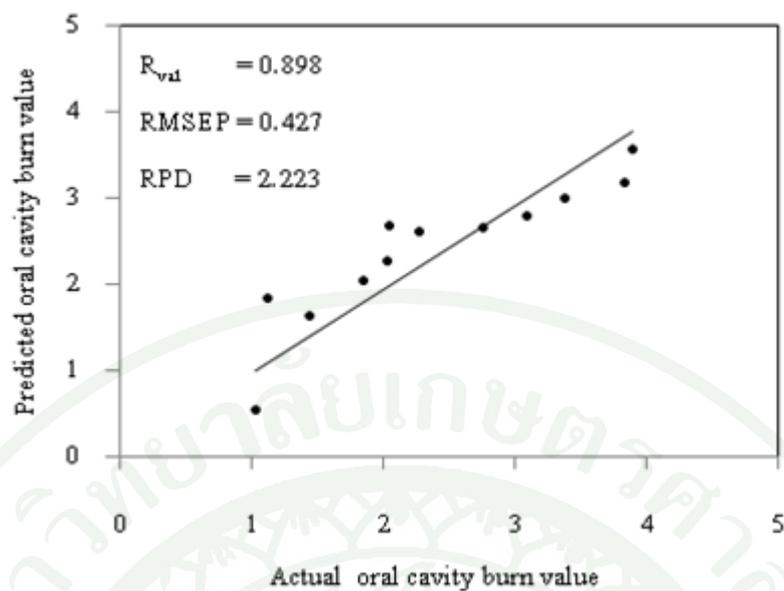
ได้แก่ ความเผ็ดบริเวณลิ้น ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก และความเผ็ดบริเวณลำคอ มีแนวโน้มของแบบจำลองไปในทิศทางเดียว แสดงดังตารางที่ 22, 23 และ 24 ตามลำดับ และภาพที่ 44, 45 และ 46 ตามลำดับ



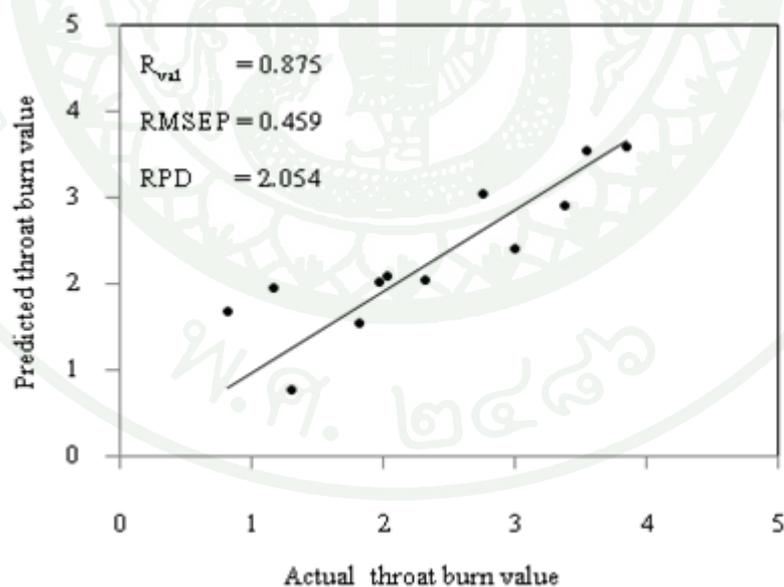
ภาพที่ 43 ระดับความเผ็ดโดยรวมของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value) โดยการสร้างสมการวิธี BP-ANN



ภาพที่ 44 ความเผ็ดบริเวณลิ้นของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value) โดยการสร้างสมการวิธี BP-ANN



ภาพที่ 45 ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก ของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value) โดยการสร้างสมการวิธี BP-ANN



ภาพที่ 46 ความเผ็ดบริเวณลำคอ ของซอสพริก ที่ได้จากสมการทำนายที่สร้างขึ้น (Predicted value) กับค่าจริงที่วิเคราะห์ได้ (Actual value) โดยการสร้างสมการวิธี BP-ANN

3.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความเค็มทาง ประสาทสัมพัทธ์ของซอสพริก

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของสมการทำนายระหว่างวิธี MWPLSR และวิธีเครือข่ายประสาทเทียม (BP-ANN) ที่มีแบบจำลองคือ จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนหน่วยซ่อน 15 นิวรอน พบว่า แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมมีความเหมาะสมมากกว่าสมการ MWPLSR ในทุกคุณลักษณะ โดยมีค่า R_{cal} , R_{val} และ RPD สูงกว่า แต่มีค่า RMSEC และ RMSEP ต่ำกว่า แสดงดังตารางที่ 23 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ข้อมูลระหว่างคุณลักษณะทางประสาทสัมพัทธ์และสเปกตรัมของซอสพริกมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายมากกว่า (Ritthiruangdej, 2006)

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบค่า R_{cal} ค่า RMSEC ค่า R_{val} ค่า RMSEP และค่า RPD ของสมการ MWPLSR และแบบจำลอง BP-ANN ในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเค็มทางประสาทสัมพัทธ์ในซอสพริก

ค่าคุณภาพ	วิธี	แฟคเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ			กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง	
			R_{cal}^1	RMSEC ²	R_{val}^3	RMSEP ⁴	RPD ⁵
ความเค็มโดยรวม	MWPLSR	8	0.894	0.443	0.900	0.578	2.186
	BP-ANN	10	0.947	0.322	0.933	0.404	2.483
ความเค็มบริเวณลิ้น	MWPLSR	8	0.900	0.457	0.828	0.652	1.370
	BP-ANN	10	0.946	0.345	0.907	0.470	1.701
ความเค็มบริเวณเพดานปาก	MWPLSR	7	0.867	0.484	0.757	0.642	1.486
	BP-ANN	10	0.920	0.382	0.898	0.427	2.223
ความเค็มบริเวณลำคอ	MWPLSR	7	0.884	0.462	0.719	0.664	1.437
	BP-ANN	10	0.930	0.363	0.875	0.459	2.054

หมายเหตุ สัญลักษณ์^{1, 2, 3, 4, 5} เช่นเดียวกับตารางที่ 10

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการนำเทคนิค NIRS มาประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบค่าคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพด้านความเผ็ดของซอสพริก โดยการใช้ข้อมูลการดูดกลืนแสงจากเครื่อง NIR มาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพดังกล่าวที่วิเคราะห์ได้จากวิธีมาตรฐาน (Standard methods) เพื่อสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพ โดยสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. สมการทำนายที่สร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีปรับเรียบแบบซาวิตซ์กี-โกลีย์ (Savitzky-Golay smoothing) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้สัญญาณสเปกตรัมเรียบ ให้รูปร่างของสเปกตรัมเหมือนสเปกตรัมเริ่มต้น มีความเหมาะสมในการลดปัญหาสัญญาณรบกวนต่อสเปกตรัมของซอสพริกมากที่สุด เนื่องจากซอสพริกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อเนียนเรียบ ปัญหาที่เกิดขึ้นกับสเปกตรัมจึงอาจมีเพียงสัญญาณรบกวนจากภายนอกเท่านั้น
2. การสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพทางเคมี และกายภาพของซอสพริก จำนวน 180 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า pH ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ h ซึ่งช่วงข้อมูลแสดงดังตารางที่ 26 พร้อมกับวัดค่าการดูดกลืนแสง และปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับเรียบแบบซาวิตซ์กี-โกลีย์ จากนั้นนำชุดข้อมูลค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพ และชุดข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง มาสร้างสมการทำนายที่เหมาะสมด้วยวิธี PLSR, MWPLSR และ SCMWPLSR จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของแต่ละสมการ พบว่าสมการทำนายที่สร้างจากวิธี SCMWPLSR เหมาะสมในการทำนายค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.958, 0.982 และ 0.998 ตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายด้วยกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (RMSEP) เท่ากับ 2.883 %w/w , 1.799 %w/w และ 0.709 °Brix ตามลำดับ สำหรับสมการทำนายที่สร้างจากวิธี MWPLSR เหมาะสมในการทำนายค่าปริมาณกรดทั้งหมด ค่า pH ค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ h โดยให้ค่า R เท่ากับ 0.927, 0.747, 0.816, 0.773, 0.827, 0.811 และ 0.697 ตามลำดับ และค่า RMSEP เท่ากับ 0.112 %w/w, 0.104, 3.329, 2.289, 3.933, 3.952 และ 2.561° ตามลำดับ

ตารางที่ 26 ช่วงข้อมูลค่าคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพด้านความเฝืดของ
ซอสพริก

ค่าคุณภาพ	N	กลุ่มสร้างสมการ		กลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง	
		n ₁	ช่วงข้อมูล	n ₂	ช่วงข้อมูล
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)	180	126	1.88-45.46	54	1.97-41.22
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	180	126	3.58-46.33	54	4.40-42.89
ปริมาณ TSS (°Brix)	180	126	12.0-54.10	54	12.30-53.60
ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	180	126	0.20-1.86	54	0.58-1.62
ค่า pH	180	126	3.01-3.96	54	3.19-3.76
ค่าสี L*	180	126	18.87-54.21	54	18.94-43.28
ค่าสี a*	180	126	27.72-71.32	54	28.94-60.74
ค่าสี b*	180	126	26.60-48.40	54	26.65-43.28
ค่าสี C*	180	126	38.45-82.55	54	42.16-73.02
ค่าสี h (°)	180	126	43.86-60.70	54	45.23-60.15
ปริมาณแคปไซซิน (mg/kg)	100	70	5.07-42.29	30	5.76-37.34
ปริมาณ SHU	100	70	255.0-2490.3	30	293.0-2185.0
ระดับความเฝืดโดยรวม	40	28	1.03-4.63	12	1.07-4.17
ความเฝืดบริเวณลิ้น	40	28	1.00-4.45	12	1.04-3.67
ความเฝืดบริเวณเพดานปาก	40	28	0.97-4.58	12	1.03-3.90
ความเฝืดบริเวณลำคอ	40	28	0.81-4.28	12	0.83-3.85

หมายเหตุ N หมายถึง จำนวนตัวอย่างทั้งหมด โดย $N = n_1 + n_2$

n₁ หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในกลุ่ม Calibration set

n₂ หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในกลุ่ม Validation set

TSS หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

3. การสร้างสมการในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเค็มของซอสพริก พบว่า

3.1 การสร้างสมการในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเค็มทางเคมีของซอสพริก จำนวน 180 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคลปีไซซิน และปริมาณ SHU ซึ่งช่วงข้อมูลแสดงดังตารางที่ 26 พร้อมกับวัดค่าการดูดกลืนแสง และปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับเรียบแบบซาวิตซ์กี-โกเลย์ จากนั้นนำชุดข้อมูลค่าคุณภาพดังกล่าว และชุดข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง มาสร้างสมการทำนายที่เหมาะสมด้วยวิธี PLSR, MWPLSR และ SCMWPLSR จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของแต่ละสมการ พบว่า สมการที่สร้างจากวิธี MWPLSR เหมาะสมในการทำนายปริมาณแคลปีไซซิน และปริมาณ SHU โดยให้ค่า R เท่ากับ 0.943 และ 0.915 ตามลำดับ และค่า RMSEP เท่ากับ 3.455 mg/kg และ 205.488 SHU ตามลำดับ

3.2 การสร้างสมการในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเค็มทางประสาทสัมผัส ของซอสพริก จำนวน 40 ตัวอย่าง ประเมินระดับความเค็ม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ซึ่งช่วงข้อมูลแสดงดังตารางที่ 26 พร้อมกับวัดค่าการดูดกลืนแสง และปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับเรียบแบบซาวิตซ์กี-โกเลย์ จากนั้นนำชุดข้อมูลค่าคุณภาพดังกล่าว และชุดข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง มาสร้างสมการทำนายที่เหมาะสมด้วยวิธี PLSR, MWPLSR, SCMWPLSR และ BP-ANN พบว่า สมการที่สร้างจากวิธี MWPLSR เหมาะสมในการทำนายค่าระดับความเค็มโดยรวม ความเค็มบริเวณลิ้น ความเค็มบริเวณเพดานปาก และความเค็มบริเวณลำคอ สำหรับการสร้างสมการทำนายแบบ BP-ANN หลังจากทำการลดจำนวนสเปกตรัมซึ่งเป็นตัวแปรนำเข้าด้วยวิธี PCA แล้วได้จำนวน 10PC สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 99.99 % โครงสร้างประกอบด้วยตัวแปรนำเข้า 10PC จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทซ่อน 15 นิวรอน มีความเหมาะสมที่สุดในการทำนายค่าระดับความเค็มโดยรวม ความเค็มบริเวณลิ้น ความเค็มบริเวณเพดานปาก และความเค็มบริเวณลำคอ โดยให้ค่า R เท่ากับ 0.947, 0.946, 0.920 และ 0.930 ตามลำดับ และค่า RMSEP เท่ากับ 0.404, 0.470, 0.427 และ 0.459 ตามลำดับ

4. จากประสิทธิภาพของสมการทำนายค่าคุณภาพข้างต้น พบว่า สมการทำนายปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สามารถนำมาใช้งานได้ในระดับการประกันคุณภาพ ในส่วนของสมการทำนายปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณแคลปีไซซิน ปริมาณ SHU ระดับความเค็มโดยรวม ความเค็มบริเวณลิ้น ความเค็มบริเวณเพดานปาก และความเค็มบริเวณลำคอ สามารถนำมาใช้งานได้ในระดับการควบคุมคุณภาพ และในส่วนของสมการทำนายค่า pH ค่าสี L*, a*, b*, C* และ h สามารถนำมาใช้งานได้ในระดับการแบ่งเกณฑ์คุณภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นยาว ในส่วนของการสร้างสมการทำนายที่เหมาะสมในเรื่องค่าสี อาจทำการศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมแบบ Visible and Near Infrared Spectroscopy (Vis-NIR) ที่ใช้ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-2500 นาโนเมตร ซึ่งอาจทำให้สมการทำนายค่าสีมีประสิทธิภาพในการทำนายดีขึ้น
2. ในการสร้างแบบจำลอง BP-ANN ในการทำนายค่าคุณภาพด้านความเผ็ดทางประสาทสัมผัสของซอสพริก ควรมีการเพิ่มจำนวนข้อมูลให้มากขึ้น เพราะวิธีการสร้างแบบจำลอง BP-ANN ถ้ามีจำนวนข้อมูลมาก ทำให้แบบจำลองเกิดการเรียนรู้มาก จดจำรูปแบบของปัญหาได้หลากหลาย จึงสามารถทำนายค่าได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล. 2550. พริก : พี่ช่นพิศวง. ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ธงชัย สุวรรณสิขณน์. 2550. การวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ, น. 77-114. ใน การควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรและอุตสาหกรรมโดยวิธีไม่ทำลายเพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. 4 กรกฎาคม 2550. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. 2545. หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี. น. 39-61. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near infrared spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รณฤทธิ์ ฤทธิธ. 2552. การสร้างระบบ NIR สำหรับการวิเคราะห์ประจำวัน. ใน เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

รพีพร ตลับใหม่. 2551. การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้งด้วยเทคนิคเครือข่ายใยประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2551. การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้งด้วยเทคนิคเครือข่ายใยประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อ้างถึง
ปกรณ์ อินทรเทพ. 2545. เครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ฝนตกในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รวีพิมพ์ ญวิสุข. 2551. เอกสารประกอบการสอนวิชาเครือข่ายหน่วยประสาทเทียมและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิชัย หฤทัยธนาสันต์. 2521. คุณลักษณะของซอสพริกที่มีคุณภาพดี. วารสารวิทยาศาสตร์การอาหาร 10(1) : 53 – 57.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2546. วัตถุประสงค์ของอาหาร. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด, น.131-151. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near infrared spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. ฌัญญา มานะกิจ, วารุณี ธนะแพสย์ และสัญญา หกพุดชา. 2552. การพัฒนาวิธีการหาปริมาณแคปไซซินในพริกด้วยแสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี, น. 345. ในงานประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 8. 6-9 พฤษภาคม 2552. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2540. ศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปรุงรส. แหล่งที่มา: <http://library.dip.go.th>, 15 มิถุนายน 2550.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551. เพิ่มรสชาติให้กับชีวิต-พริก **Lighten Up Your Life : Hot Pepper**. แหล่งที่มา: <http://www.ku.ac.th/kaset60/Theme04/theme-04-01/index-04-01.html>, 7 กุมภาพันธ์ 2553.

สุภางค์ เรืองฉาย. 2548. ลักษณะทางคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อซอสพริกผสม. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 25 (2): 132-149.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนซอสพริก. มพช. 289-2547.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2548. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์, น. 67-98. ใน **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near infrared spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AOAC. 2000. **AOAC Official Methods of Analysis**. 17 th eds. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

Cherdchu, P., T. Suwonsichon and J. Oupadissakoon. 2008. Classification of Heat Characteristic in Thai Sweet Chili Sauce, pp 49-63. *In Proceeding of 46th Kasetsart University Annual Conference Subject: Agro-Industry (8)*. 29 January -1 February 2008, Kasetsart University, Bangkok.

Clement, A., M., Dorais and M., Vernon. 2008. Nondestructive measurement of fresh Tomato Lycopene content and other physiochemical characteristics using visible-NIR spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56: 9813-9818

Demuth, H. and M. Beale. 2002. **Neural Network Toolbox for Use with MATLAB for User's Guide**. The Math Works, Inc, The United States. (Mimeographed)

Du, Y.P., Y.Z. Liang, J.H. Jiang, R.J. Berry and Y. Ozaki. 2004. Spectral regions selection to improve prediction ability of PLS models by changeable size moving window partial least squares and searching combination moving window partial least squares. **Analytica Chimica Acta** 501: 183-191.

González-Sáiz, J. M., I. Esteban-Díez, C. Sánchez-Gallardo and C. Pizarro. 2008. Monitoring of substrate and product concentrations in acetic fermentation processes for onion vinegar production by NIR spectroscopy: value addition to worthless onions. **Analytical and Bioanalytical Chemistry** 391: 2937-2947.

Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2003. Estimating the composition of tomato juice product by near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy** 11: 123-136.

Fausett, L. 1994. **Fundamentals of Neural Networks: Architecture, Algorithms and Application**. Prentice-Hall, USA.

Iwamoto, M., R.K. Cho, J., Uozumi and K. Lino. 1984. Near infrared reflectance spectrum of red pepper and its applicability to determination of capsaicin content. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi** 31: 120-125.

Jiang, J.H., R.J. Berry, H.W. Siesler and Y. Ozaki. 2002. Wavelength interval selection in multicomponent spectral analysis by moving window partial least-squares regression with applications to mid-infrared and near-infrared spectroscopic data. **Analytical Chemistry** 74: 3555-3565.

Juan, F.N., M.I. López, M.T. Sánchez, J.A. García and J. Morales. 2008. A feasibility study on the use of a miniature fiber optic NIR spectrometer for the prediction of volumic mass and reducing sugars in white wine fermentations. **Journal of Food Engineering** 89: 325-329.

Kasemsumran, S., Y.P. Du, K. Maruo and Y. Ozaki. 2004. Selective removal of interference singles for near-infrared spectra of biomedical samples by using region orthogonal signal correction.. **Analytica Chemica Acta** 82: 97-103.

_____, _____, _____, and _____. 2005. Improvement of partial least squares models for in vitro and in vivo glucose quantifications by using near-infrared spectroscopy and searching combination moving window partial least squares. **Chemometrics and intelligent laboratory systems** 82: 97-103.

- Kawano, S. and S. Saranwong. 2004. NIR Instruments and Sample Presentation, pp.10-19. *In* **The Second Workshop on NIR Spectroscopy in Thailand**. Edited 1. Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University, Bangkok.
- Li X, He Y and Hui F. 2007. Non-destructive discrimination of Chinese bayberry varieties using Vis/NIR spectroscopy. **Journal of Food Engineering** 8: 357-363.
- Low, K.H., S.Md., Zain, Mhd.R., Abas and R.A. Khan. 2009. Characterization of commercial chili sauce varieties according to their chemical and physical properties using chemometric methods. **Sensing and Instrument for Food Quality and Safety** 3: 203-210.
- Luis, E.R.S., F.S. Fryb, M.A. McLaughlinb and E.M. Calvey. 2001. Rapid analysis of sugars in fruit juices by FT-NIR spectroscopy. **Carbohydrate Research** 336: 63-74.
- Malaysian Standard. 1995. **Specification For Red Chilli Sauce**. MS 532 : 1995.
- Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1986. **Near Infrared Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis**. Longman Scientific & Technology, Essex, England.
- Park, T.S., Y.M. Bae, M.J. Sim, D.E. Kim and S.I. Cho. 2008. Analytical of capsinoids from hot red pepper powder by Near-Infrared Spectroscopy. **Asabe Technical Library**. Michigan, USA.
- Pedro, A.M.K. and M.M.C. Ferreira. 2005. Nondestructive Determination of Solids and Carotenoids in Tomato Products by Near-Infrared Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Analytical Chemistry** 77: 2505-2511.
- _____. and _____. 2007. Simultaneously calibrating solids, sugars and acidity of tomato product using PLS2 and NIR spectroscopy. **Analytica Chimica Acta** 595: 221-227.

- Rambla, F. J., S. Garrigues and M. de la Guardia. 1997. PLS-NIR determination of total sugar, glucose, fructose and sucrose in aqueous solutions of fruit juices. **Analytica Chimica Acta** 344: 41-53.
- Reinbach, H.C., M. Toft and P. Moller. 2009. Relationship between oral burn and temperature in chili spiced pork patties evaluated by time-intensity. **Food Quality and Preference** 20: 42-49.
- Ritthiron, R. 2009. Establishment of NIR System for Routine Analysis. *In* **Near-Infrared Technology in the Agricultural Industries**. Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute (KAPI). Kasetsart university, Bangkok. (in Thai) *Cited*
- Williams, P. 2007. **Near-infrared Technology-Getting the Best out of Light**. PDK Grain, Canada. (Mimeographed)
- Ritthiruandej, P., S. Kasemsumran, T. Suwonsichon, V. Haruthaithanasan, W. Thanapase and Y. Ozaki. 2005. Determination of total nitrogen content, pH, density, refractive index, and brix in Thai fish sauces and their classification by near-infrared spectroscopy with searching combination moving window partial least squares. **Analyst** 130: 1439-1445.
- _____. 2006. **Evaluation of Thai Fish Sause Qualities by Near-Infrared Spectroscopy**. Ph.D Thesis, Kasetsart University.
- _____. 2006. **Evaluation of Thai Fish Sause Qualities by Near-Infrared Spectroscopy**. Ph.D Thesis, Kasetsart University. *Cited* Blanco, M., J. Coello, H. Iturriaga, S. MasPOCH and J. Pages. 2000. NIR calibration in non-linear systems: different PLS approaches and artificial neural networks. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems** 50: 75-82.
- _____. and T. Suwonsichon. 2007. Relationship between NIR spectroscopy and sensory attributes of Thai commercial fish sauces. **Anal. Sciences** 23: 809-814.

- Ruiz, D., M., Reich, S., Bureau, C.M.G.C., Renard and J.M., Audergon. 2008. Application of reflectance colorimeter measurements and infrared spectroscopy methods to rapid and nondestructive evaluation of carotenoids content in apricot (*Prunus armeniaca* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56: 4916-4922.
- Ruoff, K., W. Luginbühl, S. Bogdanov, J.O. Bosset, B. Estermann, T. Ziolkko, S. Kheradmandan and R. Amad. 2007. Quantitative determination of physical and chemical measurands in honey by near-infrared spectrometry. **European Food Research and Technology** 225: 415-423.
- Shao, Y., Y. He and S. Fenga. 2007. Measurement of yogurt internal quality through using Vis/NIR spectroscopy. **Food research international** 40: 835-841.
- Siesler, H.W. ,Y. Ozaki, S. Kawata and H.M. Heise. 2002. **Near-Infrared Spectroscopy- Principle, Instrument, Application**. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Singapore Standard. 1999. **Specification For Chilli Sauce**. SS 340 : 1999.
- Theodoridis, S. and K. Koutroumbas. 1999. **Pattern Recognition Systems**. Academic Press, Inc., Sandiego. 625 pages.
- The U.S. Department of Agriculture (USDA). 2005. **Commercial Item Description Hot Sauce**. A-A-20097E.
- Williams, P. and K. Norris. 1990. **Near-Infrared Technology in the Agriculture and Food Industries**. American Association of Cereal Chemists, Inc.
- _____. 2007. **Near-infrared Technology-Getting the Best out of Light**. PDK Grain, Canada.

Yano, T., T. Aima, Y. Nakanoa and M. Tamaib. 1997. Prediction of the concentrations of ethanol and acetic acid in the culture broth of a rice vinegar fermentation using near-infrared spectroscopy. **Journal of Fermentation and Bioengineering** 84(5): 461-465.







ตารางผนวกที่ ก1 มาตรฐานซอสพริกของประเทศไทย

รายละเอียด	มาตรฐานซอสพริกของประเทศไทย
บทนิยาม (Definition)	ซอสพริก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพริก ผสมกับกระเทียม น้ำตาล น้ำส้มสายชู เกลือ และอาจมีผัก ผลไม้ และ เครื่องเทศ ผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้
ชนิด (Types)	ซอสพริกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1. ซอสพริกล้วน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีเฉพาะพริก กับส่วนประกอบอื่น เช่น น้ำตาล น้ำส้มสายชู 2. ซอสพริกผสม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีผัก ผลไม้ เช่น มะเขือเทศ มะละกอ พริกทอง อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือ มากกว่าหนึ่งอย่างขึ้นไปผสมอยู่ด้วย
ส่วนประกอบ (Raw materials)	1. พริก 2. ผัก ผลไม้ 3. น้ำตาลทราย 4. น้ำส้มสายชู 5. เกลือ 6. กระเทียม 7. เครื่องเทศ
คุณลักษณะที่ต้องการ คุณลักษณะทั่วไป	ซอสพริกล้วน - ต้องมีเฉพาะพริกและส่วนประกอบที่ระบุไว้ ซอสพริกผสม- ต้องมีพริกเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย และต้องไม่มีส่วนประกอบใดที่มีได้ระบุไว้
ความคงตัว (Consistency)	มีความคงตัวดี ผิวหน้าเรียบเท่ากัน เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีส่วนที่เป็นน้ำใสแยกออก
สี (Color)	สีสดใสดำรงตามธรรมชาติของส่วนประกอบ
ดัชนีหักเห (Refractive Index)	ไม่น้อยกว่า 1.3784 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
ลักษณะเนื้อ (Texture)	มีเนื้อละเอียดสม่ำเสมอ ไม่มีชิ้นส่วนหยาบหรือใหญ่ปนอยู่
การปราศจากข้อบกพร่อง (Absence of defects)	มีข้อบกพร่องได้เพียงเล็กน้อย เช่น มีจุดดำ เมล็ดพริก หรือ ชิ้นส่วนของส่วนประกอบโดยไม่ทำให้สี ลักษณะ และคุณภาพเปลี่ยนไป
รสชาติ (Taste), กลิ่น (odor) และกลิ่นรส (Flavour)	ดี มีกลิ่นรสเฉพาะตามลักษณะของเครื่องปรุงของซอสพริก ชนิดนั้นๆ ไม่มีกลิ่นไหม้ หรือกลิ่นแปลกปลอม

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานขอสหพริกของประเทศไทย
วัตถุเจือปนในอาหาร	
กรดเบนโซอิก	ไม่เกิน 1,000 mg/kg
สี	ห้ามใช้สีสังเคราะห์
วัตถุกันเสีย (Preservatives)	ห้ามใช้วัตถุกันเสีย
สารให้ความหวานแทนน้ำตาล	ห้ามใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล
สารเพิ่มความข้นหนืด	ในกรณีที่มีการใช้ให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด
ตะกั่ว	ไม่เกิน 1 mg/kg
ทองแดง	ไม่เกิน 10 mg/kg
สารหนู	ไม่เกิน 0.5 mg/kg
เชื้อจุลินทรีย์	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)	ไม่เกิน 10,000 cfu/g
ยีสต์และรา (Total yeast and mould count)	ต้องไม่พบใน 0.1 กรัมของตัวอย่าง
โคลิฟอร์ม (Coliform)	ต้องไม่พบใน 0.1 กรัมของตัวอย่าง
ครอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (Clostridium Perfringens)	ต้องไม่พบใน 0.1 กรัมของตัวอย่าง
สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus)	ต้องไม่พบใน 25 กรัมของตัวอย่าง
แซลโมเนลลา (Salmonella)	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานขอสหกริกของประเทศไทย
ภาชนะบรรจุ	ภาชนะที่ใช้บรรจุรวมทั้งฝาต้องสะอาด ปิดได้สนิทและไม่ทำปฏิกิริยากับขอสหกริก
ฉลาก	<ol style="list-style-type: none"> 1. คำว่า"ขอสหกริกล้วน" หรือ"ขอสหกริกผสม" 2. ส่วนประกอบ 3. วัตถุเจือปนอาหาร (ถ้ามี) 4. ปริมาตรสุทธิ หรือน้ำหนักสุทธิ 5. วัน เดือน ปีที่ทำ หรือวัน เดือน ปีที่หมดอายุ 6. ชื่อผู้ทำหรือ โรงงานที่ทำ หรือชื่อผู้บรรจุ หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้า

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2533)

ตารางผนวกที่ ก2 มาตรฐานซอสพริกของประเทศมาเลเซีย

รายละเอียด	มาตรฐานซอสพริกของประเทศมาเลเซีย
บทนิยาม (Definition)	ซอสพริก หมายถึง ซอสที่เตรียมขึ้นจาก chilli paste หรือ chilli solids ที่ได้จากพริกที่สะอาด อาจเป็นพริกสดหรือพริกแห้ง น้ำตาล น้ำส้มสายชูและเกลือที่สามารถบริโภคได้ (NaCl) อาจมีการใส่กระเทียม ขิง หัวหอมที่บดละเอียด และเครื่องเทศอื่น ๆ หรืออาจใส่เป็นสารสกัดก็ได้ และอาจใส่มะเขือเทศ มะละกอ ฟักทอง สับปะรด
คุณลักษณะที่ต้องการ	
ความคงตัว (Consistency)	มีความคงตัว และเป็นเนื้อเดียวกัน
สี (Colour)	มีสีแดงเฉพาะตามลักษณะของผลิตภัณฑ์
ลักษณะเนื้อ (Texture)	มีความเป็นเนื้อเดียวกัน
การปราศจากข้อบกพร่อง (Absence of defects)	วัตถุดิบต้องปราศจากแมลง และสิ่งแปลกปลอม
กลิ่น (odor) และ กลิ่นรส (Flavor)	กลิ่นรสเฉพาะของซอสพริก
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total dissolve solids)	ไม่น้อยกว่า 40 °Brix (20 องศาเซลเซียส)
ปริมาณกรดที่ระเหยได้ (Volatile acidity)	ไม่น้อยกว่า 0.8 %w/w (as acetic acid)
pH	ไม่เกิน 4.0
วัตถุเจือปนในอาหาร	
กรดเบนโซอิก	ไม่เกิน 250.0 ppm
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ไม่เกิน 100.0 ppm
สี	ห้ามใส่สี
วัตถุกันเสีย (Preservatives)	ห้ามใช้วัตถุกันเสีย

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานขอสหกรของประเทศมาเลเซีย
สารเพิ่มความข้นหนืด	อนุญาตให้ใช้ในปริมาณน้อย ดังนี้ 1. Carrageenan 2. Xanthan gum 3. Carob bean gum 4. Pectin 5. Tragacanth 6. Starches 7. Alginate 8. Modified starches 9. Modified celluloses
ตะกั่ว	ไม่เกิน 1.0 ppm
ทองแดง	ไม่เกิน 5.0 ppm
สารหนู	ไม่เกิน 1.0 ppm
เชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์ และรา (Total yeast and mould count)	จำนวนรา ไม่เกิน 20.0% of total fields examined
ภาชนะบรรจุ	ผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุในภาชนะแก้วที่สะอาด และภาชนะจะต้องปิดสนิท
ฉลาก	1. ชื่อและยี่ห้อของผลิตภัณฑ์ 2. ชื่อและที่อยู่ของผู้ผลิต และ/หรือ ผู้บรรจุ หรือเจ้าของผู้ผลิตหรือผู้บรรจุ 3. ปริมาตรสุทธิ 4. ส่วนประกอบตามสัดส่วนที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ ตามที่กำหนดไว้ใน Malaysian Food Regulation 5. รหัส หรือ แสดงวัน เดือน ปีที่ผลิต 6. วันหมดอายุ 7. กรดเบนโซอิก หรือเกลือที่บริโภคได้/ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 8. ประเทศผู้ผลิต 9. Halal

ที่มา: Malaysian Standard (1995)

ตารางผนวกที่ ก3 มาตรฐานซอสพริกของประเทศสิงคโปร์

รายละเอียด	มาตรฐานซอสพริกของประเทศสิงคโปร์
บทนิยาม (Definition)	ซอสพริก หมายถึง ผลิตภัณฑ์กึ่งของเหลวที่มีเนื้อละเอียด เป็นเนื้อเดียวกัน ทำจากพริกสดที่สุกแล้ว พริกแห้ง หรือ พริกคอง ผลของพริกต้องสะอาดและไม่มีขี้ อาจผสม น้ำตาล น้ำส้มสายชู เกลือ มะเขือเทศ จิง กระเทียม เครื่องเทศ สารเพิ่มกลิ่นรส กรด และสารเพิ่มความคงตัว ไม่ใช่สีสังเคราะห์ วัตถุกันเสีย และสารให้ความหวานสังเคราะห์
ชนิด (Types)	ซอสพริกสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด ได้แก่ 1. ซอสพริก (Chili sauce) หมายถึง ผลิตภัณฑ์กึ่งของเหลว ที่มีสีเฉพาะ เนื้อสัมผัสเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นรสของเครื่องเทศอื่นๆ กลิ่นรสของพริก มีความเผ็ดร้อน ไม่มีกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนา ไม่มีเชื้อราและวัตถุแปลกปลอม 2. ซอสพริกหวาน (Sweet chili sauce) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีลักษณะเฉพาะ คือ มีน้ำตาลไม่น้อยกว่า 30%(m/m) ไม่มีกลิ่นรสของเครื่องเทศอื่นๆ ไม่มีกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนา ไม่มีเชื้อราและวัตถุแปลกปลอม 3. Garlic chili sauce หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีลักษณะเฉพาะ คือ มีกระเทียมเป็นส่วนประกอบหลัก และมีเฉพาะกลิ่นรสกระเทียมเท่านั้น ไม่มีกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนา ไม่มีเชื้อราและวัตถุแปลกปลอม 4. Ginger garlic chili sauce หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีลักษณะเฉพาะ คือ มีจิงและกระเทียมเป็นส่วนประกอบหลัก และมีความเผ็ดที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างกลิ่นรสของจิงและกระเทียม ไม่มีกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนา ไม่มีเชื้อราและวัตถุแปลกปลอม

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานขอสหพริกของประเทศสิงคโปร์			
ส่วนประกอบ (Raw materials)	1. พริกสด / พริกแห้ง / พริกคอง 2. น้ำตาล 3. น้ำส้มสายชู 4. เกลือ 5. มะเขือเทศสด / tomato paste / tomato puree 6. ขิง 7. กระเทียม 8. เครื่องเทศอื่น ๆ 9. สารเพิ่มกลิ่นรส 10. กรด 11. สารเพิ่มความคงตัว 12. น้ำที่ดื่มได้			
คุณลักษณะที่ต้องการ	ชนิด			
	Chili sauce	Sweet chili sauce	Garlic chili sauce	Ginger garlic Chili sauce
คุณลักษณะทั่วไป	มีสีเฉพาะเนื้อสัมผัสเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นรสของเครื่องเทศอื่น ๆ ยกเว้นกลิ่นรสของพริก	มีน้ำตาลไม่น้อยกว่า 30%(m/m) ไม่มีกลิ่นรสของเครื่องเทศอื่น ๆ	มีกระเทียมเป็นหลัก และมีเฉพาะกลิ่นรสกระเทียมเท่านั้น	มีขิงและกระเทียมเป็นส่วนประกอบเป็นหลัก และมีความเผ็ดที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างกลิ่นรสของขิงและกระเทียม

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานขอสหพริกของประเทศสิงคโปร์			
คุณลักษณะที่ต้องการ				
ความคงตัว (Consistency)	เนื้อสัมผัสเรียบเนียน เป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัว			
ลักษณะเนื้อ (Texture)	มีเนื้อละเอียด เป็นเนื้อเดียวกัน			
	ชนิด			
	Chili sauce	Sweet chili sauce	Garlic chili sauce	Ginger garlic Chili sauce
สี (Colour)	มีสีเฉพาะ	-	-	-
รสชาติ (Taste), กลิ่น และ กลิ่นรส (Odor, Flavor)	ไม่มีกลิ่น รสของ เครื่องเทศ อื่นๆ กลิ่นรส ของพริก	ไม่มีกลิ่นรส ของ เครื่องเทศ อื่นๆ ไม่มี กลิ่นรสที่ไม่ พริก	มีเฉพาะกลิ่น รสกระเทียม เท่านั้น ไม่มี กลิ่นรสที่ไม่ พริก	กลิ่นรสของ จิงและ กระเทียม ไม่มี กลิ่นรสที่ ไม่พริก
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids)	ไม่น้อยกว่า 34 %m/m	ไม่น้อยกว่า 45 %m/m	ไม่น้อยกว่า 28 %m/m	ไม่น้อยกว่า 27 %m/m
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total dissolve solids)	ไม่น้อยกว่า 30 %m/m	ไม่น้อยกว่า 40 %m/m	ไม่น้อยกว่า 25 %m/m	ไม่น้อยกว่า 24 %m/m
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar)	ไม่เกิน 25 %m/m	ไม่น้อยกว่า 30 %m/m	ไม่เกิน 20 %m/m	ไม่เกิน 20 %m/m
ปริมาณกรดที่ระเหยได้ (Volatile acidity)	ไม่น้อยกว่า 0.85% _{m/m}	ไม่น้อยกว่า 0.65 % _{m/m}	ไม่น้อยกว่า 0.80 % _{m/m}	ไม่น้อยกว่า 0.80 % _{m/m}
pH	ไม่เกิน 3.5	ไม่เกิน 3.5	ไม่เกิน 3.8	ไม่เกิน 3.8

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานขอสหกริกของประเทศสิงคโปร์
วัตถุเจือปนในอาหาร	
สี	ห้ามใช้สีสังเคราะห์
วัตถุกันเสีย (Preservatives)	ห้ามใช้วัตถุกันเสีย
สารให้ความหวานแทนน้ำตาล	ห้ามใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล
ตะกั่ว	1.0 ppm (m/m)
ทองแดง	5.0 ppm (m/m)
สารหนู	0.5 ppm (m/m)
เชื้อจุลินทรีย์	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)	ไม่เกิน 100 cfu/g
ยีสต์และรา (Total yeast and mould count)	ไม่เกิน 100 cfu/g
ภาชนะบรรจุ	ภาชนะที่ใช้บรรจุอาจเป็นแก้วหรือพลาสติกที่สะอาด ไม่มีผลกระทบที่เป็นโทษต่อขอสหกริก
ฉลาก	1. ชื่อและที่อยู่ของผู้ผลิต และเครื่องหมายการค้า 2. ชื่อข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ 3. รหัสสินค้า 4. ปริมาตรสุทธิหรือน้ำหนักสุทธิ

ที่มา: Singapore Standard(1999)

ตารางผนวกที่ ก4 มาตรฐานซอสพริกของประเทศเกาหลี

รายละเอียด	มาตรฐานซอสพริกของประเทศเกาหลี
บทนิยาม (Definition)	<p>Gochujang คือ อาหารหมักที่มีสีแดงหรือสีแดงเข้ม โดยผ่านกระบวนการ ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. กระบวนการเปลี่ยนแป้งในเมล็ดข้าวกับมอลต์ให้เป็นน้ำตาล หรือโดยการเพาะเชื้อ <i>Aspergillus</i> sp. 2. ผสมเกลือลงในส่วนผสม จากนั้นหมักเอาไว้ 3. ผสมพริกแดงผงลงไป และส่วนผสมอื่น ๆ อาจผสมก่อนหรือหลังกระบวนการหมักก็ได้
ส่วนประกอบ (Raw materials)	<p>ส่วนประกอบพื้นฐาน</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. เมล็ดข้าว 2. พริกแดงผง (<i>Capsicum annuum</i> L.) 3. เกลือ 4. น้ำที่เหมาะสมสำหรับต้ม <p>ส่วนประกอบอื่น ๆ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. meju ได้จากการหมักถั่วเหลือง หรือส่วนผสมของถั่วเหลืองและเมล็ดข้าว โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ถั่วเหลือง 2. น้ำตาล 3. แอลกอฮอล์กลั่น 4. ซอสถั่วเหลือง 5. ถั่วเหลืองหมัก 6. น้ำปลา 7. สารสกัดจากอาหารทะเล 8. wheat protein 9. ข้าวหมัก 10. สารสกัดจากยีสต์ 11. Hydrolyzed vegetable protein 12. อื่น ๆ

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานซอสพริกของประเทศเกาหลี
คุณลักษณะที่ต้องการ	
สี (Colour)	สีแดงหรือสีแดงเข้มจากพริกแดง (Capsicum annumL.)
ลักษณะเนื้อ (Texture)	มีระดับความหนืดที่เหมาะสม
การปราศจากข้อบกพร่อง (Absence of defects)	ต้องมีสีแดงหรือสีแดงเข้มจากพริกแดง มีระดับความหนืดที่เหมาะสม
รสชาติ (Taste), กลิ่น (odor) และ กลิ่นรส (Flavour)	มีความเผ็ด อาจมีรสหวานและเค็ม มีกลิ่นหอม
ปริมาณ Capsaicin	ไม่น้อยกว่า 10.0 ppm (w/w)
Crude protein	ไม่น้อยกว่า 4.0% (w/w)
Moisture	ไม่เกิน 55.0% (w/w)
วัตถุเจือปนในอาหาร	
วัตถุกันเสีย (Preservatives)	1.0g/kg of sorbic acid single or combination (Potassium sorbate Calcium sorbate)
MSG	กำหนดโดย GMP
Potassium choride	กำหนดโดย GMP
Antioxidant: Sodium lactate	กำหนดโดย GMP
Acidity regulator	กำหนดโดย GMP
Malic acid (D-,L-)	5000 mg/kg single or in combination as Phosphorus (Monosodium orthophosphate, Disodium orthophosphate, Monopotassium orthophosphate, Dipotassium orthophosphate)
สารเพิ่มความข้นหนืด	Guar gum กำหนดโดย GMP Gum Arabic (acacia gum) กำหนดโดย GMP Xanthan gum กำหนดโดย GMP

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐานซอสพริกของประเทศเกาหลี
เชื้อจุลินทรีย์	-
ภาชนะบรรจุ	-
ฉลาก	ชื่อผลิตภัณฑ์ “Gochujang” สามารถใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดของกฎหมาย หรือตามลักษณะเฉพาะฉลากให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ The Codex General Standard for the Labeling of Prepackaged Foods (CODEX STAN 1-1985)

ที่มา: CCASIA (2004)



1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ Total Acidity ด้วยการไทเทรต (AOAC, 2000)

1.1 สารเคมี

2.1.1 สารละลายมาตรฐาน NaOH ความเข้มข้น 0.1 N

2.1.2 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.1% ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95%

1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างซอสพริกประมาณ 10 กรัม แล้วนำมาปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่

1.2.2 ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างออกมาประมาณ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่

1.2.3 หยดฟีนอล์ฟทาลีนประมาณ 2 – 3 หยด แล้วนำมาไทเทรตกับ 0.1 NaOH

จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ ตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนนาน 30 วินาที

1.2.4 บันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ไทเทรต แล้วคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติก จากสูตร

$$\% \text{กรดทั้งหมด} = \frac{V \times N \times \text{น้ำหนักสมมูลของกรด} \times 100}{W \times 1000}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

น้ำหนักสมมูลของกรดอะซิติก = 60.05

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

มีวิธีการดังต่อไปนี้

- 2.1 นำตัวอย่างซอสพริกบรรจุลงในหลอดทดลอง(Vial) ขนาด 40 มิลลิลิตร
- 2.2 ปรับเทียบค่าเครื่อง pH meter โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่ทราบค่า pH แน่นอนอย่างน้อย 2 ค่า
- 2.3 นำตัวอย่างไปวัดด้วยเครื่อง pH meter โดยจุ่มหัววัดเครื่อง pH meter ลงใน Vial ที่บรรจุตัวอย่าง และอ่านค่าจากเครื่อง



ภาพผนวกที่ ข1 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) ยี่ห้อ EUTECH รุ่น Cyber Scan pH 510 ประเทศสิงคโปร์

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon (AOAC, 2000)

3.1 สารเคมี

3.1.1 Fehling' A solution

เตรียมโดยละลาย คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 62.28 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บในขวดสีชา

3.1.2 Fehling' B solution

เตรียมโดยละลายโปแตสเซียมโซเดียมเตตระเรต (Rochech salt; $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 346 กรัม และ NaOH 100 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บในขวดสีชา

3.1.3 Methylene blue 1%

เตรียมโดยละลาย Methylene blue 1 กรัม ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3.1.4 Neutral lead acetate solution 10%

เตรียมโดยละลาย Neutral lead acetate 10 กรัม ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3.1.5 Potassium oxalate solution 10%

เตรียมโดยละลาย Potassium oxalate 10 กรัม ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3.1.6 Standard glucose solution

เตรียมโดยละลาย glucose 0.2 กรัม ที่อบแห้งแล้ว ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ก. ชั่งตัวอย่างซอสพริกในน้ำหนักที่แน่นอน ผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร

ข. เติมสารละลาย lead acetate ลงไป 2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที

ค. จากนั้นเติมสารละลาย Potassium oxalate ลงไป 2 มิลลิลิตร แล้วปรับ
ปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร (A_1)

ง. กรองเอาตะกอนออก

จ. นำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วใส่บิวเรตไทเทรตกับ Fehling' A และ B
อย่างละ 5 มิลลิลิตรที่บรรจุอยู่ในขวดรูปชมพู่ โดยปล่อยสารละลายลงมาก่อนถึงจุดยุติประมาณ 1
มิลลิลิตร

ช. ทิ้งให้เดือดนาน 2 นาที

ซ. เติมสารละลาย Methylene Blue ประมาณ 2 – 3 หยด แล้วไทเทรตต่อจน
สารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ

ณ. บันทึกปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต แล้วคำนวณหาปริมาณ
น้ำตาลรีดิวซ์

3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ก. นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาจำนวน 50-100 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์
เติมสารละลาย HCl (1:1) 5 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 10 นาที

ข. ทิ้งให้เย็น และทำให้เป็นกลางด้วย NaOH 50%

ค. นำมาปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร (A_2) โดยใช้
กลั่น

ง. หลังจากนั้นนำมาไทเทรตกับ Fehling' A และ B เช่นเดียวกับวิธีการหา
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

3.3 การคำนวณ

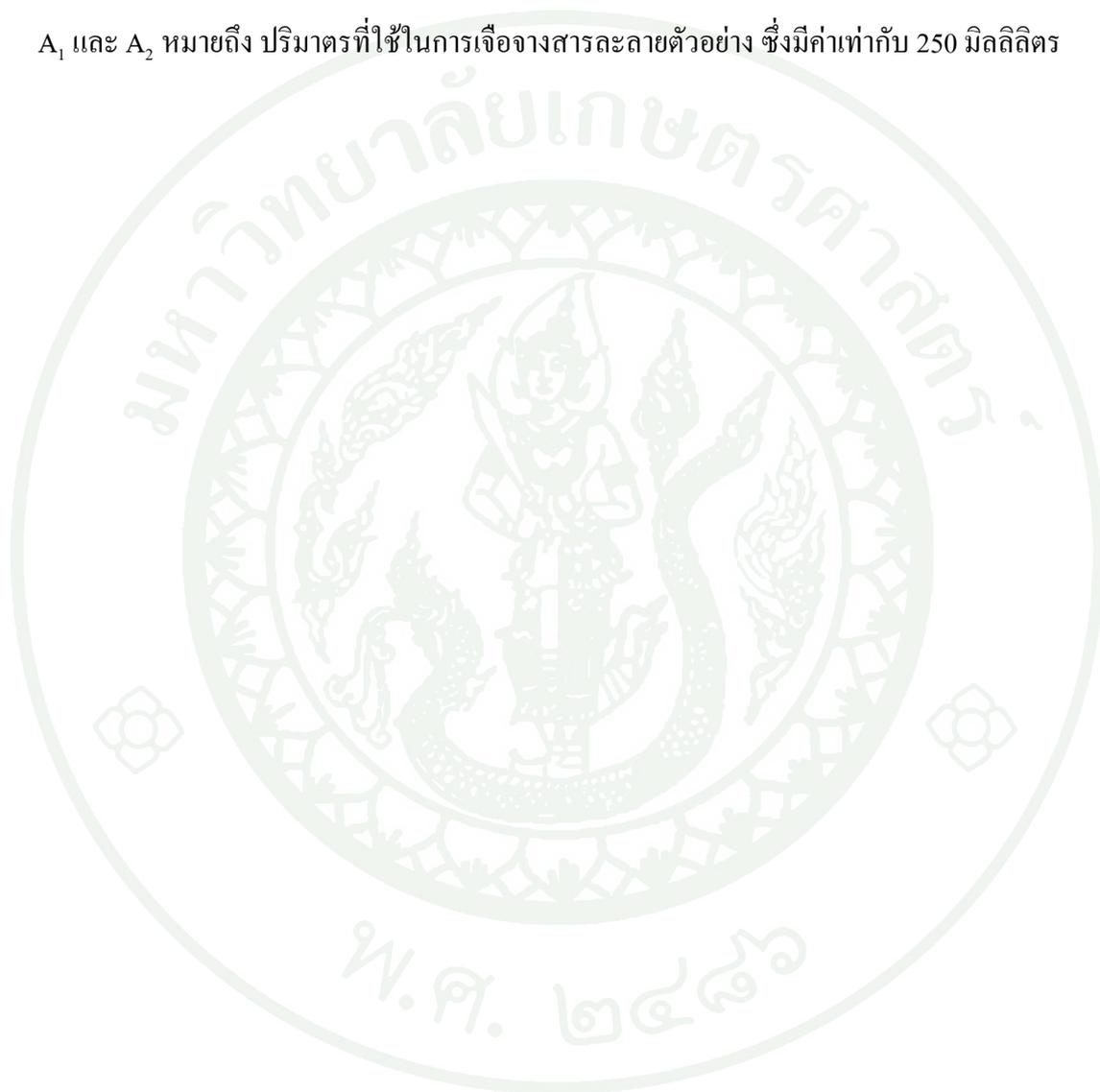
$$\text{Factor} = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม)} \times \text{ปริมาตรน้ำตาลกลูโคส (มิลลิลิตร)}}{100}$$

$$\% \text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (D}_1\text{)} = \frac{F \times 100 \times A_1}{\text{กรัมของตัวอย่างเริ่มต้น} \times \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต}}$$

$$\% \text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (D}_2\text{)} = \frac{F \times 100 \times A_2}{\text{กรัมของตัวอย่างเริ่มต้น} \times \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต}}$$

$$\% \text{น้ำตาลซูโครส (S)} = 0.95 (D_2 - D_1)$$

A_1 และ A_2 หมายถึง ปริมาตรที่ใช้ในการเจือจางสารละลายตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 250 มิลลิลิตร



4. การวิเคราะห์ปริมาณแคปไซซิน (AOAC, 2006)

4.1 สารเคมี

4.1.1 เอทานอล 95 %

4.1.2 อะซิโตน ACS เกรด

4.1.3 LC mobile phase เป็น Acetonitrile กับน้ำ ใช้ solvent หรือ equivalent เป็น LC เกรด โดยผสม acetonitrile 400 มิลลิลิตร กับน้ำ 600 มิลลิลิตร ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น 1% แล้วได้แก๊สด้วย Helium

4.1.4 N-vanillyl-n-nonanamide standard solutions เตรียมสารละลายแคปไซซินมาตรฐาน 2 แบบ คือ

ก. สารละลายมาตรฐาน A ความเข้มข้น 0.15 mg/ml เตรียมโดยชั่ง N-vanillyl-n-nonanamide 75 มิลลิกรัมใส่ขวดปรับปริมาตร ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล แล้วผสมให้เข้ากัน ใช้สำหรับวิเคราะห์ pepper ทั้งหมด ยกเว้น chili pepper

ข. สารละลายมาตรฐาน B ความเข้มข้น 0.015 mg/ml เตรียมโดยเปิดสารละลายมาตรฐาน A 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล แล้วผสมให้เข้ากัน ใช้สำหรับวิเคราะห์ chili pepper

4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

4.2.1 ทำการสกัดแคปไซซินในตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง 1-2 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ใส่อะซิโตน 5 มิลลิลิตร หมุนวนขวดอย่างรวดเร็วผสมจนเข้ากันดี จากนั้นใส่เอทานอล 3-5 มิลลิลิตร หมุนวนขวดอย่างรวดเร็วผสมจนเข้ากันดี ใส่เอทานอลประมาณ 5 ครั้ง แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยเอทานอล

4.2.2 นำสารละลาย 5 มิลลิลิตรที่สกัดได้ใส่ C18 solid-phase extraction cartridge หรือ glass syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร

4.2.3 กรองสารละลาย 1-4 มิลลิลิตร ด้วย syringe filter ขนาด 0.45 ไมครอน เก็บในขวดแก้ว (glass vial) ขนาดเล็ก

4.2.4 ฉีดเข้าเครื่อง HPLC

4.3 การคำนวณ

แคปไซซินอยด์ ประกอบด้วย 3 สารประกอบหลัก คือ nordihydrocapsaicin (N), capsaicin(C) and dihydrocapsaicin (D) การคำนวณความเผ็ดจะรวมสารประกอบทั้งสาม คิดค่าความเผ็ดในหน่วย Scoville Heat Units (SHU) โดย 1 μg total capsaicinoids/g มีค่าประมาณ 1.5 SHU โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\text{SHU} = \text{N} + \text{C} + \text{D}$$

โดยที่

$$\text{N} = (\text{P}_\text{N}/\text{P}_\text{S}) \times (\text{C}_\text{S}/\text{W}_\text{T}) \times (250/0.98) \times 9300$$

$$\text{C} = (\text{P}_\text{C}/\text{P}_\text{S}) \times (\text{C}_\text{S}/\text{W}_\text{T}) \times (250/0.89) \times 16100$$

$$\text{D} = (\text{P}_\text{D}/\text{P}_\text{S}) \times (\text{C}_\text{S}/\text{W}_\text{T}) \times (250/0.93) \times 16100$$

เมื่อ P_N , P_C และ P_D = average peak areas for nordihydrocapsaicin, capsaicin and dihydrocapsaicin, respectively, from duplicate injections

P_S = average peak areas of appropriate standard solution;

C_S = concentration of standard solution, mg/mL; W_T = weight of test portion, g



ภาคผนวก ค
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS)

มีวิธีการดังต่อไปนี้

- 1.1 นำตัวอย่างซอสพริกบรรจุลงในหลอดทดลอง(Vial) ขนาด 40 มิลลิลิตร อุณหภูมิ ตัวอย่าง 25 องศาเซลเซียส
- 1.2 นำตัวอย่างซอสพริกมาวัดค่า TSS โดยใช้ช้อนตักสาร ตักตัวอย่างปริมาณ 1 ช้อนมาใส่ ที่หัววัดของเครื่อง Refractometer
- 1.3 ปิดฝาที่หัววัดแล้วอ่านค่า °Brix

ภาพผนวกที่ ๑1 เครื่อง Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น master M ประเทศญี่ปุ่น

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสี ในระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดค่าสี

มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ทำการปรับเทียบค่าเครื่องวัดค่าสี กำหนดแหล่งกำเนิดแสงที่ D65 มุมผู้สังเกตการณ์ 10° และทำการวัดค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ อุณหภูมิตัวอย่าง 25 องศาเซลเซียส
2. ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัดในถ้วยใส่ตัวอย่าง (glass) ให้เต็ม ปริมาตรประมาณ 2 ออนซ์ จากนั้นปิดปากถ้วยด้วยฝาอะลูมิเนียมสีขา
3. วางถ้วยใส่ตัวอย่าง โดยให้ก้นถ้วยอยู่บนหัววัดของเครื่องวัดค่าสี จากนั้นใช้ถ้วยอะลูมิเนียมสีดำครอบถ้วยใส่ตัวอย่าง
4. ทำการวัดค่าสี บันทึกค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ค่า C^* และค่า h



ภาพผนวกที่ ค2 เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา



ใบรายงานผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ขอสหกริ

ผู้ทดสอบ.....

ตัวอย่าง.....

วันที่.....

คำแนะนำ: ทิ้งตัวอย่างไว้ในปากนาน 5 วินาทีก่อนกลืน หลังจากนั้นอีก 25 วินาทีจึงให้คะแนน

คุณลักษณะด้านความเผ็ด

1. ความเผ็ดโดยรวม (Heat intensity)

น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

2. ความเผ็ดบริเวณลิ้น (Tongue burn)

น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

3. ความเผ็ดบริเวณเพดานปาก (Oral cavity burn)

น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก

4. ความเผ็ดบริเวณลำคอ (Throat burn)

น้อย 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 มาก



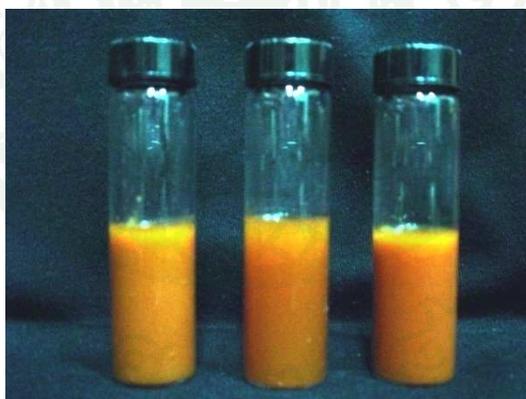
ภาคผนวก จ

ขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสงของซอสพริก ด้วยเครื่อง NIR

การวัดค่าการดูดกลืนแสง

ขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสงของซอสพริกด้วยเครื่อง NIR

- 1.1 เก็บตัวอย่างซอสพริกจากทางโรงงาน และตัวอย่างซอสพริกจากห้างสรรพสินค้า บริเวณรอบกรุงเทพมหานคร
- 1.2 นำตัวอย่างซอสพริกบรรจุลงในหลอดทดลอง (Vial) ขนาด 40 มิลลิลิตร
- 1.3 นำตัวอย่างซอสพริกที่บรรจุอยู่ในหลอดทดลอง ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)
- 1.4 นำตัวอย่างซอสพริกที่ผ่านการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ มาใส่ในหัววัดชนิด Dutch cup และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบทรานส์เฟลคแทนซ์ (Transflectance) ด้วยเครื่อง Near Infrared Reflectance Spectrometer (NIR)
- 1.5 ทำการบันทึกค่าสเปกตรัม ($\log 1/R$) ที่ช่วงคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ทุกช่วงระยะ 2 นาโนเมตร ด้วยโปรแกรม SESAME version 3.1 จากนั้นถ่ายโอนข้อมูลสเปกตรัมแบบ JCAM.DX สู่อุปกรณ์ Unscrambler version 8.0 สำหรับวิเคราะห์ในขั้นต่อไป



ภาพผนวกที่ ๑1 ตัวอย่างซอสพริกที่บรรจุใน Vial ก่อนนำไปควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)



ภาพผนวกที่ จ2 เครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIR) ยี่ห้อ BRAN + LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500 ประเทศเยอรมนี



ภาพผนวกที่ จ3 ช่องใส่หัววัด และหัววัดชนิด Dutch cup ของเครื่อง NIR

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

- ชื่อ-นามสกุล นางสาวฐาปนี สาธร
- วัน เดือน ปี ที่เกิด 7 ธันวาคม พ.ศ. 2526
- สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร
- ประวัติการศึกษา วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2550
- ผลงานทางวิชาการ Sathorn, T., T., Suwonsichon , W., Thanapase and S. ,Kasemsumran.
2008. Determination of total soluble solids and total acidity in term of acetic acid content in chili sauces by near infrared spectroscopy. pp. 204-205. *In Proceeding of The 1st Asian NIR Symposium and The 24th Japanese NIR Forum.* 10-14th November 2008, Tsukuba, Japan.
- Sathorn, T., T., Suwonsichon , W., Thanapase and S. ,Kasemsumran.
2009. Prediction of total soluble solids and total acidity in chili sauces by near infrared spectroscopy. pp. 69-76. *In Proceeding of 46th Kasetsart University Annual Conference.* 17-20th March, 2009, Bangkok, Thailand.
- Sathorn, T. and T., Suwonsichon. 2009. Application of near infrared spectroscopy combined with artificial neural network to predict heat sensation in chili sauces. p. 32. *In Proceeding of Summer Program In Sensory Evaluation 2009.* 7-9th August 2009, Hochiminh, Vietnam.
- Sathorn, T., T., Suwonsichon, W., Thanapase and S. Kasemsumran.
2009. Near infrared spectroscopic determination of capsaicin and scoville heat units in chili sauces. *In Proceeding of the 14th International Conference on Near Infrared Spectroscopy.* 9-13th November 2009, Bangkok, Thailand.