

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้ประโยชน์จากวงศักรัศมีที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติเป็นอินดิเคเตอร์



T 0 6 2 1 4 8



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62148
วัน,เดือน,ปี..... 31 ก.ค. 2549



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application of Pigment Extracted from Natural Plants as pH Indicator



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การใช้ประโยชน์จากแรงควัดที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติเป็นอินดิเคเตอร์
 โดย นางสาวเกศกาญจน์ ยะวิเชียร
 นางสาวชนิษฐา วงษ์ชัยกรณ์
 ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์
 ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 นับโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
อาจารย์ กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์		๒๕๖๓/๖๖
ดร. อุสารัตน์ ฉาวชัยสิทธิ์		
อาจารย์ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์		
ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน		


 (ผศ.ดร.ประยงค์ ควงดี)
 หัวหน้าภาควิชา

มติมติของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การใช้ประโยชน์จากรงควัตถุที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติเป็นอินดิเคเตอร์ นางสาวเกศกาญจน์ ยะวิเชียร นางสาวขนิษฐา วงษ์รัชฎกรณ์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้รงควัตถุที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติเป็นพีเอชอินดิเคเตอร์ โดยจัดทำสเกลสีมาตรฐานและกระดาษวัดพีเอชจากรงควัตถุ พืชที่ใช้ในการศึกษา 4 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาขมิ้น และใบหมากผู้หมากเมีย การทดลองได้ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุจากพืชทั้งสี่ชนิด โดยใช้น้ำและกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่าน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีกว่ากรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล จากผลการทดลองพบว่าดอกอัญชันเป็นพืชที่เหมาะสมในการใช้เป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นจัดทำสเกลสีมาตรฐานจากการเปลี่ยนสีของรงควัตถุที่สกัดจากดอกอัญชันในช่วงพีเอช 1 ถึง 13 โดยใช้ CIELAB method จากการศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากการวัดพีเอชที่เตรียมได้พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการอ่านค่าพีเอชคือ ภายในเวลา 30 นาที และผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมจากรงควัตถุที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 40 นาที ให้ผลดีกว่าที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 20 นาที นอกจากนี้ ยังศึกษาความถูกต้องในการอ่านค่าพีเอชโดยใช้กระดาษวัดค่าพีเอชที่เตรียมได้ โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 26 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่างสามารถอ่านค่าพีเอชได้ค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอชที่อ่านได้จากพีเอชมิเตอร์ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นกับกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและเครื่องพีเอชมิเตอร์พบว่าการอ่านค่าพีเอชจากรกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและเครื่องพีเอชมิเตอร์

คำสำคัญ: รงควัตถุ พีเอชอินดิเคเตอร์ ดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบหมากผู้หมากเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Application of Pigment Extracted from Natural Plants as pH Indicator
Name	Miss Kedkan Yavichean Miss Khanitta Wongtunyagon
Department	Chemistry Faculty of Science
Program	Environmental Resource of Chemistry
Academic Year	2004
Special Project Advisor	Ms. Glinsukol Suwannarut Dr. Suwannee Junyapoon

ABSTRACT

This special project studied an application of pigment extracted from natural plants as pH indicator by preparing indicator scale and pH paper. Four natural plants were used in the study including butterfly pea, madagascar periwinkle, flame nettle and kototodamu. In this study, water and 0.01 % citric acid in ethanol were used as solvent for pigment extraction. It was found that the extraction by using water was better than that of 0.01 % citric acid in ethanol. Pigment extracted from butterfly pea was the best pH indicator. Indicator scale was prepared using pigment extracted from butterfly pea in pH range between 1 and 13. The color of solution was changed when pH value changed. The change of color was measured using CIELAB method. The stability of the pH indicator was investigated and it was found that pH indicator was stable within 30 minutes. It was found that drying pH paper at 40 °C for 40 minutes was better than that of 80 °C for 20 minutes. The accuracy of pH reading using study groups 26 peoples was also investigated. The results indicated that the use of pH paper prepared from butterfly pea pigment was similar as that of commercial pH paper and pH meter. An efficiency of pH reading of prepared pH paper, commercial pH paper and pH meter was also studied. It was found that pH reading from these three techniques were similar.

Keywords: Pigment, pH indicator, butterfly pea, madagascar periwinkle, flame nettle, kototodamu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง การประยุกต์ใช้รังควัตถุจากกลีบดอกอัญชัน กลีบแพงพวยบกสีชมพู ไบถาธิผสม และไบหมากผู้หมากเมียในการวัดค่าพีเอช สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณดังมีรายนามดังต่อไปนี้

อาจารย์สุวรรณี และอาจารย์กลิ่นสุคนธ์ ซึ่งคอยช่วยเหลือทุกด้านทั้งตอบคำถามข้อสงสัย และเสนอแนะแนวทาง และที่สำคัญคือ ให้ทำโครงการได้อย่างเสรี ให้เผชิญหน้ากับปัญหาได้ด้วยตนเองทำให้ทราบและเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ได้ดีขึ้น

อาจารย์ทรงแก้ว และอาจารย์อุสารัตน์ กรรมการพิจารณา โครงการพิเศษที่ที่คอยให้คำแนะนำแก้ไขและตรวจสอบแก้ไข

พี่ปราณี พี่สุรินทร์ และพี่นักวิทยาศาสตร์ ของภาควิชาเคมีที่คอยช่วยเหลือในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้งานสำเร็จไปได้ด้วยดี

เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือในการทำงานในการทำชุดตรวจสอบพีเอชที่ทำขึ้นทุกคน และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คุณแม่ คุณพ่อที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอดมาแนะนำวิธีดีต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาให้กับลูกตลอดมาและลูกรู้ว่าจะเป็นเช่นนี้ตลอดไป

น้ำ ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ น้ำบุญย์ น้ำเม็ก น้ำศร น้ำศรี พี่เจน น้องตึก และน้องชายทั้งสอง และเพื่อน ๆ ในภาควิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดเวลา

นางสาวเกศกาญจน์ ยะวิเชียร

นางสาวนนิษฐา วงษ์ธัญกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
นิยามศัพท์	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 รังควัตถุในธรรมชาติ (pigment)	3
2.2 ลักษณะพืชที่เลือกใช้ในโครงการพิเศษ	15
2.3 ค่าพีเอช (pH value)	18
2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินการ	31
3.1 สารเคมีและวัสดุธรรมชาติ	31
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	32
3.3 ขั้นตอนดำเนินการ	32
3.3.1 ศึกษาหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุจากพืชทำการทดลองโดยใช้น้ำและกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล	32
3.3.2 ศึกษาผลของปริมาณพืชที่เหมาะสมต่อการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน	33
3.3.3 ศึกษาผลของชนิดของพืชที่เหมาะสมต่อการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน	34
3.3.4 จัดทำสเกลมาตรฐานเพื่อใช้ในการตรวจวัดพีเอช	34
3.3.5 ศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัด	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชที่จัดทำขึ้น	
3.3.6 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้น	35
ต่อประสิทธิภาพของกระดาษวัดพีเอช	
3.3.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการวัดค่าพีเอช	35
3.3.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัด	36
พีเอชที่จัดเตรียม ขึ้นกับวิธีการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์	
และกระดาษวัดพีเอช	
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 ศึกษาตัวทำลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุจากพืช	37
4.2 ปริมาณของพืชที่เหมาะสมต่อการจัดทำสเกลมาตรฐาน	39
4.3 ชนิดของพืชที่เหมาะสมในการทดลองจัดทำสเกลมาตรฐาน	45
4.4 การจัดทำสเกลมาตรฐาน	47
4.5 ศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น	48
4.6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้น ต่อ	50
ประสิทธิภาพของกระดาษวัดพีเอช	
4.7 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอช	52
4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอช โดยกระดาษวัดพีเอช	54
ที่จัดเตรียมขึ้นกับวิธีการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ และกระดาษ	
วัดพีเอชที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	61

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ความคงตัวของรงควัตถุแอนโทไซยานินในระบบที่สภาวะแตกต่าง	14
ตารางที่ 4.1 ค่า ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่อ่านค่าได้ ณ เวลาต่าง ๆ หลักการเกิดสีเทียบกับเวลาเริ่มต้นของการเกิดสี	48
ตารางที่ 4.2 ค่า ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบสีของรงควัตถุเมื่ออบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียม ขึ้น ที่อุณหภูมิ 40 C° เมื่อวัดที่เวลาต่างๆเทียบกับเวลาเริ่มต้นของการเกิดสี	51
ตารางที่ 4.3 ค่า ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบสีของรงควัตถุเมื่ออบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียม ขึ้น ที่อุณหภูมิ 80 C° เมื่อวัดที่เวลาต่าง ๆ เทียบกับเวลาเริ่มต้นของการเกิดสี	52
ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอช โดยกระดาษวัดพีเอชที่ จัดเตรียมขึ้นกับวิธีการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ และกระดาษวัดพีเอช	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และไฟโตล	4
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของไลโคพีน	5
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของแกรมมา-แคโรทีน	6
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของแอลฟา-แคโรทีนและบีตา-แคโรทีน	6
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของคริปโตแซนทิน	6
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของบีตาเลน	7
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของกลุ่มควิโนน	8
รูปที่ 2.8	โครงสร้างของสูตร โครงสร้างของแซนโทนและแมนนิเฟอริน	8
รูปที่ 2.9	โครงสร้างของกรดแกดติก (gallic acid) และกรดเอลลาจิก (ellagic acid)	9
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของฟลาเวน-3,4-ไดออล (flavan-3,4-diol) และลูโคแอนโทไซยานิน	10
รูปที่ 2.11	โครงสร้างของแคทีชิน	10
รูปที่ 2.12	โครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน	11
รูปที่ 2.13	โครงสร้างหลักของสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์	11
รูปที่ 2.14	โครงสร้างของ Flavylium Cation	12
รูปที่ 2.15	โครงสร้างของ 3,5,7-ไตรไฮดรอกซีฟลาโวลิลิอุมคลอไรด์	12
รูปที่ 2.16	โครงสร้างของไซยานิดิน (cyanidin) พีลาร์โกนิดีน (pelargonidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) และพีโอนิดิน (peonidin)	13
รูปที่ 2.17	โครงสร้าง Ternatin A1 และ A2	15
รูปที่ 2.18	CIE Chromaticity Diagram	21
รูปที่ 2.19	CIELAB 1976 ซึ่งแสดง CIE L* a* b* color space	22
รูปที่ 2.20	ค่า da* และ db* ในระบบ CIELAB	24
รูปที่ 2.21	ค่า dH* และ dC* ในระบบ CIELAB	25
รูปที่ 2.22	ความหมายของค่า dH* ในระบบ CIELAB	26
รูปที่ 4.1	เปรียบเทียบสีรงควัตถุที่สกัดน้ำและซีตริก 0.01% ในเอทานอลที่ระดับพีเอชต่าง ๆ	38
รูปที่ 4.2	ปริมาณของดอกอัญชันที่เหมาะสมในการทดลอง	40
รูปที่ 4.3	ปริมาณของดอกแพงพวยบกสีชมพูที่เหมาะสมในการทดลอง	41
รูปที่ 4.4	ปริมาณของใบถั่วฝักยาวที่เหมาะสมในการทดลอง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5	ปริมาณของใบหมากผู้หมากเมียที่เหมาะสมในการทดลอง	43
รูปที่ 4.6	ชนิดของพืชที่เหมาะสมในการทดลอง	46
รูปที่ 4.7	สเกลสีมาตรฐานในตรวจวัดพีเอชจากรงควัตถุที่สกัดได้จากดอกอัญชัน	47
รูปที่ 4.8	ความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นในการทดลอง	49
รูปที่ 4.9	ค่าเปรียบเทียบ h_{ab} ที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อทำการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นที่อุณหภูมิ 40 C°	50
รูปที่ 4.10	แสดงค่า h_{ab} ที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 80 C°	51
รูปที่ 4.11	ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการอ่านค่าพีเอชด้วยกระดาษวัดพีเอชและสารละลายที่ระดับพีเอชต่างๆ ($n=26$)	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามศัพท์

h_{ab}	=	สีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีแดง สีเขียว และน้ำเงิน เป็นต้น
L^*	=	การสะท้อนแสงที่แตกต่างกันไป
C^*	=	ความสดใส ความเข้ม หรือความบริสุทธิ์ของสี
dE_{CIE94} หรือ ΔE_{CIE94}	=	ค่าความแตกต่างของสี
ml	=	มิลลิลิตร
M	=	โมลาร์
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
KCl	=	โพแทสเซียมคลอไรด์
HCl	=	กรดไฮโดรคลอริก
KHP	=	โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต
Citric	=	กรดซิตริก
Na_2HPO_4	=	ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต
NH_3	=	แอมโมเนีย
NH_4Cl	=	แอมโมเนียมคลอไรด์
NaOH	=	โซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันการใช้สารเคมีทั้งในภาคอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวันมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วควบคู่กับการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ ถ้าสารเคมีเหล่านี้ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดที่เหมาะสมก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และเกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการลดการใช้สารเคมี จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหา

ค่าพีเอชเป็นตัวแปรสำคัญตัวแปรหนึ่งในการวัดคุณสมบัติของน้ำ โดยทั่วไปวิธีการวัดพีเอชที่นิยมใช้ได้แก่ การหาค่าความเป็นกรด-ด่างโดยการไทเทรต กระดาษพีเอช เครื่องวัดพีเอช ซึ่งวิธีเหล่านี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ค่อนข้างสูง ต้องอาศัยความชำนาญ และใช้สารเคมีในการตรวจวิเคราะห์ ทำให้เกิดของเสียจากการวิเคราะห์ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้รงควัตถุที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติ เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการลดผลกระทบที่จะเกิดจากการวัดค่าพีเอช

รงควัตถุในพืชบางชนิดมีคุณสมบัติเป็นตัวบ่งชี้ (indicator) โดยจะเปลี่ยนสีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง เช่น สารละลายที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีสีม่วง เมื่ออยู่ในสภาวะกรดสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดง และเปลี่ยนเป็นสีเขียวเมื่ออยู่ในสภาวะด่าง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะประยุกต์ใช้รงควัตถุที่สกัดได้จากพืชในการตรวจวัดค่าพีเอชของน้ำ เพื่อลดการใช้สารเคมี ประหยัดค่าใช้จ่าย และผู้ใช้สามารถจัดเตรียมตัวบ่งชี้ได้อย่างง่ายขึ้นใช้เองโดยใช้พืชที่มีอยู่ในท้องถิ่น ในงานวิจัยนี้พืชที่ใช้ศึกษาได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกลีชมพู ใบถั่วฝักยาว และ ใบหมากผู้หมากเมีย ซึ่งเป็นพืชที่หาได้ทั่วไปและมีทุกฤดูกาล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. จัดทำสเกลสีมาตรฐานจากรงควัตถุที่สกัดได้จากพืช
2. จัดทำชุดกระดาษวัดพีเอชจากรงควัตถุที่สกัดได้จากพืช
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัดพีเอชเตรียมขึ้นจากรงควัตถุของพืชกับวิธีการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter) และกระดาษพีเอช (pH paper) ที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ
4. ศึกษาประสิทธิภาพของกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาตัวทำลายที่เหมาะสมที่ใช้สกัดรงควัตถุ โดยเปรียบเทียบระหว่าง กรดซิดริก 0.01% ในเอทานอล และน้ำ (นพพร, 2539; Delgado และ Paredes, 2002)
2. ศึกษาการเปลี่ยนสีของรงควัตถุบนกระดาษวัดพีเอชที่ได้จากข้อที่ 1 ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ในช่วง 1 ถึง 13 ของสารละลายสกัดจากดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบหมากผู้หมากเมีย และใบฤาษีผสม เพื่อเลือกชนิดของพืชที่เหมาะสมในการจัดทำกระดาษวัดพีเอช
3. ศึกษาผลของปริมาณพืชที่มีผลต่อการจัดทำสเกลมาตรฐานสำหรับตรวจวัดค่าพีเอช
4. ศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น โดยใช้พืชที่ได้จากข้อ 2 และปริมาณของพืชที่ได้จากข้อ 3 ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ โดยแปรค่าเวลาที่ 0, 5, 15, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ
5. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมได้ต่อประสิทธิภาพของกระดาษวัดพีเอช ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้คือ 40 และ 80 °C ที่เวลาต่าง ๆ ดังนี้ 0, 1, 2, 7 และ 14 วัน
6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมได้จากรงควัตถุจากพืชในข้อ 2 กับการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ และกระดาษวัดพีเอชทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
7. ศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจวัดพีเอช โดยการเปรียบเทียบสเกลมาตรฐานที่เตรียมขึ้นได้ โดยใช้รงควัตถุที่เตรียมขึ้นในรูปกระดาษวัดพีเอชและสารละลาย โดยทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 26 คน
8. นำกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นมาประยุกต์ใช้วัดค่าพีเอชของน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้แก่ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ น้ำจากสระธรรมชาติ และน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำกระดาษพีเอชอย่างง่ายขึ้นใช้เอง เพื่อใช้ในการวัดค่าพีเอช
2. ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อกระดาษพีเอช และอุปกรณ์สำหรับวัดค่าพีเอช
3. ลดการใช้สารเคมีในห้องปฏิบัติการ
4. ใช้วัสดุธรรมชาติซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่นและไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการวัดค่าพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 รงควัตถุในธรรมชาติ (pigment)

สีของพืชที่พบในธรรมชาติเกิดจากภายในเซลล์ของพืชมีสารที่ให้สีที่เรียกว่า สารสี หรือ รงควัตถุ (pigment) เช่น สีเขียวของผักใบเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ หรือสีเหลือง สีส้ม และสีแดง เนื่องจากสีของแคโรทีนอยด์ เป็นต้น รงควัตถุที่พบในธรรมชาติ ได้แก่

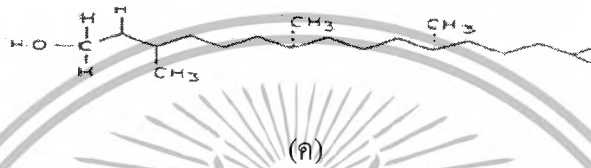
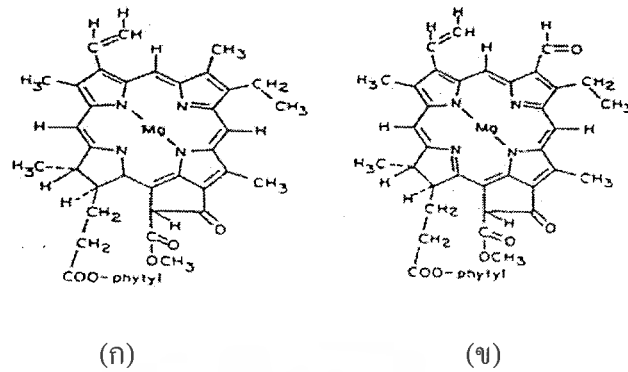
2.1.1 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบอยู่ในพืช โดยเฉพาะผักใบเขียวและผลไม้ดิบบางชนิด คลอโรฟิลล์มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของพืช

คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี สำหรับ

คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชสีเขียวชั้นสูงจะมีอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บี ประมาณ 3 : 1 และพบอยู่ในพลาสติด (plastid) เรียกว่า คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยเล็กๆ เรียกว่า กรานา (grana) และโครงสร้างของกรานาจะประกอบด้วยลามลลา (lamellae) โดยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะฝังตัวอยู่ตามลามลลา และเกาะตัวอยู่กับลิพิด โปรตีน และ ไลโปโปรตีน โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และไฟตอล แสดงดังรูปที่ 2.1

เมื่อให้ความร้อนแก่พืชสีเขียว จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมไอออนจะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (olive-brown) ของฟีโอไฟติน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และไฟตอล (นิธิยา, 2545)

(ก) คลอโรฟิลล์เอ (ข) คลอโรฟิลล์บี (ค) ไฟตอล

2.1.2 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืชธรรมชาติ มีสีเหลือง และมีโครงสร้างเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ ส่วนที่เป็นอะไกลโคนมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นเบนโซไพโรน นิวเคลียส (benzopyrone nucleus) และรวมตัวกับน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส แรมโนส กาแล็กโทส ซิโลส อะปิโอส และกรดคลอโรินิก ตำแหน่งที่เป็นพันธะจะผันแปร ตำแหน่งที่พบโดยทั่วไป คือ 7, 5, 4', 7 และ 4', 3'

ฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มที่ได้พบบ่อยดังนี้

- 1) ฟลาโวน (Flavones) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพโรน (2-phenylbenzopyrone) ในโมเลกุลมีพันธะคู่ที่ตำแหน่งที่ 2 และ 3 ฟลาโวนเป็นสารที่ไม่มีสี ตัวอย่างเช่น อะจิปินิน (agipenin) ลูเตโอลิน (luteolin) และไตรเซติน (trisetin)
- 2) ฟลาโวนอล (Flavonols) เกิดจากสารประกอบฟลาโวนมีการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 3 ตัวอย่างของฟลาโวนอลได้แก่ เควอร์ซีติน (quercetin หรือ 3, 5, 7, 3', 4'-pentahydroxyflavone) แคมพ์ฟีรอล (kaempferol) และไมริซีติน (myricetin)
- 3) ฟลาวาโนน (Flavanones) มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับฟลาโวน แต่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2

และตำแหน่งที่ 3 เป็นพันธะเดี่ยว ฟลาโวนอยด์ที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น เอสเพอ

ริดิน (hesperidin) และนารินจิน (naringin) ที่พีเอชเป็นค่าต่าง (พีเอช 10) วงแหวนที่อยู่ภายในโมเลกุลของเฮสเพอริดินจะเปิดออกได้เป็นชาลโคน (chalcone) เช่นเดียวกับ การสลายตัวของแอนโทไซยานิน โดยชาลโคลจะมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล

- 4) ฟลาวาโนนอล (Flavanonols) มีสูตรโครงสร้างคล้ายฟลาวาโนน แต่หมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 3
- 5) ไอโซฟลาโวน (Isoflavones) มีสูตรโครงสร้างเช่นเดียวกับฟลาโวน แต่วงแหวนฟีนอลอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 เป็น 3-ฟีนิลเบนโซไพโรน (3-phenylbenzopyrone)

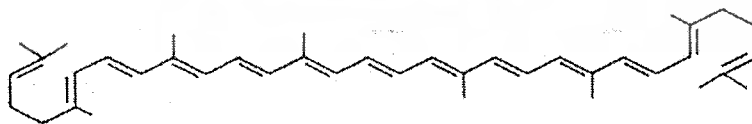
2.1.3 แคโรทีนอยด์ (Carotenoids)

แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ แคโรทีนอยด์ชนิดที่พบมากที่สุดคือ ฟิวโคแซนทิน (fucoxanthin) ในสาหร่ายชนิดต่าง ๆ และอีก 3 ชนิด คือ ลูเทออิน (Lutein) ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) และนีโอแซนทิน (neoxanthin) สำหรับในพืชใบเขียวแคโรทีนอยด์ที่พบได้แก่ พวกลูเทออิน และซีแซนทิน (zexanthin) สำหรับในมะเขือเทศ ได้แก่ โลโคพีน (Lycopene) ในพริกแดง ได้แก่ แคพแซนทิน (capxanthin) ในแอนเนตโต ได้แก่ ไบซิน (bixin) ซึ่งสารกลุ่มหลังจะพบเฉพาะพืชบางชนิดเท่านั้น

แคโรทีนอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

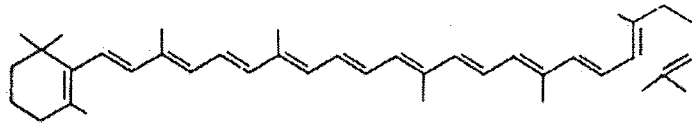
- 1) กลุ่มที่เป็นไฮโดรคาร์บอน คือ แคโรทีนซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์กลุ่มที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนซึ่งเป็นไดอีน (idene) มีคาร์บอนในโมเลกุล 40 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ แบ่งออกได้เป็นกลุ่มย่อยอีก 3 กลุ่ม คือ

- 1.1) อะไซคลิก (acyclic) คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุล เช่น โลโคพีน มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.2



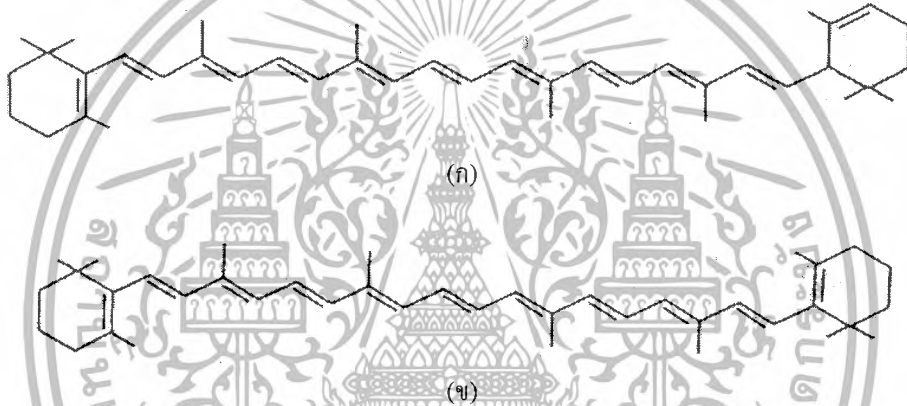
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของโลโคพีน (นิธิยา, 2545)

- 1.2) โมโนไซคลิก (monocyclic) คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายด้านหนึ่งเช่น แกรมมา-แคโรทีน มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแกมมา-แคโรทีน (นิธิยา, 2545)

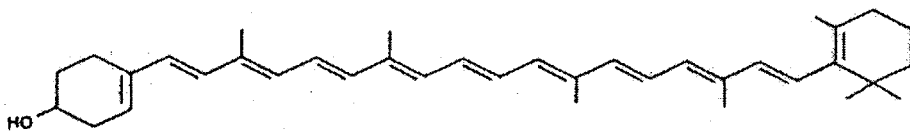
1.3) ไบไซคลิก (bicyclic) คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายทั้งสองด้านเช่น แอลฟา-แคโรทีนต่างจากบีตา-แคโรทีน ที่ตำแหน่งพันธะคู่ของวงแหวนที่ 2 มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแอลฟา-แคโรทีนและบีตา-แคโรทีน (นิธิยา, 2545)

(ก) แอลฟา-แคโรทีน (ข) บีตา-แคโรทีน

2) กลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล เป็นกลุ่มของอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เมทอกซิล คาร์บอนซิล คีโต หรืออีพอกซี (epoxy) รวมเรียกว่า แซนโทฟิลล์ แคโรทีนอยด์กลุ่มที่พบในพืชและมักจะอยู่รวมกับแคโรทีน ตัวอย่างของแซนโทฟิลล์ เช่น คริปโตแซนทิน นอกจากนี้แซนโทฟิลล์ ยังอาจอยู่ในรูปอนุพันธ์เอสเทอร์กับกรดไขมันก็ได้ สารกลุ่มนี้จะเป็นรงควัตถุหลักในข้าวโพด พริกแดง มะละกอสุก และส้ม สูตรโครงสร้างของคริปโตแซนทิน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของคริปโตแซนทิน (นิธิยา, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 บีตาเลน (Betalains)

บีตาเลนเป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ให้สีแดงและสีเหลืองคล้ายแอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ เดิมเรียกว่า nitrogenous anthocyanins บีตาเลนพบเฉพาะในตระกูล Centrospermae และชนิดที่เป็นอาหารบริโภคได้คือ red beet นอกจากนี้ยังพบบีตาเลนในแคดดัสและดอกไม้หลายชนิด เช่น ผักโขม (amaranthus) สูตรโครงสร้างของโครงสร้างของบีตาเลนแสดงดังรูปที่ 2.6

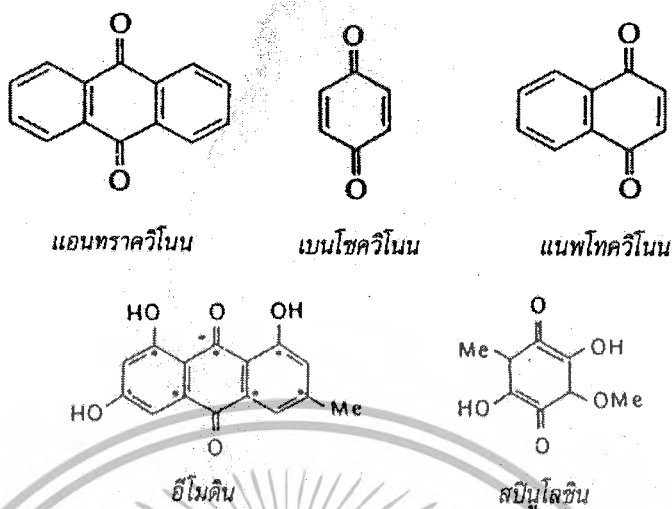


ถ้าหมู่ R' และ R ถูกแทนที่ด้วยแอลคิล (alkyl) หรือ เบนซิล (benzyl) สารประกอบที่ได้จะมีสีแดง เมื่อพันธะคูมีเรโซแนนซ์ (resonance) เรียกว่า บีตาไซยานิน (betacyanin) แต่ถ้าพันธะคูไม่มีเรโซแนนซ์ สารประกอบที่ได้จะมีสีเหลือง เรียกว่า บีตาแซนทิน (betaxanthin) ทั้งสารประกอบที่ให้สีแดงและสีเหลือง มีน้ำตาลและหมู่เอซิล (acyl) เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลบีตาเลนในธรรมชาติพบในรูปไซยานิน ประมาณ 52 ชนิด และรูปบีตาแซนทิน 17 ชนิด โดยทั่วไปจะพบแดงและสีเหลืองจะเกิดขึ้นอยู่ร่วมกัน

2.1.5 คิวโนน (Quinones)

เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ของดอกไม้ ฟังไจ ไลเคน แบคทีเรีย และสาหร่าย สารในกลุ่มคิวโนนมีประมาณ 200 ชนิด ให้สีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนไปจนถึง เกือบดำ พบมากในรูปแอนทราควิโนน (anthraquinone) ซึ่งนำมาใช้เป็นสีย้อมผ้า สูตรโครงสร้างของสารกลุ่มแสดงดังรูปที่

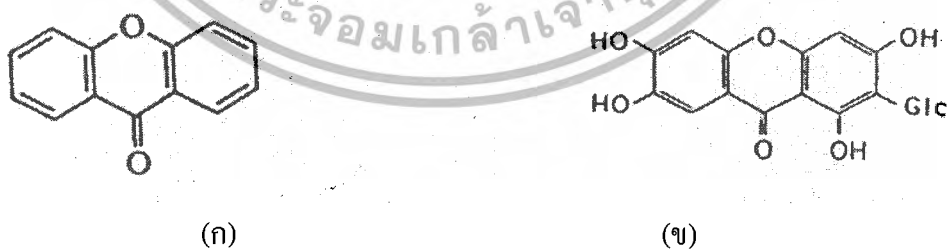
2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของกลุ่มควิโนน (นิธิยา, 2545)

2.1.6 แซนโทน (xanthenes)

เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ใช้ให้สีเหลือง แซนโทนที่รู้จักกันดีในอาหาร คือ แมงกิเฟอริน (mangiferin) ซึ่งอยู่ในรูปไกลโคไซด์ พบได้ในมะม่วงสุก ความแตกต่างของแซนโทน ฟลาโวน และควิโนนบ่งบอกได้โดยอาศัยช่วงคลื่นแสงที่แตกต่างกัน สูตรโครงสร้างของแซนโทนและแมงกิเฟอริน แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสูตรโครงสร้างของแซนโทนและแมงกิเฟอริน (นิธิยา, 2545)

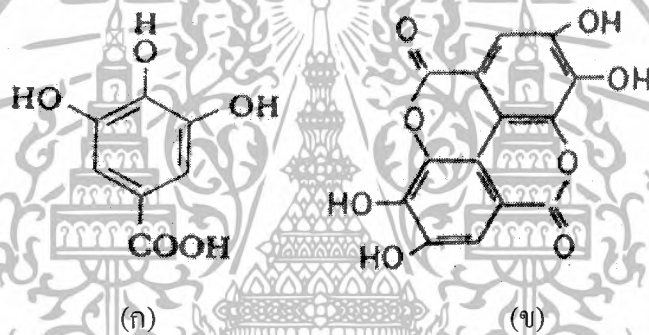
(ก)แซนโทน (ข)แมงกิเฟอริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 แทนนิน (Tannins)

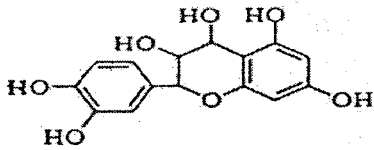
แทนนินเป็นกลุ่มของสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากธรรมชาติ พบอยู่ในเปลือกไม้ยืนต้น และยังพบได้ในส่วนอื่น ๆ ของพืชด้วย เช่น พบมากในใบชา โกโก้ และผลไม้ดิบบางชนิดที่มีรสฝาด ได้แก่ พลับ ละครูด กัลยง อุ่น ท้อ แอปเปิล และสาเก แทนนินเป็นสารที่ทำให้เกิดรสฝาด และมีสีเหลืองจนถึงน้ำตาล สามารถจำแนกออกตามคุณสมบัติดังนี้

- 1) แทนนินที่ไฮโดรไลซ์ได้ (hydrolysable tannins) หมายถึง กลุ่มของสารประกอบแทนนินที่เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เช่น กรดแกลลิก (gallic acid) และกรดเอลลาจิก (ellagic acid) โดยมีสูตรโครงสร้างในรูปที่ 2.9

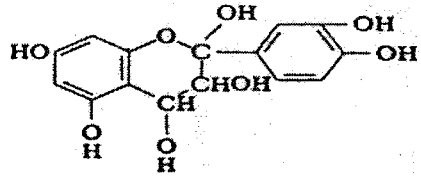


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของกรดแกลลิก (gallic acid) และกรดเอลลาจิก (ellagic acid) (นิธิยา, 2545) (ก) กรดแกลลิก (gallic acid) (ข) กรดเอลลาจิก (ellagic acid)

- 2) แทนนินที่ไฮโดรไลซ์ไม่ได้ (nonhydrolysable tannins) คือ ลูโคแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ไม่มีสี เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดร้อนจะได้เป็นแอนโทไซยานิน ลูโคแอนโทไซยานินเป็นสารที่ทำให้ผลไม้ดิบมีรสฝาด เช่น อุ่น กัลยง พลับ สาเก และแอปเปิล โครงสร้างพื้นฐานของลูโคแอนโทไซยานิน คือ ฟลาเวน-3,4-ไดออล (flavan-3,4-diol) มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.10



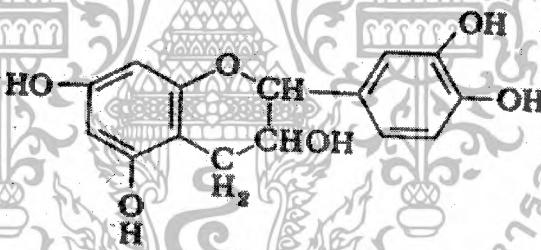
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของฟลาเวน-3,4-ไดออล (flavan-3,4-diol) และลูโคแอนโทไซยานิน (นิธิยา, 2545) (ก) ฟลาเวน-3,4-ไดออล (ข) ลูโคแอนโทไซยานิน

3) คอนเดนซ์ แทนนิน (Condensed tannins) คือ กลุ่มของสารประกอบแทนนินที่เป็นอนุพันธ์ของแคทีชิน (catechin) เช่นเป็นไดเมอร์ เชื่อมต่อกันด้วย 4, 8 หรือ 2, 8 C-C dimmer หรือ 3,3-ether-linked dimmer สูตรโครงสร้างของแคทีชินแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของแคทีชิน (นิธิยา, 2545)

2.1.8 แอนโทไซยานิน (Anthocynins)

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่ให้สีน้ำเงิน แดง และม่วง ในผัก ผลไม้ และดอกไม้ชนิดต่าง ๆ แอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นอะไกลโคน (aglycone) เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ซึ่งแยกออกจากกันได้โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด ในเนื้อเยื่อพืชจะไม่พบอะไกลโคนที่อยู่ในรูปอิสระ จะพบเฉพาะที่อยู่ในไกลโคไซด์ คือรวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์เท่านั้น

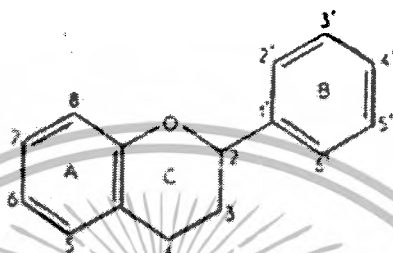
น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน จะมี 1, 2 หรือ 3 โมเลกุลก็ได้ และเป็นได้ทั้งโมโน- ได- และไตรแซ็กคาไรด์ โมเลกุลของน้ำตาลส่วนใหญ่จะเกาะอยู่กับกลุ่มไฮดรอกซิลในโมเลกุลของแอนโทไซยานิดิน โดยเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ตำแหน่ง 3 ถ้า

เป็นไดไกลโคไซด์จะเกาะที่ตำแหน่ง 3 และ 5 หรือ 3 และ 7 ของหมู่ไฮดรอกซิล นอกจากนี้ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

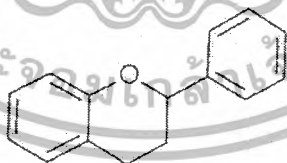
พบว่าในโมเลกุลของแอนโทไซยานินบางชนิดมีสารอื่นเป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย เช่น กรดอินทรีย์ และโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม

โครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุลของแอนโทไซยานิดิน ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน (benzopyran) 2 วงแหวนฟีนิล (phenyl ring) มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (นิธิยา, 2545)

แอนโทไซยานินสกัดออกมาได้ ในครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2456 (ค.ศ. 1913) จากดอกกุหลาบ คือ ไซยานิดิน-3-5-ไดกลูโคไซด์ (cyaniding-3-5-diglucoside) ปัจจุบันพบว่าแอนโทไซยานินประมาณ 120 ชนิด (นิธิยา, 2545) แอนโทไซยานินถูกจัดอยู่ในตระกูลของสารพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เนื่องจากมีโครงสร้างหลักเป็น Flavan nucleus ต่ออยู่กับวงอะโรมาติก 2 วงเชื่อมกันโดยคาร์บอน 3 หน่วย (3 Carbon unit) และมีจุดเริ่มต้นของปฏิกิริยาการสังเคราะห์ทางชีวภาพเหมือนฟลาโวนอยด์ตามธรรมชาติอื่น ๆ แตกต่างตรงที่แอนโทไซยานินมีความสามารถดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลได้เป็นอย่างดี (นพพร, 2539) ดังรูปที่ 2.13

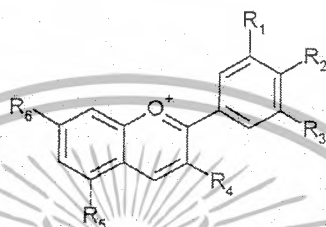


รูปที่ 2.13 โครงสร้างหลักของสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (นพพร, 2539)

ในอดีตสามารถแยกรงควัตถุออกได้เฉพาะชนิดที่มีปริมาณที่มาก ๆ เท่านั้น ในขณะที่รงควัตถุชนิดที่มีปริมาณน้อย หรือมีหลายชนิดผสมรวมกันอยู่ไม่สามารถแยกได้ ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการสกัดแยกสารด้วยเปเปอร์โครมาโทกราฟี (paper chromatography) จนทำให้สามารถแยกรงควัตถุทุกชนิดที่มีปริมาณที่น้อยได้ (นิธิยา, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

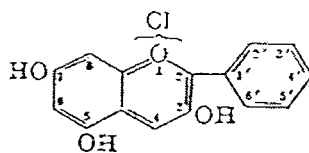
โมเลกุลของแอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นอะไกลโคน (aglycone) เรียกว่า “แอนโทไซยานิดิน” (anthocyanidin) ซึ่งแยกออกจากกันได้ โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด (นิธิยา, 2545) Anthocyanidin เป็นอนุพันธ์พวก Polyethoxy และ Polymethoxy ของ 2-Phenylbenzopyrylium หรือที่มักเรียกกันทั่วไปว่า “Flavylium salts” ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน (benzopyran) ต่อกับวงแหวนฟีนิล (phenyl ring) มีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ Flavylium Cation (นพพร, 2539)

ในเนื้อเยื่อพืชจะไม่พบอะไกลโคนที่อยู่ในรูปอิสระ จะพบเฉพาะที่เป็นรูปไกลโคไซด์ คือ รวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์เท่านั้น น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน จะมี 1, 2 หรือ 3 โมเลกุล และเป็นทั้งโมโน- ได- และไตรแซกคาไรด์ โมเลกุลน้ำตาลส่วนใหญ่จะเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลแอนโทไซยานิน โดยเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ตำแหน่งที่ 3 ถ้าเป็นไดไกลโคไซด์จะเกาะที่ตำแหน่ง 3 และ 5 หรือ 3 และ 7 ของหมู่ไฮดรอกซิล โมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่กับส่วนของแอนโทไซยานิดิน ฟลาโวน (flavone) ฟลาโวนอล (flavonol) หรือฟลาโวนอน (flavanones) ด้วยพันธะไกลโคไซด์ นอกจากนี้ยังมีรายงานพบว่าในโมเลกุลของแอนโทไซยานินบางชนิดมีสารอื่นเป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย เช่น กรดอินทรีย์ และโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม (นิธิยา, 2545)

แอนโทไซยานินส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของ 3,5,7-ไตรไฮดรอกซีฟลาเวียมคลอไรด์ (3,5,7-trihydroxyflavylium chloride) โมเลกุลของน้ำตาลจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3 ดังรูปที่ 2.15

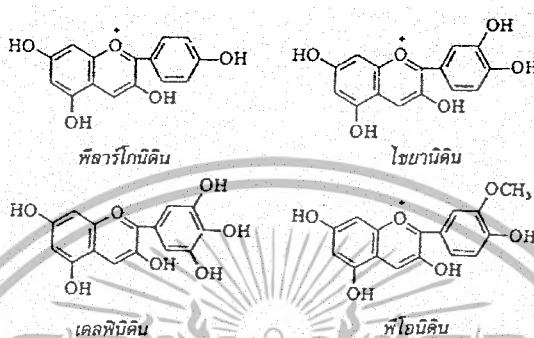


3,5,7-ไตรไฮดรอกซีฟลาเวียมคลอไรด์

รูปที่ 2.15 โครงสร้างของ 3,5,7-ไตรไฮดรอกซีฟลาเวียมคลอไรด์ (นิธิยา, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบแอนโทไซยานิดินที่พบบ่อยและอยู่ในรูปของออกโซเนียมไอออน (oxonium) คือ ออกซิเจนอะตอมมีประจุบวก ได้แก่ ไซยานิดิน (cyanidin) พีลาร์โกนิน (pelargonidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) และ พีโอนิน (peonidin) มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของ ไซยานิดิน (cyanidin) พีลาร์โกนิน (pelargonidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) และพีโอนิน (peonidin) (นิริยา, 2545)

โดยปกติแอนโทไซยานิดินจะไม่พบเป็นอิสระในเนื้อเยื่อของพืช และแอนโทไซยานิดินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลและองศาของการเกิดกระบวนการเติมหมู่เมทิล (Methylation) ของหมู่ไฮดรอกซิล ดังนั้นการแบ่งชนิดของแอนโทไซยานิดิน จึงพิจารณาจากตำแหน่งและจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เมทอกซีในโมเลกุล ซึ่งจากการศึกษาแล้วในปัจจุบันพบว่ามียู 18 ชนิด แต่ที่มักเป็นอะไกลโคโคน (aglycone) ของแอนโทไซยานินจะมีอยู่ 6 ชนิด ซึ่งปัจจุบันมีการค้นพบแอนโทไซยานินในพืชมากกว่า 150 ชนิด และในบรรดาแอนโทไซยานินทั้ง 6 ชนิด จะพบชนิดไซนิน (Cyanidin) มากที่สุด (นพพร, 2539)

ที่อุณหภูมิห้องในสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักและมีความเป็นกรดเล็กน้อย จะมีการเปลี่ยนรูปเป็น Chalcone น้อยมาก เพราะค่า Tautomeric equilibrium constant มักมีค่าต่ำกว่าหนึ่ง แต่เนื่องจากปฏิกิริยา Cation Deprotonation ด้วยตัวทำละลาย (Flavylium Cation \rightarrow Anhydrobase \rightarrow Ionized anhydrobase) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ในขณะที่ปฏิกิริยา Cation hydration (Flavylium \rightarrow Cation \rightarrow Carbinol Base) และปฏิกิริยาการเปิดออกของ Pyrylium ring ได้เป็น Chalcone เป็นปฏิกิริยาการเปิดออกของ Entropy เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเกิด Chalcone จึงมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ดังนั้นการแช่เย็น หรือทำ Acidification รูป Anhydro base และรูป Carbinol base จะทำให้เกิด Chalcone ซ้ำลง รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Isomerization process) เกิดเป็นสมดุลระหว่างรูป cis และ trans ได้ และเมื่อค่าพีเอชสูงเพียงพอแล้ว จะเกิดเป็น Anionic chalcone ซึ่งมีสีเหลือง จากคุณสมบัติของ Anthocyanin ดังกล่าวทำให้ผู้สนใจนำมาประยุกต์ใช้เป็นอินดิเคเตอร์กรด-เบสบ้าง แต่การนำสารแอนโทไซยานินมาใช้ยังไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความคงตัวของแอนโทไซยานิน ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจน ไฮโดรเจน แสง และ acylation ดังตารางที่ 2.1 โดยปกติการเก็บรักษาแอนโทไซยานินจะเก็บที่อุณหภูมิต่ำ สภาวะไร้ออกซิเจนและไม่มีแสง เพราะเกิดการสูญเสียของแอนโทไซยานินเนื่องจากผลของการเติมของน้ำ (hydration) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของ flavylium cation กลับเป็นไม่มีสี

ตารางที่ 2.1 ความคงตัวของรงควัตถุแอนโทไซยานินในระบบที่สภาวะแตกต่างกัน (Delgado-Vargas, 2002)

ตัวแปร	ลักษณะ
ค่าพีเอช	ค่าพีเอชที่เป็นกรดสนับสนุนให้เกิดรูปที่มีสี โดยทั่วไปแอนโทไซยานินมีสีเต็มที่มีพีเอช <4
อุณหภูมิ	เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เกิด chalcone
ออกซิเจนและไฮโดรเจน	แอนโทไซยานินง่ายที่จะออกซิไดซ์ด้วยสารประกอบเหล่านี้: ผลที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับของความแข็งแรงของออกซิไดซิงเอเจนท์ เช่น กรดแอสคอร์บิก
แสง	แอนโทไซยานินไม่คงตัวในสภาวะที่มีแสง เกิดการตอบสนองต่อแสงทำให้เกิดการสลายทางเคมีของแสงทำให้เกิดการแทนที่ตำแหน่ง C-5 ของแอนโทไซยานิน
Acylation	ขัดขวางการไฮโดรไลซิสของ acylated pigment และสนับสนุนการสร้างสีของ quinonoidol; แอนโทไซยานินคงตัวดีกว่าที่ค่าพีเอชสูงซึ่งเกิด Acylation มากกว่า ที่ตำแหน่ง C-4 เช่น vitasin แอนโทไซยานินแสดงถึงความคงตัวสูงและทนทานของสีขึ้นอยู่กับผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และค่าพีเอชสูง (>4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะพืชที่เลือกใช้ในโครงการพิเศษ

1. อัญชัน (วิทย์, 2542)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Clitoria ternatea* Linn.

วงศ์ : Leguminosae (The Pea Family)

ชื่อสามัญ : Butterfly Pea., Mussel-shell

ชื่ออื่น ๆ : อัญชันขาว, อัญชันเขียว, อัญชันม่วง, อัญชันบ้าน, เอื้องจัน

ลักษณะทั่วไป

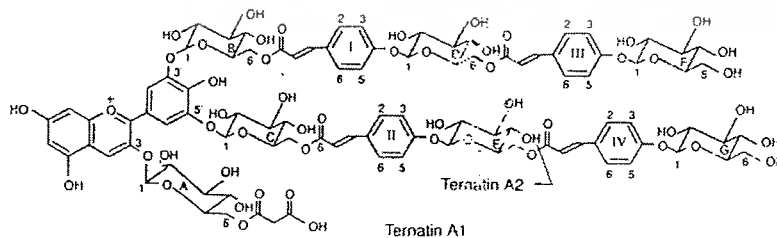
ดอก : ดอกจะออกเป็นช่อ ๆ ละประมาณ 2-4 ดอก ดอกมีลักษณะคล้ายดอกถั่ว คือมี 2 กลีบ ดอกเมื่อบานเต็มที่ จะกว้างประมาณ 3.5 เซนติเมตร ดอกมี 2 สี คือสีน้ำเงินอมม่วง และสีขาว ดอกจะออกตลอดปี จะออกดอกบริเวณซอกใบ

ต้น : เป็นพรรณไม้เลื้อยล้มลุกขนาดเล็กซึ่งมีลำเถาอ่อนและเถาแก่ เลื้อยได้ไกลถึง 20 ฟุต

ใบ : ใบประกอบออกสลับแบบขนนก ออกสลับ ใบย่อย 5-9 ใบ รูปไข่ กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 3-5 เซนติเมตร ปลายและโคนมน

ผล : เป็นฝักแบน คล้ายฝักถั่ว กว้างประมาณ 2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 8 เซนติเมตร มีเมล็ดจำนวนมาก

สารแอนโทไซยานินชนิดที่พบในดอกอัญชันมี 6 ชนิด ซึ่งเป็น Polyacylated anthocyanin โดยมีโครงสร้างพื้นฐานเป็น delphinidin 3, 3'5'-triglucoside โครงสร้างที่เกิด Decylated anthocyanin ทำให้เกิดเป็น delphinidin 3, 3'5'-tri-O-β-D-glucopyranoside รงควัตถุชนิด Polyacylated ประกอบด้วย Ternatin A1, A2, B1, B2, D1 และ D2 โดยสามารถงตัวในสารละลายที่เป็นกลางได้หลายเดือน Ternatin A1 เป็นชนิดที่มีโครงสร้างใหญ่ที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งมีโครงสร้างของ Delphinidin โมเลกุลของ D-glucose 7 โมเลกุล (G) *p*-coumaric acid (C) 4 โมเลกุล และ malonic acid 1 โมเลกุล ดังรูปที่ 2.17 (Mazza และ Miniati, 1993)



รูปที่ 2.17 โครงสร้าง Ternatin A1 และ A2 (Mazza และ Miniati, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ternatin A2 มีน้ำหนักโมเลกุล 1799 และประกอบด้วยโครงสร้างของ Delphinidin โมเลกุลของ D-glucose 6 โมเลกุล (G) *p*-coumaric acid (C) 3 โมเลกุล และ malonic acid 1 โมเลกุล ส่วน Ternatin B1 และ B2 มีโครงสร้างของ 3'-และ 5'- sidechain ประกอบด้วย –CGCG หรือ –CGC และ –CGC หรือ CG ตามลำดับ ดอกสีฟ้าของ *C. ternatea* ประกอบด้วย Flavonol 5 ชนิด คือ kaempferol

kaempferol 3-glucoside robinin quercetin และ quercetin 3-glucoside (Mazza และ Miniati, 1993)

2. พวงพวยบกสีชมพู (วิทย์, 2542)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Catharanthus roseus* G. Don

วงศ์ : Apocynaceae (The Dogbane Family)

ชื่อสามัญ : Madagascar Periwinkle

ชื่ออื่น ๆ : นมอิน, ผักปอดบก, พังพวยฝรั่ง, พังพวยบก

ลักษณะทั่วไป

ต้น : เป็นพันธุ์ไม้ล้มลุกเนื้ออ่อน พุ่มเตี้ย มีกิ่งก้านสาขามาก ลำต้นสูงประมาณ 3 ฟุต

ใบ : เป็นไม้ใบเดี่ยว ออกเป็นคู่ ๆ ตรงข้ามกัน ลักษณะใบเป็นรูปไข่ หนา มีสีเขียวเข้ม ขอบใบจะเรียบ ไม่มีจัก ปลายใบมน โคนใบแหลมหรือมน เส้นกลางใบเป็นสีเขียวอ่อนหรือสีเหลืองลากเป็นเส้นเห็นได้ชัด ใบกว้างประมาณ 2-3 เซนติเมตร ยาว 4-5 เซนติเมตร มีดอกคก

ดอก : ดอกพวงพวยบกสีชมพูนี้มีสีขาว และสีชมพู ถ้าเป็นดอกสีขาวตรงกลางดอกจะเป็นสีเหลือง และถ้าเป็นสีชมพูตรงกลางดอกเป็นสีแดง ดอกจะออกรวมกันเป็นกลุ่ม ๆ บริเวณส่วนยอดของต้น กลุ่มหนึ่ง ๆ จะมีดอกอยู่ประมาณ 3-6 ดอก ดอกจะมีอยู่ชั้นเดียวและมี 5 กลีบ ดอกจะบานกว้างประมาณ 4 เซนติเมตรและเมื่อดอกร่วงหล่นไป ก็จะเกิดฝักเป็นรูปทรงกระบอก เมื่อแก่จัดจะแตกออกเป็น 2 ซีก จะมีเมล็ดอยู่ภายในจำนวนมากจากการศึกษาสารประกอบแอนโทไซยานินในดอกพวงพวยบกสีชมพูพบว่า มีสารแอนโทไซยานินใน vitro และส่วนที่อยู่ใต้ดิน ซึ่งประกอบด้วย petunidin, malvidin และ hirsutidin เป็น aglycone ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ 3-O-glucoside ทั้ง 3 ชนิด 3-O-(6-O-*p*-coumaroyl) glucoside ทั้ง 3 ชนิด สารทั้ง 3 ชนิดมีคุณภาพเหมือนกันแต่มีปริมาณที่ต่างกัน (Seung-Heui และ Seon-Kyu , 2002)

ต่อมาในปี 2003 Filippini และคณะ ศึกษาพบว่า เกิดการสร้างสารแอนโทไซยานินในของสารแขวนลอยในเซลล์ของ *Catharanthus roseus* ประมาณ 30% ของเซลล์ ทำให้เกิดการสะสมของแอนโทไซยานินซึ่งจะพบใน ช่วง log phase และช่วง stationary phase ของช่วงการเจริญเติบโต ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของสารแอนโทไซยานินมีความสัมพันธ์กับสารแขวนลอยในเซลล์ (cell suspension) และชนิดของดอก

3. ฤๅษีผลสม (วิทย์, 2542)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Coleus*.

ตระกูล : LABIATAE

ชื่อสามัญ : Flame nettle หรือ Painted nettle

ถิ่นกำเนิด : เขตร้อนชื้น

ลักษณะทั่วไป

ฤๅษีผลสมมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็จะมีใบที่มีสีล้วนสวยงาม เช่น เขียวอ่อน ม่วงแดง แดงอ่อน แดงเข้ม น้ำตาล และมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ใบส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูปหัวใจ ขอบใบจัก เป็นต้น ส่วนดอกฤๅษีผลสมมีดอกที่ไม่สวย

4. หมากผู้หมากเมีย (วิทย์, 2542)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Cordylue fruticosa* .

วงศ์ : AGAVACEAE

ตระกูล : LILIACEAE

ชื่อไทย : หมากผู้หมากเมีย

ชื่ออื่น ๆ : มะปู้ป่า (อุตรดิตถ์) มะผู้มะเมีย (ภาคกลาง) หมากผู้ (ภาคเหนือ) เหนียวสัง (นราธิวาส)

ถิ่นกำเนิด : อินเดีย หมู่เกาะแปซิฟิก ออสเตรเลียปลูกเป็นไม้ประดับทั่วไป

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้พุ่มลำต้นตั้งตรงไม่ค่อยแตกกิ่งก้านสาขาสูง 1-3 เมตร ใบออกที่ส่วนบนของลำต้นแตกเป็นวงสลับกันไปรอบ ๆ ลำต้น ใบยาวแหลมยาว 30-50 เซนติเมตร กว้าง 5-10 เซนติเมตร มีสีม่วงแดง หรือเขียว ดอกออกเป็นช่อที่ยอดยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ดอกมีสีม่วงแดงหรือชมพูหรือสลับด้วยสีเหลืองอ่อน ดอกย่อยยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มีกลีบเลี้ยง 6 กลีบ กลีบดอก 6 กลีบ เกสรตัวผู้มี 6 อัน รังไข่มี 3 ห้อง แต่ละห้องมีไข่อ่อน 4-6 เม็ด ผลทรงกลมฉ่ำน้ำ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร มีเมล็ด 1-3 เม็ด ออกดอกตลอดปี

2.3 ค่าพีเอช (pH value)

พีเอช เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[H^+]$ ในน้ำซึ่งบอกถึงความเข้มข้นกรด-ด่างของสารละลาย โดยคำนวณได้จากสูตร (สมการ 2.1)

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} \quad (2.1)$$

เมื่อ $[\text{H}^+] =$ ความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็น โมลต่อลิตรในน้ำบริสุทธิ์ ที่ 25°C จะแตกตัวให้ ไฮโดรเจนไอออน ตัวอย่างเช่น

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-7}, \text{pH} = 7$$

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-2} \text{pH} = 2$$

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-10} \text{pH} = 10$$

น้ำบริสุทธิ์มี $\text{H}^+ = 10^{-7}$ โมล เพราะฉะนั้น pH ของน้ำบริสุทธิ์ $= -\log[10^{-7}] = 7$

พีเอชเป็นค่าวัดความเป็นกรดหรือด่างในน้ำทั่วไป โดยมีขนาดตั้งแต่ 0 ถึง 14 โดยค่าพีเอชเท่ากับ 0 หมายถึงน้ำมีความเป็นกรดสูง และพีเอช เท่ากับ 14 หมายถึงน้ำมีความเป็นด่างสูง และเมื่อพีเอชเท่ากับ 7.0 หมายถึง น้ำมีสภาพเป็นกลาง ถ้าพีเอชต่างกันเพียง 1 หน่วย จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดหรือด่างถึง 10 เท่า การวัดค่าพีเอชมีหลายวิธี (ชรชัย และ วิบูรณ์ลักษณ์, 2540) คือ

1. ใช้กระดาษพีเอช ซึ่งเมื่อนำน้ำทิ้งมาหยดบนกระดาษพีเอชแล้วจะมีสีเปลี่ยนไปตามค่า พีเอชของสารละลาย เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีมาตรฐานจะได้ค่าพีเอชโดยประมาณ
2. ใช้การเทียบสีกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าพีเอช โดยเติมสารที่มีสมบัติเป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) ปริมาณที่กำหนดลงในสารละลาย วิธีนี้จะวัดค่าพีเอชได้ละเอียดกว่าใช้กระดาษและสีจะคงทนอยู่นานกว่า แต่อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำที่มาทดสอบมีสี
3. ใช้มาตรวัดพีเอช (pH meter) ซึ่งมีหลายแบบขึ้นอยู่กับความละเอียดของค่าพีเอชที่ต้องการ ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแบบใช้ไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีมาตรพีเอชที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและงานภาคสนามตามความเหมาะสม

ในการเก็บน้ำตัวอย่างนำมาทำการหาค่าพีเอชต้องเก็บไว้ในภาชนะที่อยู่ในอุณหภูมิค่าถึง 4°C แต่ก็ได้ทำการวัดภายใน 6 ชม. หลังจากได้เก็บน้ำตัวอย่างขึ้นมาแล้ว แต่ถ้าเป็นไปได้ควรทำการวัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำที่สถานที่ที่เก็บตัวอย่าง (เกรียงศักดิ์, 2537)

น้ำผิวดินมักมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.5 น้ำใต้ดินอาจมีพีเอชต่ำกว่า 6 เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำอยู่ในปริมาณสูง น้ำในบ่อหรืออ่างเก็บน้ำอาจมีพีเอชสูงได้ถึง 9 หรือ มากกว่า ถ้ามี สาหร่ายสีเขียวเจริญเติบโตและทำการสังเคราะห์แสงภายในแหล่งน้ำ (มันสิน, 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี (เพ็ญศรี, 2542)

การมองเห็นแสงสีในธรรมชาติสามารถมองเห็นได้โดยการสะท้อนแสงหรือการปล่อยพลังงานจากวัตถุที่ได้แตกต่างกันออกมา เป็นความยาวคลื่นในช่วงที่กระตุ้นให้เรตินาอยู่ในดวงตาของคนมองเห็น ช่วงคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ เรียกว่า visible light ซึ่งขึ้นอยู่กับความไวของตาแต่ละบุคคล โดยปกติอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 380-770 นาโนเมตร ระบบการวัดสีมาตรฐาน หลักการโดยทั่วไปการระบุค่าสีของวัตถุที่มองเห็นเป็น 3 ลักษณะคือ

- HUE (h_u) หมายถึงสีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีแดง เขียว และน้ำเงิน เป็นต้น
- VALUE (Lightness, L^*) หมายถึงความสว่างของสี โดยดูการสะท้อนแสงที่ต่างกัน ไป
- CHROMA (Saturation, C^*) หมายถึงความสดใส ความเข้ม หรือความบริสุทธิ์ของสี

อย่างไรก็ตาม พบว่าการระบุลักษณะสีของวัตถุขึ้นเดียวกันที่มนุษย์มองเห็นนั้นจะมีหลากหลายขึ้นอยู่กับประสบการณ์ เพศ อายุ อารมณ์ และสิ่งแวดล้อม ในการมอง เป็นต้น ซึ่งผลทำให้ไม่สามารถสื่อความหมายของสีเข้าใจได้ตรงกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการจัดลำดับสีหรือการวัดสีให้สามารถสื่อความหมายให้เข้าใจตรงกัน ในระดับสากล โดยระบบการวัดสีที่เป็นที่นิยมใช้กันกว้างขวางได้แก่ ระบบ Munsell และระบบ CIE ในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่อง Hunterlab miniscan การตรวจวัดสีซึ่งใช้หลักการวัดสีในระบบ CIE

ระบบ CIE ได้ถูกพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 1931 เมื่อ Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ได้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการวัดสีในรูปแบบของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสีออกมาเป็นตัวเลขซึ่งมีข้อดีอยู่หลายประการคือ

- เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล ทำให้ลดปัญหาขัดแย้งลงได้
- เป็นระบบการวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นถึงแม้ขึ้นตัวอย่างจะซิดลง ตามกาลเวลา แต่ตัวเลขที่มีอยู่ก็ยังสามารถใช้ได้ว่าสีเดิมเป็นอย่างไร
- เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณและทำนายสูตรได้ด้วย

ระบบ CIE มีแนวคิดว่าเป็นเนื่องจากปัจจัยในการมองเห็นสีของมนุษย์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตามนุษย์

2.4.1 CIE Tristimulus Values

สามารถหาปริมาณการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงการสะท้อนแสงของวัตถุ และการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง เขียว และ น้ำเงิน เป็นตัวเลข จึงทำให้สามารถ

คำนวณสีหรือระบุสีของวัตถุได้ออกมาเป็นตัวเลข โดยนำค่าทั้งสามที่แต่ละความยาวคลื่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คูณกัน จากนั้นนำมารวมกันตลอดความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร เป็นตัวเลข 3 ค่า คือ X, Y และ Z ดังสมการ 2.2-2.4

$$X = \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{X}(\lambda) \quad (2.2)$$

$$Y = \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{Y}(\lambda) \quad (2.3)$$

$$Z = \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{Z}(\lambda) \quad (2.4)$$

ค่า X, Y และ Z ที่ได้เรียกว่า CIE Tristimulus Values

โดย X จะบอกความเป็นสีแดงของวัตถุ

Y จะบอกความเป็นสีเขียวของวัตถุ

Z จะบอกเป็นสีน้ำเงินของวัตถุ

2.4.2 CIE Chromaticity Coordinates

แม้ว่าสามารถระบุสีของวัตถุโดยใช้ค่า CIE Tristimulus Values หรือ X, Y และ Z ได้ก็ตาม แต่การระบุสีโดยใช้ค่า X, Y และ Z นั้นยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากับลักษณะของสีที่มองเห็น เช่น hue, value และ chroma ทำให้สามารถระบุสีโดยใช้ตัวเลขสามารถสื่อความหมายของสีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้มีการคำนวณค่า CIE Chromaticity Coordinates จากค่า Tristimulus Values ดังสมการ 2.5-2.7

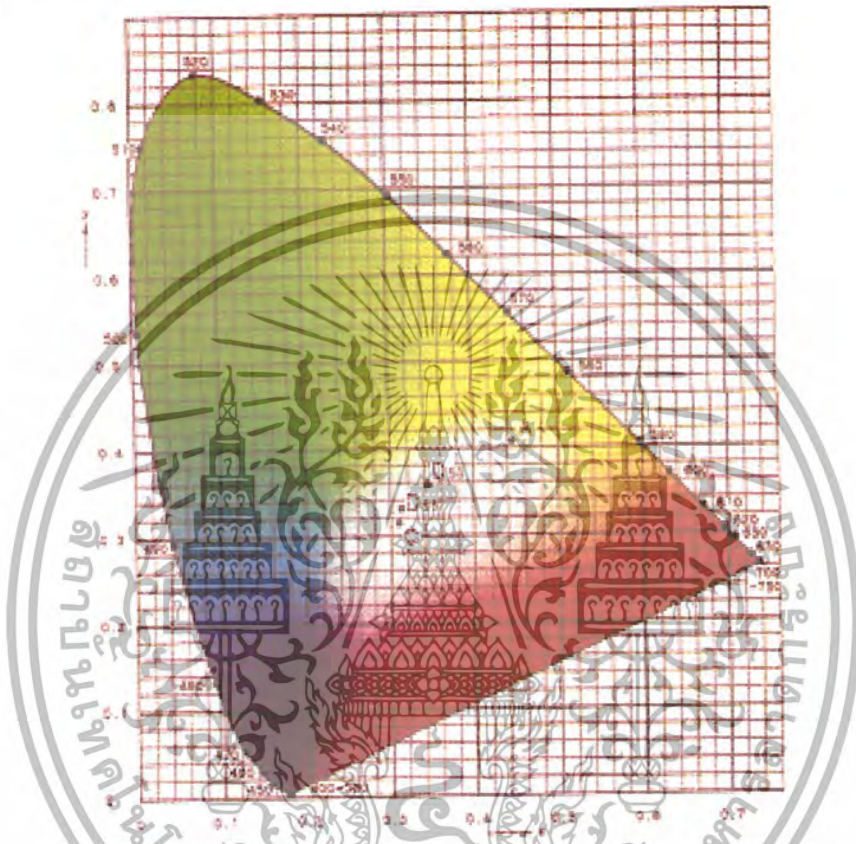
$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (2.5)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (2.6)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย x, y และ z คือ CIE Chromaticity Coordinates โดย $x + y + z = 1$ เมื่อนำค่า x และ y มา plot กราฟ จะได้แผนผังที่ใช้บอกสีที่เรียกว่า CIE Chromaticity Diagram ซึ่งมีลักษณะคล้ายเกือบมน ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 CIE Chromaticity Diagram (นิธิยา, 2545)

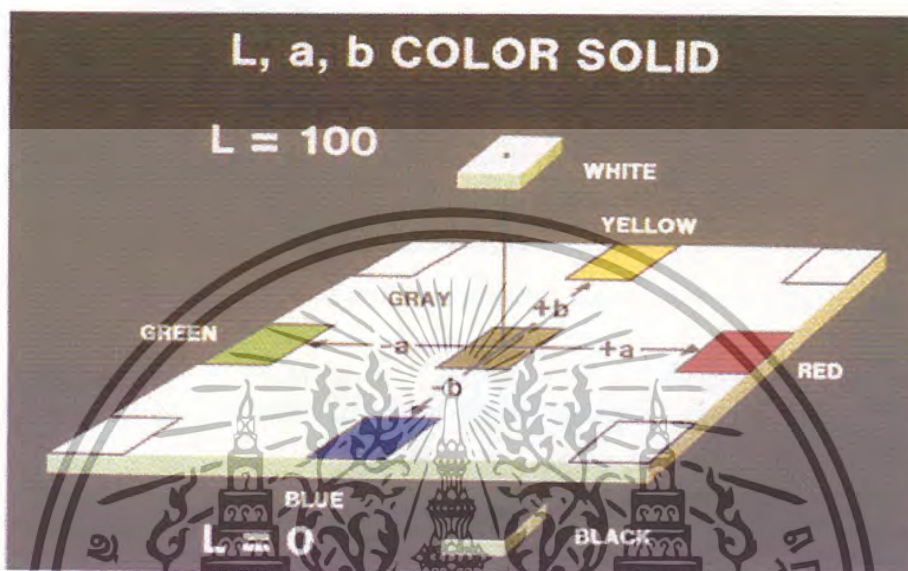
สามารถบอกลักษณะของสีที่ปรากฏให้เห็น (hue) และความสดใสของสี (chroma) เท่านั้น แต่ถ้าต้องการบอกลักษณะของสีที่หมายถึงความสว่างของสี (value หรือ lightness) จะต้องกำหนดด้วยค่า CIE Tristimulus Values, Y ดังนั้นในการระบุสีจึงสามารถระบุด้วยค่า X, Y และ Z จึงสามารถบอกลักษณะสีที่ครบถ้วน

2.4.3 CIE $L^* a^* b^*$ (CIELAB)

เนื่องจากการระบุสีเป็นตัวเลข 2 ระบบ คือ ระบบที่ระบุตัวเลขด้วยค่า CIE Tristimulus Values (X, Y และ Z) และ CIE Chromaticity Coordinates (x, y และ z) มีข้อเสียคือจะต้องมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง CIE Chromaticity Coordinates system ไปเป็นระบบใหม่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ (Uniform Chromaticity System, UCS) ซึ่งได้ทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกันมา จนถึงปัจจุบัน สมการที่ใช้ในการระบุสีที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางก็คือ CIELAB 1976 (สมการ 2.8-2.10) ซึ่งมีลักษณะของ color space ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 CIELAB 1976 ซึ่งแสดง CIE L* a* b* color space (นริยา, 2545)

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (2.8)$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad (2.9)$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad (2.10)$$

โดย L* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

L = 0 = perfect black sample

L = 100 = perfect white sample

a* ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว

a เป็น + วัตถุที่มีสีแดง

a เป็น - วัตถุที่มีสีเขียว

b* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน

b เป็น + วัตถุที่มีสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b เป็น - วัตถุที่มีสีออกน้ำเงิน

นอกจากนี้ระบบ CIELAB ยังมีการปรับปรุงต่อไป โดยการเชื่อมค่า “a” และ “b” เข้ากับ “hue” และ “chroma” โดยกำหนด color term อีก 2 ตัว คือ hue angle (h^*) และ chroma (c^*) Hue angle เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟมีหน่วยเป็นองศา (ดังสมการ 2.11-2.12)

$$\text{โดย } h^* = h_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2.11)$$

$$c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (2.12)$$

ถ้า $h^* = 0^\circ$ แสดงว่าเป็น สีแดง

$h^* = 90^\circ$ แสดงว่าเป็น สีเหลือง

$h^* = 180^\circ$ แสดงว่าเป็น สีเขียว

$h^* = 270^\circ$ แสดงว่าเป็น สีน้ำเงิน

ส่วน chroma จะได้จากความยาวของเส้นตรงจากจุดกำเนิดที่ $a^* = b^* = 0$ ไปยังตำแหน่งของตัวอย่าง c^* จะบอกค่าความสดใสของสีที่ค่าความสว่างหนึ่ง ๆ

โดยทั่วไป ในการระบุสีของวัตถุมีสีในระบบ CIELAB นั้น มักจะระบุด้วยค่า L^* , c^* และ h^* มากกว่า L^* , a^* และ b^* เนื่องจากจะทำให้เข้าใจและทราบลักษณะของสี ได้ใกล้เคียงกับที่ตามนุษย์มองเห็น

2.4.4 การวัดความแตกต่างของสี (Color Differences)

แม้ว่าจะสามารถวัดค่าสีออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่การใช้ประโยชน์จากการวัดสีที่อยู่ในรูปตัวเลขอย่างแท้จริง คือ การวัดความแตกต่างมาตรฐานออกมาเป็นตัวเลข

อย่างไรก็ตาม การบอกความแตกต่างของสีโดยใช้ตามนุษย์ยังมีจุดอ่อนอยู่หลายประการ ดังนั้น การใช้เครื่องวัดสีในการบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างกับสีมาตรฐานจะทำให้ช่วยให้การตัดสินใจง่ายขึ้นเกี่ยวกับความแตกต่างของสี

ความแตกต่างของสีควรบอกออกมาเป็นตัวเลขที่สามารถบอกความแตกต่างของสี การยอมรับและการบอกขนาดของความแตกต่างของสีได้เหมือนกับที่สายตามนุษย์มองเห็น ความแตกต่างของสีที่นิยมใช้ปัจจุบันมี 3 ประการ ดังนี้คือ

2.4.4.1 CIELAB Color Difference Equation

การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับสีมาตรฐาน สามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างความสว่าง, ความเป็นสีแดง-เขียว และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ดังสมการ 2.13-2.15

$$dL^* = L^* \text{ ของตัวอย่าง} - L^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน} \quad (2.13)$$

ถ้า $dL^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า $dL^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างน้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐาน

$$da^* = a^* \text{ ของตัวอย่าง} - a^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน} \quad (2.14)$$

ถ้า $da^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างแดงมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน

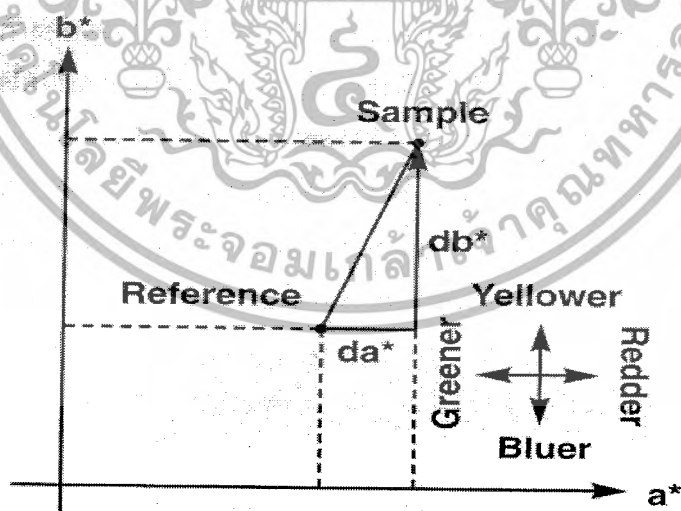
ถ้า $da^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างแดงน้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐาน

$$db^* = b^* \text{ ของตัวอย่าง} - b^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน} \quad (2.15)$$

ถ้า $db^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างเหลืองมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า $db^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างเหลืองน้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐาน

ค่า da^* และ db^* ในระบบ CIELAB แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ค่า da^* และ db^* ในระบบ CIELAB (นิริยา, 2545)

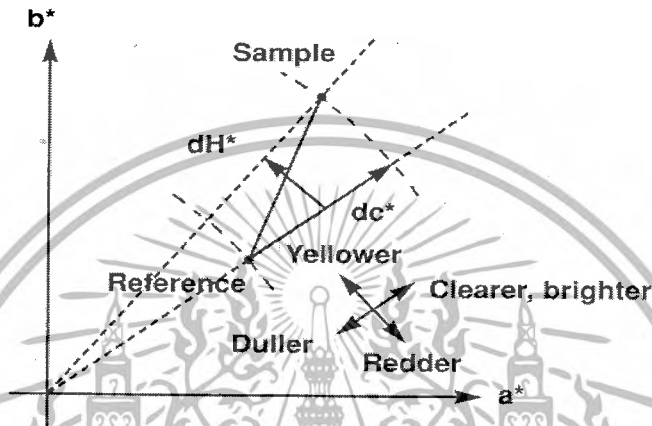
นอกจากจะบอกความแตกต่างด้วยค่า dL^* , da^* และ db^* แล้ว ยังสามารถกำหนดให้มีค่าตัวเลขเดียว ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างมาตรฐาน (total color difference, dE^*)

คำสั่งการที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dE^* = (dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2})^{1/2} \tag{2.16}$$

นอกจากนี้ เรายังสามารถบอกความแตกต่างของสีให้สอดคล้องหรือใกล้เคียงกับที่ตามองเห็นในรูปของสีที่ปรากฏและความสดใสของสีที่วัดได้จากค่า dH^* และ dC^* ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ค่า dH^* และ dC^* ในระบบ CIELAB (นิริยา, 2545)

ซึ่งเครื่องหมาย dH^* (ความแตกต่างของ metric hue ระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน) จะเหมือนกับ dh^* (ความแตกต่างของ hue angle ระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน) กล่าวคือ ถ้า dh^* เป็น $+dH^*$ ก็จะมีเครื่องหมาย $+$ แต่ถ้า dh^* เป็น $-dH^*$ ก็จะมีเครื่องหมาย $-$ เช่นกัน

$$\Delta H = 2 \sin(\Delta h/2) \times (C1^* \times C2^*)^{0.5} \quad (\text{Jean-Francois, 1998}) \tag{2.17}$$

โดย $\Delta h = h_1 - h_2$

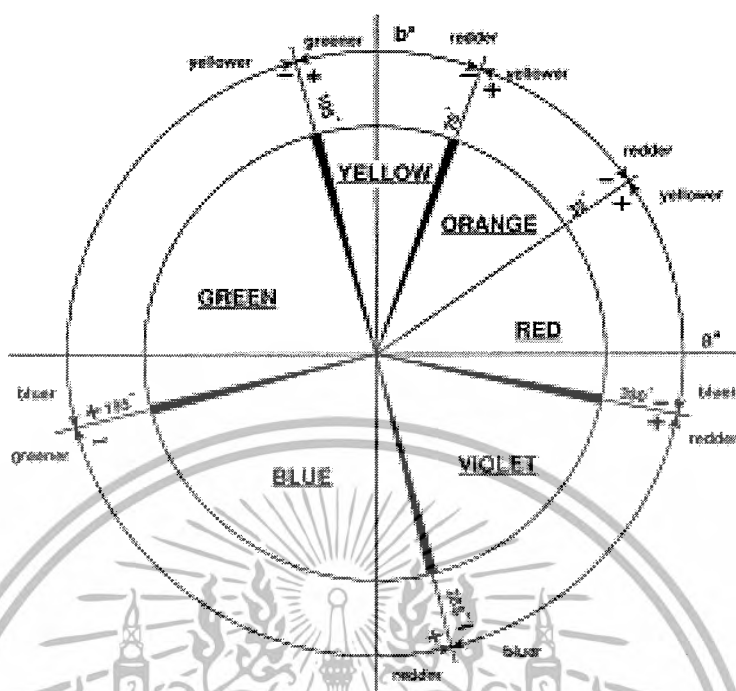
$dC^* = C^*$ ของตัวอย่าง $- C^*$ ของตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า $dC^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างมีความสดใสมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (brighter)

ถ้า $dC^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างมีความขุ่นมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (duller)

สำหรับ dH^* จะแสดงความหมาย yellower, redder, bluer หรือ greener เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า dH^* นั้นเป็น $+$ หรือเป็น $-$ และสีมีค่า hue angle อยู่ใน segment ที่เท่าใด ดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ความหมายของค่า dH^* ในระบบ CIELAB (นิธิยา, 2545)

โดยทั่วไปค่า dE^* ที่ทางอุตสาหกรรมยอมรับจะมีค่าประมาณ 1-2 หน่วย แต่ทั้งนี้ขึ้นกับสีและทิศทางเบี่ยงเบนของสีด้วย เช่น สีแดงที่มีค่าความแตกต่างของสี (dE^*) = 1.0 เท่ากับสีเทาอ่อนแต่ตาของมนุษย์จะมองเห็นสีเทาอ่อนที่มีค่า dE^* = 1.0 พบว่าสามารถมองเห็นความแตกต่างของสีได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างสีเหลืองที่มีค่า dE^* = 1 เท่านั้นเรากลับยังมองไม่เห็นความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน นี่เป็นความยุ่งยากที่เกิดขึ้นในการกำหนดของเกณฑ์การยอมรับ หรือไม่ยอมรับสีตัวอย่าง โดยใช้ค่า dE^* เป็นพื้นฐานการพิจารณาเพียงอย่างเดียว

2.4.4.2 CMC (1:c) Color Difference Equation

แม้ว่าเราจะมีสมการวัดความแตกต่างของสีในระบบ CIELAB แล้วก็ตาม แต่ก็ได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมการ CIELAB ให้ใช้งานได้สอดคล้องกับการมองเห็นของตาคนมากขึ้น ไม่เปลี่ยนแปลงตามสีทิศทางเบี่ยงเบนของสี โดยการหา factor มาคำนวณเข้ากับค่า lightness, chroma และ hue (L, C, และ H) ซึ่งจะทำให้ผลการวัดความแตกต่างของสีมีความแม่นยำมากขึ้น

สมการวัดความแตกต่างของสี CMC (1:c) เป็นสมการที่ดัดแปลงมาจากสมการ CIELAB Color Difference เพื่อให้สามารถวัดความแตกต่างของสีได้ทั้งในรูปของสีที่เห็น (perceptibility) และขนาดความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ (acceptability) ปัจจุบันเป็นที่นิยมและนำมาใช้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างขวางเพราะให้ความแม่นยำถูกต้องในการบอกความแตกต่างของสี (hue) และความเข้มสี (depth of shade) โดยสมการของ dE_{CMC} แสดงดังสมการ 2.18

$$dE_{CMC} = \left[\left(\frac{dL^*}{S_L} \right)^2 + \left(\frac{dC^*}{cS_C} \right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

โดย $S_L = 0.040975 L^*/(1+0.01765L^*)$ สำหรับที่มีค่า $L^* \geq 16$

$S_L = 0.511$ สำหรับที่มีค่า $L^* < 16$

$S_C = \left[0.0638 C^*/(1 + 0.0131 C^*) \right] + 0.638$

$S_H = S_C (Tf + 1 - f)$

$f = \left[(C^*)^4 / \left\{ (C^*)^4 + 1900 \right\} \right]$

$T = 0.36 + \left| 0.4 \cos(h + 35) \right|$ สำหรับสีที่มีค่า hue angle ที่น้อยกว่า 164° และมากกว่า 345°

$T = 0.56 + \left| 0.2 \cos(h + 168) \right|$ สำหรับสีที่มีค่า hue angle ที่อยู่ระหว่าง 164° และ 345°

l = lightness weighting term

c = chroma หรือ depth of shade weighting term

$l = 1$ และ $c = 1$ ถ้าเป็นการพิจารณาความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานที่มองเห็น (Perceptability Judgements)

$l = 2$ และ $c = 1$ ถ้าเป็นการพิจารณาความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานที่มองเห็น (Acceptability Judgements)

โดยทั่วไปในการวัดความแตกต่างของสี (dE_{CMC}) เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สิ่งทอ จะใช้ $l = 2$ และ $c = 1$

การนำสมการ CIELAB $L^*C^*H^*$ มาพิจารณาความแตกต่างของสีร่วมกับการนำสมการ CMC (1:c) มาพิจารณาความแตกต่างของสีที่จะยอมรับได้ (Acceptability Judgements) พบว่าจะเป็นการทำให้ผู้ใช้มีความมั่นใจในการนำเครื่องวัดสีมาใช้ในการวัดความแตกต่างของสีที่ได้ผลและเชื่อถือได้

2.4.4.3 CIE 94 Color Difference Equation

ในปี 1994 Commission Internationale de l' Eclairage (CIE) ได้พัฒนาสูตรสำหรับหาความแตกต่างของสีใหม่ เพื่อแก้ไขเกี่ยวกับการพิจารณาความแตกต่างของสีที่ใช้สูตร CIELAB Color Difference Equation ดังสมการที่ 2.19

$$dE^*_{CIE94} = \left[\frac{dL^*}{k_L S_L} \right]^2 + \left[\frac{dC^*}{k_C S_C} \right]^2 + \left[\frac{dH^*}{k_H S_H} \right]^2 \quad (2.19)$$

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045 C^*$$

$$S_H = 1 + 0.045 C^*$$

โดยที่ S_L , S_C และ S_H ถือเป็น weighting factor สำหรับ lightness, chroma และ hue difference ตามลำดับ และ k_L , k_C และ k_H เป็น correction factor ที่สัมพันธ์กับสถานะในการดูขึ้นตัวอย่าง ซึ่งในทางอุตสาหกรรมสิ่งทอ กำหนดค่า $k_L = 2$ และ $k_H = k_C = 1$

ได้มีการทดสอบการใช้สมการวัดความแตกต่างของสีที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้สรุปได้ว่าสมการ dE^*_{CIE94} ได้ผลการปฏิบัติเช่นเดียวกับสมการ dE^*_{CMC}

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- นพพร (2539) ศึกษาสารประกอบแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วง ผลของชนิดของตัวทำละลายซึ่งใช้ในการสกัดแช่หมักต่อกระบวนการขจัดหมู่เอซิล (deacylation) ของสารที่สกัดได้ และความเป็นไปได้ในการสกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายที่มีสภาพเป็นกลางมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายกรดเข้มข้น 1% ของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดไทรฟลูออโรแอซีติกและกรดไฮโดรคลอริกในเมทานอลในการสกัดพบว่าสารละลายกรดไทรฟลูออโรแอซีติกทำให้เมทานอลขจัดหมู่เอซิลน้อยที่สุด นอกจากนี้พบว่าสารสกัดด้วยน้ำกลั่นสามารถนำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการไตเตรตกรดแอซีติกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งได้ผลแม่นยำกว่าการใช้ฟีนอล์ฟทาเลิน ไทมอลบลู และบรอมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์

- Bolívar และ Luis (2004) ศึกษาพบว่าแอนโทไซยานินในสารละลายสกัดจาก Andean red

เอกสารนี้เป็ sweet potato และ purple corn ที่สกัดที่สภาวะพีเอช อุณหภูมิและแสงที่สภาวะต่าง ๆ และการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับสีของ purple carrot, red grape, red 40 และ red 3 ซึ่ง red sweet potato และ purple carrot มีองค์ประกอบของ acylate anthocyanin สูงทำให้ความคงตัวของสีสูงกว่าสีของ purple corn และ red grape ซึ่งมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่ acylate anthocyanin สูง หลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 138 วัน พบว่าลำดับความคงตัวของสีช่วง pH 0.9-4 ของ red sweet potato \geq purple carrot $>$ purple corn $>$ grape หลังจากเก็บเป็นเวลานานต่าง ๆ พบว่า red sweet potato เมื่อสกัดที่พีเอช 4 ยังคงมีสีม่วงแดง ซึ่งพบว่า Half-lives ของ พีเอช 3 ที่ 98 °C ของ red sweet potato, purple carrot, red grape และ purple corn เท่ากับ 4.6, 4.6, 2.4, 2.0 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยสีของ purple corn ที่ pH เท่ากับ 3 ในการสกัดเหมือนกับ red 40 พารามิเตอร์ที่วัดประกอบด้วย degradation index, polymeric color, ความคงตัวของสีและ Spectral data

- Branka , Polonca และ Janez (2002) ศึกษาคุณสมบัติและปริมาณของพบว่าแอนโทไซยานิน และ Hydroxycinnamic Acide ในสีของ dark sweet cherrie 8 ชนิด โดยใช้เครื่อง HPLC และ UV-VIS spectrometry สารประกอบฟีนอลสามารถสกัดได้ด้วยเมทานอลบริสุทธิ์ที่ไม่เติมกรด โดยเจือจางตัวอย่างด้วยของผสมเมทานอลและกรดฟอร์มิกก่อนที่จะฉีดเข้าคอลัมน์และแยกด้วย Hypersil PEP 300 C18 Chromatographic column โดยระบบตัวทำละลายแบบ Gradient ประกอบด้วย กรดฟอร์มิก น้ำ และเมทานอล DAD Detector ตอบสนองต่อสองความยาวคลื่น คือ 320 nm สำหรับ Hydroxycinnamate และที่ 520 nm สำหรับแอนโทไซยานิน โดยพบ cyanindin-3-glucoside และ cyanindin-3-rutinoside เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่พบ Petargonidin-3-rutinoside เป็นส่วนน้อย

- Filippini *et al.* (2003) จากการศึกษาพบว่า เกิดการสร้างสารแอนโทไซยานินในของสารแขวนลอยในเซลล์ของ *Catharanthus roseus* ประมาณ 30% ของเซลล์ ทำให้เกิดการสะสมของแอนโทไซยานินจากการเมตาบอลิซึม ทำให้พบในช่วงที่ 2 ของชีวิตคือ ช่วง log phase และช่วง stationary phase ของช่วงการเจริญเติบโต สามารถพบแอนโทไซยานิน 6 ชนิดในตัวอย่าง โดยพบ 3-O-glucosides 3 ชนิดและ 3-O-(6-O-p-coumaroyl) glucosides ของ petunidin, malvidin และ hirsutidin 3 ชนิด ซึ่งสาร hirsutidin coumaroyl glucoside ไม่พบว่ามีรายงานก่อนหน้านี้และเป็น predominant ในทุกตัวอย่าง อัตราส่วนของสารแอนโทไซยานินมีความสัมพันธ์กับสารแขวนลอยในเซลล์ (cell suspension) และชนิดของดอกไม้

- Kohei , Naonobu และ Masahiko (2003) ศึกษาพบว่าในดอกอัญชันมีองค์ประกอบของ Flavonol glycoside 3 ชนิด คือ Kaempferol 3-O-(2''-O- -rhamnos-6''-O-matonyl)- -glucoside , quercetin 3-O-(2''-O- -rhamnosyl-6''-O-malonyl)- -glucosicle และ myricetin 3-O-(2'', 6''-di-O- -rhmnosyl)- - glucosicle โดยอธิบายโดยโครงสร้างย่อย UV-Mass และ NMR spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของ Kaempferol, quercetin 3-(2-O-rhamnosyl) glucoside Kaempferol, quercetin และ myricetin-3-neohesperidoside, 3-rutinoside และ 3-glucoside ในเนื้อเยื่อเมื่อวิเคราะห์ด้วย LC/MS/MS พบ myricetin 3-O-(2",6"-di-O-rhamnosyl)-glucoside

- Lewis และ Walker (1994) ศึกษาพบว่า Polysaccharides และ น้ำตาลในพืชหลายชนิดมีผลต่อสีแอนโทไซยานินที่ถูกสังเคราะห์ ความเข้มของสีตรวจสอบโดยการวัดค่า Absorbance โดยที่สารละลายของแอนโทไซยานินที่ต่างชนิดกันทำให้ค่า λ_{max} ต่างกันด้วย โดยพบ Amylose, Amylopectin, -Cyclodextrins และ - Cyclodextrins เพียงเล็กน้อยในน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลมอลโทส และซูโครส เป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของสี โดยสีจะเปลี่ยนอย่างชัดเจนที่ pH 4 มากกว่า pH 2

- Robert *et al.* (1976) ศึกษาถึงผลของแอนโทไซยานินและค่า pH ที่มีต่อสีของดอก blue morning glory พบว่ามีสารแอนโทไซยานินชนิด peonidin 3-(dicaffeoylsophoroside)-5-glucoside เป็นหลัก ซึ่งจะคงตัวในสารละลายและจะมีผลต่อสีของดอก และพบสาร flavonols ชนิด quercetin ที่ pH ของเซลล์ที่แก่ซึ่งไม่มีผลต่อสีของแอนโทไซยานิน เปลี่ยนจากสีแดงม่วงเข้มเป็นสีแดงม่วงปานกลางหรือสีฟ้าใตในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง และระหว่างช่วงเวลานั้นพีเอชในเนื้อเยื่อแก่เปลี่ยนจาก 6.5 เป็น 7.5

- Seung-Heui และ Seon-Kyu (2002) ศึกษาสารประกอบแอนโทไซยานินใน *in vitro* และส่วนที่อยู่ใต้ดินของแพงพวยบดสีชมพูตีชมพู (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don.) โดยใช้เครื่อง ESI-mass spectrometry และ ion trap multiple mass spectrometry (MS/MS) นอกจากนี้ยังใช้ thin layer chromatography (TLC) ในการแยก และใช้เครื่อง UV/Vis spectroscopy ในการยืนยันว่ามีองค์ประกอบของ Petunidin, malvidin และ hirsutidin เป็น aglycone ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ 3-O-glucoside ทั้ง 3 ชนิด 3-O-(6-O-*p*-coumaroyl)glucoside ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีคุณภาพเหมือนกันแต่มีปริมาณที่ต่างกัน

- Zhong *et al.* (2003) ศึกษาการสกัด Anthocyanin จาก Litchi ด้วย 0.5 M HCl และทำให้บริสุทธิ์ด้วยคอลัมน์ Amberlite XAD-7 และ Sephadex LH-20 Chromatography แอนโทไซยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักใน *Litchi pericarp* (94.3% ของทั้งหมด) หลังจากทำให้บริสุทธิ์ขึ้น ทำให้พบ cyanindin-3-rutinoside ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 595 เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่อง HPLC และ Mass spectrometry

บทที่ 3

การวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีและวัสดุธรรมชาติ

1. ดอกอัญชัน เก็บจากบริเวณโรงงานบริษัทฟุตบอลไทยเทรดดิ้งจำกัด (Football Thai trading Co., Ltd) ถนนจลองกรุง
2. ดอกแพงพวยบกสีชมพู เก็บจากบริเวณโดยรอบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ใบฤาษีผสม เก็บจากบริเวณคณะเทคโนโลยีเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ใบหมากผู้หมากเมีย เก็บจากบริเวณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Hydrochloric acid conc.) AR grade บริษัท Fisher Scientific
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) AR grade บริษัท Lab-Scan Ltd.
7. โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride) AR grade, บริษัท Carlo Erba
8. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogenphthalate) AR grade, บริษัท Carlo Erba
9. แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride) AR grade, บริษัท Carlo Erba
10. สารละลายแอมโมเนีย (Ammonia solution) AR grade, บริษัท Carlo Erba
11. โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) AR grade, บริษัท Fisher Scientific
12. กรดซิตริก (Citric Acid) AR grade, บริษัท Fisher Scientific
13. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium dihydrogen phosphate) AR grade, บริษัท Fisher Scientific
14. เอทานอล (Ehanol : Absolute) AR grade, บริษัท Carlo Erba
15. สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 สำหรับเทียบสารมาตรฐานมาตรฐานความเป็นกรด-เบส (Buffer Solution, Biphthalate pH 4), J.T. Baker
16. สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7 สำหรับเทียบสารมาตรฐานมาตรฐานความเป็นกรด-เบส (Buffer Solution, Biphthalate pH 7), J.T. Baker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ควอตซ์เซลล์ (Quartz cell) optical path 10 มิลลิเมตร ขนาด 12.5×12.5×45H
2. เครื่องวัดสี (Hunterlab Miniscan) รุ่น Colorflex บริษัท Hunterlab
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น pH meter 654 ใช้ประกอบกับขั้วกลาสแบบจั่วรวม (Combined pH glass electrode) รุ่น 6.0202.00 QF, บริษัท Metrohta
4. กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filter paper No.1, Qualitative) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ADVANTEC บริษัท Toyo Roshi Kaisha
5. เครื่องชั่งความละเอียด 1 ตำแหน่ง รุ่น 1620C ยี่ห้อ Frecisa บริษัท Precisa Instruments
6. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น TYP300-9465/L1620C บริษัท Denver Instrument company
7. แผ่นพาราฟิล์ม (Parafilm) บริษัท American National Can
8. ตู้แช่เย็น 4 °C
9. เครื่องดูดอากาศโดยใช้น้ำ (Water aspirator) รุ่น A-3S, EYELA พร้อมด้วยชุดกรองลดความดัน
10. อุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับการทดลอง ได้แก่ เครื่องแก้ว และผลิตภัณฑ์พลาสติก

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.3.1 ศึกษาหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุจากพืชที่ใช้ในการทดลองโดยใช้น้ำและกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล เป็นตัวทำละลายซึ่งมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. ใช้ดอกอัญชันเป็นพืชตัวอย่าง โดยอบดอกอัญชันที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และบดให้ละเอียด
2. ชั่งน้ำหนักดอกอัญชันปริมาณ 1 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml จำนวน 2 ใบ โดยใบที่ 1 เติมน้ำปริมาตร 50 ml และให้ความร้อนโดยใช้ water bath ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ใบที่ 2 เติมกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล ปริมาตร 50 ml และแช่เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง (นพพร, 2539; Delgado และ Paredas, 2002)
3. กรองสารละลายที่ได้จากข้อที่ 2 ด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1
4. เก็บสารละลายสกัดที่ได้ใส่ขวดสีชา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C
5. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 13 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 13

pH	สารละลายกรดหรือเบส	สารละลายเกลือ	เอกสารอ้างอิง
1	335 ml HCl 0.2 M	125 ml KCl 0.2 M	Dean (1985)
2	32.5 ml HCl 0.2M	125 ml KCl 0.2 M	
3	115 ml HCl 0.1 M	250 ml KHP 0.1 M	
4	0.5 ml HCl 0.1M	250 ml KHP 0.1 M	
5	242.5 ml Citric 0.1 M	257.5 ml Na ₂ HPO ₄	Lide (2000)
6	184.25 ml Citric 0.1 M	315.75 ml Na ₂ HPO ₄	
7	88.25 ml Citric 0.1 M	411.75 ml Na ₂ HPO ₄	
8	27.5 ml NH ₃ 0.2 M	472.5 ml NH ₄ Cl 0.2 M	
9	180 ml NH ₃ 0.2 M	320 ml NH ₄ Cl 0.2 M	Dean (1985)
10	425 ml NH ₃ 0.2 M	75 ml NH ₄ Cl 0.2 M	
11	20.5 ml NaOH 0.1 M	250 ml Na ₂ HPO ₄	
12	30 ml NaOH 0.1M	125ml KCl 0.2 M	
13	330 ml NaOH 0.2 M	125 ml KCl 0.2 M	

6. ตัดกระดาษกรอง ADVANTEC เบอร์ 1 ขนาด 90 มิลลิเมตร ตัดแบ่งกระดาษกรอง เป็น 8 ส่วนเท่า ๆ กัน จากนั้นทำการชั่งกระดาษกรองลงในสารละลายรงควัตถุจากข้อที่ 4 เป็นเวลา 1 นาที ทิ้งไว้ให้แห้ง
7. นำกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นได้จุ่มในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 1 แล้วทำการวัดสีของกระดาษด้วยเครื่อง HunterLab miniscan และทำซ้ำอีก 2 ครั้ง
8. ทำเช่นเดียวกับข้อ 7 แต่ใช้บัฟเฟอร์พีเอช 2-13 แทน

3.3.2 ศึกษาผลของปริมาณพืชที่เหมาะสมต่อการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน

1. อบดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบฤาษีผสม และใบหมากผู้หมากเมียที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด
2. ชั่งพืชน้ำหนักพืชประมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) (ยกเว้น ใบฤาษีผสม ชั่งปริมาณ 1, 2, 3 และ 4 กรัม) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.1
3. กรองสารละลายที่ได้จากข้อที่ 2 ด้วยกระดาษกรอง ADVANTEC เบอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4-8 ในหัวข้อที่ 3.3.1

3.3.3 ศึกษาผลของชนิดของพืชที่เหมาะสมต่อการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน

1. อบดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกลีทมพู ใบฤๅษีผสม และใบหมากผู้หมากเมียที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด
2. ชั่งน้ำหนักพืชปริมาณที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.2 ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 ml และสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.1
3. กรองสารละลายจากข้อที่ 2 ด้วยกระดาษกรอง ADVANTEC เบอร์ 1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4-8 ในหัวข้อที่ 3.3.1

3.3.4 จัดทำสเกลสีมาตรฐานเพื่อใช้ในการตรวจวัดพีเอช

1. แปรผลค่า L^* , a^* และ b^* ที่ได้จากการวัดสีด้วยเครื่อง Hunterlab Miniscan ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของสารละลายรงควัตถุจากพืชด้วยโปรแกรม adobe Photoshop 7.0 ในการจัดทำสเกลสี ซึ่งเลือกชนิดและปริมาณของพืชที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.2 และ 3.3.3 ตามลำดับ สกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.1
2. คำนวณความแตกต่างของสีในแต่ละระดับพีเอชว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใดโดยวิธี CIE 94 Color Difference Equation ซึ่งใช้หลักการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างมาตรฐานและตัวอย่าง โดยตัวอย่างมาตรฐานคือ สีที่ระดับพีเอชที่ต้องการเทียบกับสีที่ระดับพีเอชอื่น ๆ
3. กรณีเมื่อ $\Delta E_{CIE 94} = 1-2$ แสดงว่าสีที่ระดับพีเอชที่ทำการเปรียบเทียบกันไม่มีความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการจัดทำสเกลสีมาตรฐานจึงทำการระบุค่าพีเอชในช่วงที่สีไม่มีความแตกต่างกันเป็นช่วงของพีเอช

3.3.5 ศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่จัดทำขึ้น

1. อบพืชชนิดที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.3 ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และบดให้ละเอียด
2. ชั่งน้ำหนักพืชปริมาณที่เหมาะสมในข้อที่ 3.3.2 และสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมในข้อที่ 3.3.1
3. กรองสารละลายจากข้อ 2 ในหัวข้อที่ 3.3.1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4-8 ในหัวข้อที่ 3.3.1
5. วัดสีของกระดาษวัดพีเอชด้วยเครื่อง HunterLab miniscan ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ณ เวลา 0 , 5 , 15 , 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

3.3.6 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นต่อประสิทธิภาพของกระดาษวัดพีเอช

1. อบพีชชนิดที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.3 ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และบดให้ละเอียด
2. ชั่งน้ำหนักพีชปริมาณที่เหมาะสมในข้อที่ 3.3.2 แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมในข้อที่ 3.3.1
3. ตัดกระดาษกรอง ADVANTEC เบอร์ 1 ขนาด 90 mm ตัดแบ่งกระดาษกรองจำนวน 1 ชิ้น เป็น 8 ส่วนเท่า ๆ กัน จากนั้นทำการชุบกระดาษกรองลงในสารละลายรงค์ควัดจากข้อที่ 2 เป็นเวลา 1 นาที
4. อบกระดาษวัดพีเอชจากข้อที่ 3 ที่อุณหภูมิ 40 °C และอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 40 นาทีและ 20 นาที ตามลำดับ และทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 7-9 ในหัวข้อที่ 3.3.1
6. วัดสีที่ระดับพีเอชต่างๆด้วยกระดาษพีเอชที่จัดทำขึ้นด้วยเครื่อง HunterLab miniscan โดยแปรเวลาในการตรวจวัดเป็น 0, 1, 2, 7 และ 14 วัน ตามลำดับ

3.3.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการวัดค่าพีเอช

ในการศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจวัดค่าพีเอชโดยการเทียบสี ทำการทดลอง 2 รูปแบบ วัดพีเอชโดยใช้ กระดาษวัดพีเอช สารละลายรงค์ควัดที่สกัดได้จากพีช โดยมีขั้นตอนการทำทดลองดังนี้

ก) กระดาษวัดพีเอช

1. อบพีชชนิดที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.2 ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และบดให้ละเอียด
2. ชั่งน้ำหนักพีชปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากได้จาก 3.3.2 แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมในข้อที่ 3.3.1
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3-8 ในหัวข้อที่ 3.3.1
4. อ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้น โดยการเทียบสีกับสเกลสีมาตรฐานที่จัดเตรียมขึ้นได้ในข้อที่ 3.3.4 โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 26 คน

ข) สารละลายรงค์ควัดที่สกัดได้จากพีช

1. อบพีชชนิดที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.3.2 ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และบดให้ละเอียด

2. ชั่งน้ำหนักพีชปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากข้อที่ 3.3.2 แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมในข้อที่ 3.3.1
3. เติมสารละลายยวดยางจากข้อที่ 2 จำนวน 3 หยดลงในไวเอลขนาด 1 ml จำนวน 13 ขวด และเติมบัฟเฟอร์พีเอช ลงในไวเอลโดยเติมพีเอชละไวเอล
4. อ่านค่าพีเอชจากสารละลายในข้อที่ 3 โดยการเทียบสีกับสเกลสีมาตรฐานที่จัดเตรียมขึ้น ด้วยกลุ่มตัวอย่าง 26 คน
5. ทำซ้ำอีก 2 ซ้ำ

3.3.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นกับวิธีการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ และกระดาษวัดพีเอช

1. เก็บน้ำตัวอย่าง 17 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ทำการเก็บสามารถแบ่งตามประเภทของแหล่งน้ำดังนี้
 - แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบริเวณสะพานคลองกรุง 1 ถนนคลองกรุงใต้แก่ ช้างพันธุ์ปลา 1 ช้างพันธุ์ปลา 2 จูพันธุ์ปลา 1 จูพันธุ์ปลา 2 บ่อเลี้ยงปลา 1 และ บ่อเลี้ยงปลา 2
 - แหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ได้แก่
 - คลองประเวศบุรีรมย์บริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
 - สระน้ำบริเวณตึกโทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์
 - สระน้ำบริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
 - สระน้ำบริเวณหลังตึก A คณะวิศวกรรมศาสตร์
 - สระน้ำบริเวณหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
 - สระน้ำบริเวณตึก C ตึกเรียนรวมพระเทพ
 - สระน้ำบริเวณด้านข้างหอประชุมใหญ่
 - สระน้ำบริเวณด้านหน้าห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
 - น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
 - น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
 - น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
2. เปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำจากข้อ 1 โดยเปรียบเทียบกับกระดาษวัดพีเอชด้วยกระดาษวัดพีเอชที่จัดทำขึ้นกับ กระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและเครื่องพีเอชมิเตอร์
3. วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพีเอชที่วัดได้จาก 3 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

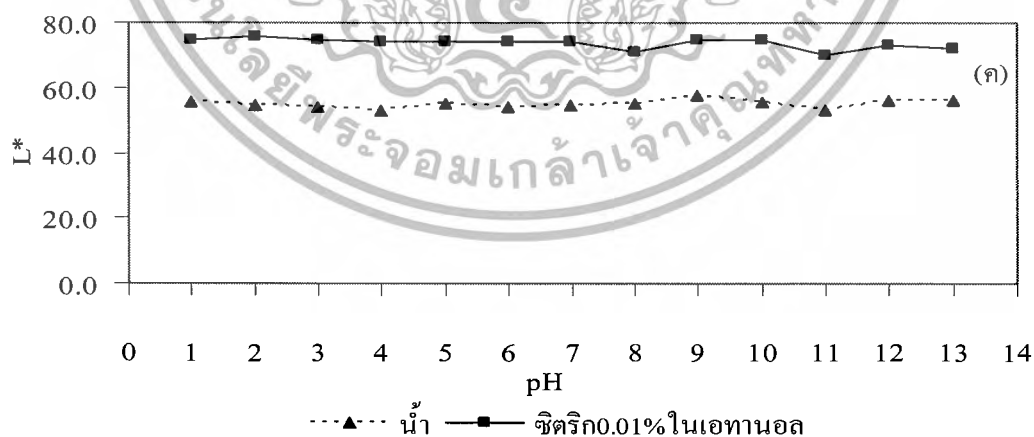
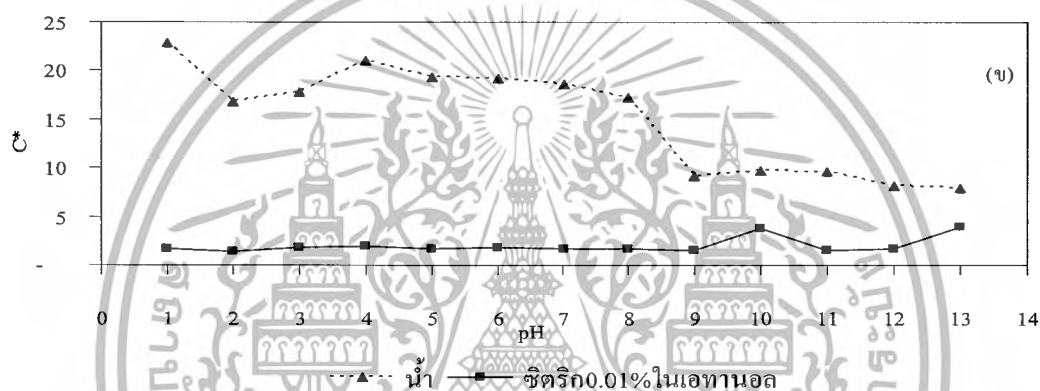
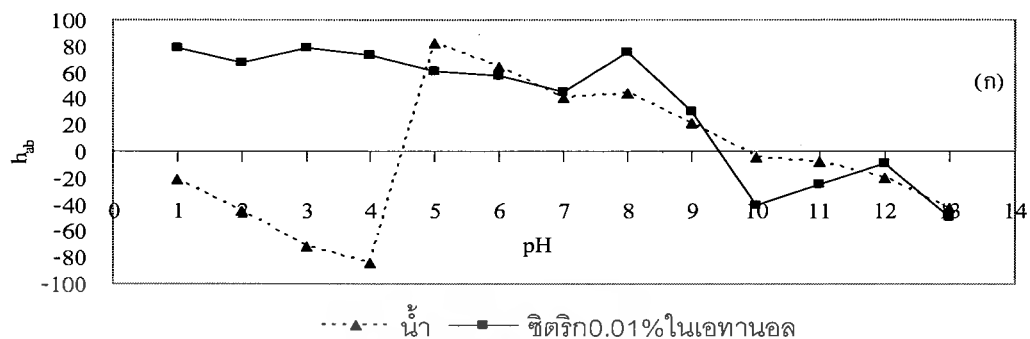
ผลการทดลอง

จากหลักการโดยทั่วไปในการวัดสีของวัตถุที่สามารถมองเห็น จะทำการวัดใน 3 ลักษณะ คือค่ามุมของสีหรือสีที่ปรากฏให้เห็น (HUE ANGLE, h_{ab}) ได้แก่ สีแดง เขียว และน้ำเงิน เป็นต้น ค่าความสว่างของสี (VALUE, Lightness, L^*) โดยดูการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันไป และความสดใสความเข้ม หรือความบริสุทธิ์ของสี (CHROMA saturation, C^*)

จากการทดลองเพื่อจัดทำชุดตรวจวัดค่าพีเอช โดยการนำรังควัตถุที่สกัดได้จากพืชมาตรวจ-การเปลี่ยนสีของรงควัตถุที่ระดับพีเอชต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง Hunterlab Miniscan ซึ่งค่าข้อมูลที่ตรวจวัดประกอบด้วยค่า a^* , b^* และ L^*

4.1 ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุจากพืช

ในการศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุจากพืช โดยใช้ดอกอัญชันเป็นพืชตัวอย่าง ทำการชั่งน้ำหนักดอกอัญชันปริมาณ 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง สกัดด้วยน้ำ และสกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล จากนั้นจัดทำกระดาษวัดพีเอช โดยชุบกระดาษกรองด้วยสารละลายรงควัตถุจากดอกอัญชันและทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เมื่อทำการทดลองโดยแปรค่าพีเอชในช่วง 1-13 พบว่า สีที่ปรากฏที่ระดับพีเอชต่าง ๆ โดยการตรวจวัดสีด้วยเครื่อง Hunterlab miniscan นำค่ามาแปรผลเป็นมุมของสี ความสว่างของสี และความสดใสหรือความเข้มของสี แสดงดังรูปที่ 4.1ก-4.1ค และตารางในภาคผนวก ก1-ก2



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบสีรงควัตถุที่สกัดน้ำและกรดชิตริก 0.01% ในเอทานอลที่ระดับพีเอชต่างๆ

(ก) h_{ab}

(ข) ค่า C^*

(ค) L^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1(ก) เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชที่ระดับต่าง ๆ พบว่าค่าของสีที่ปรากฏของรงควัตถุที่สกัดด้วยน้ำจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ณ ระดับพีเอชต่าง ๆ สำหรับค่าของสีที่ปรากฏเมื่อทำการสกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล จะไม่สามารถแยกได้ชัดเจนโดยเฉพาะในช่วงพีเอช 1- 7

จากรูปที่ 4.1(ข) ความสดใสหรือความเข้มของสี (C^*) ที่เปลี่ยนแปลงในระดับพีเอชต่าง ๆ พบว่ารงควัตถุที่สกัดด้วยน้ำมีความสดใสหรือความเข้มมากกว่ารงควัตถุที่สกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล ทำให้ความสามารถในการมองเห็น รงควัตถุที่สกัดได้ด้วยน้ำชัดเจนกว่าสีของรงควัตถุที่สกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล จากรูปแสดงให้เห็นชัดเจนว่ากรณีสกัดด้วยน้ำจะมีการเปลี่ยนสีของรงควัตถุในทุกค่าของพีเอชที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า h_{ub} ที่ได้จากรูปที่ 4.1(ก)

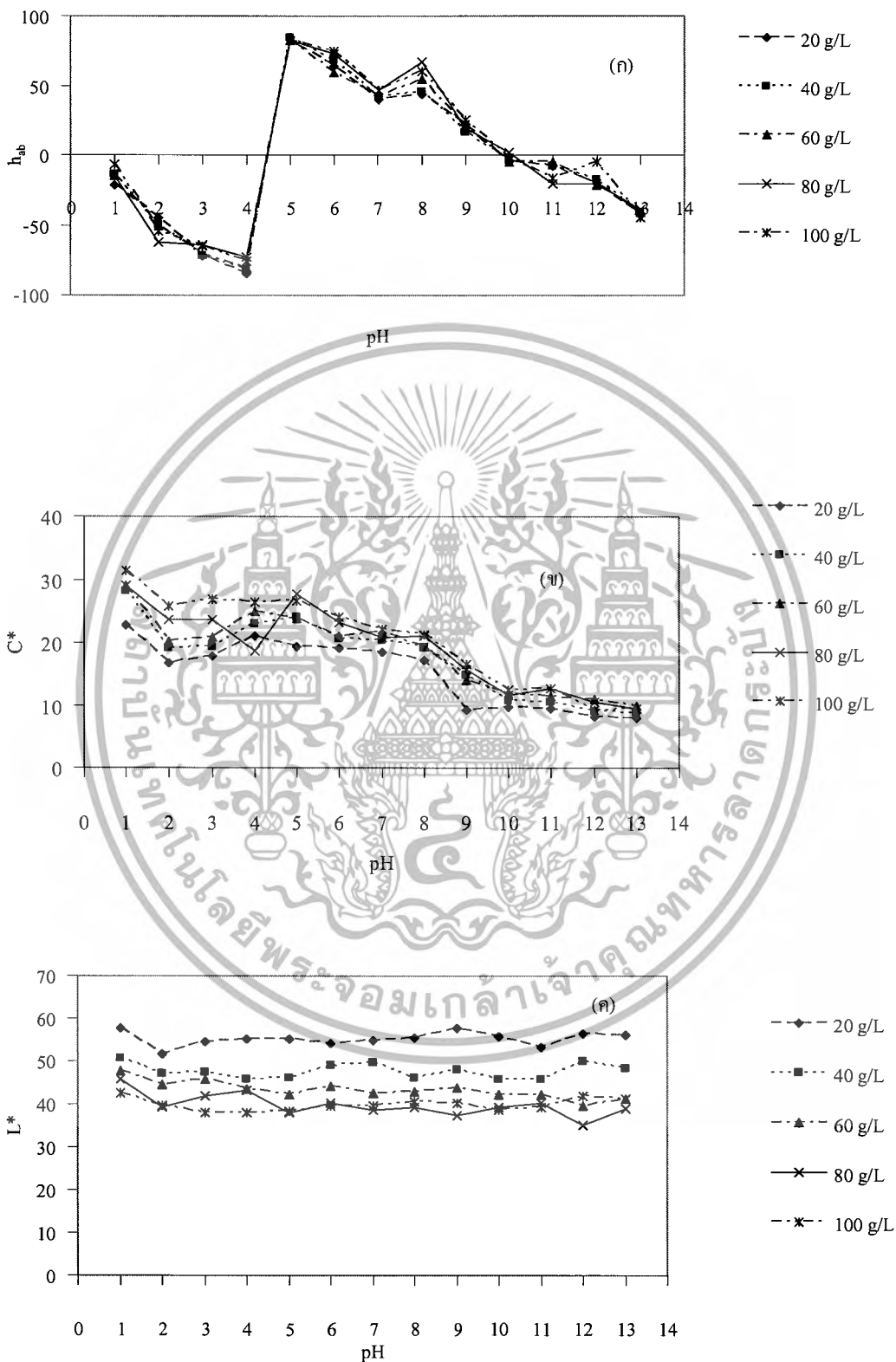
จากรูปที่ 4.1(ค) ค่าความสว่างของสี (L^*) พบว่า รงควัตถุที่สกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอลมีความสว่างมากกว่ารงควัตถุที่สกัดด้วยน้ำในทุกระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช โดยค่าความสว่างของสี แสดงถึงปริมาณรงควัตถุที่สกัดได้ กล่าวคือ ถ้าค่าความสว่างของสีต่ำโอกาสจะเกิดการสะท้อนของแสงสีขาวจะน้อย เนื่องจากถูกบดบังด้วยปริมาณรงควัตถุที่สกัดได้ จากการสกัดรงควัตถุด้วยน้ำพบว่ามีค่าความสว่างของสีต่ำกว่าสกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล แสดงว่า ปริมาณรงควัตถุที่สกัดได้ด้วยน้ำจะมีปริมาณมากกว่าการสกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการสกัดรงควัตถุด้วยน้ำจะมีค่าของสีที่ปรากฏเด่นชัดทุกการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเหมาะสมในการนำไปใช้จัดทำชุดตรวจวัดค่าพีเอชมากกว่าการสกัดด้วยกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการสกัดรงควัตถุจากพืชด้วยน้ำสำหรับการทดลองขั้นต่อไป ตลอดการทดลอง

4.2 ปริมาณของพืชที่เหมาะสมต่อการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน

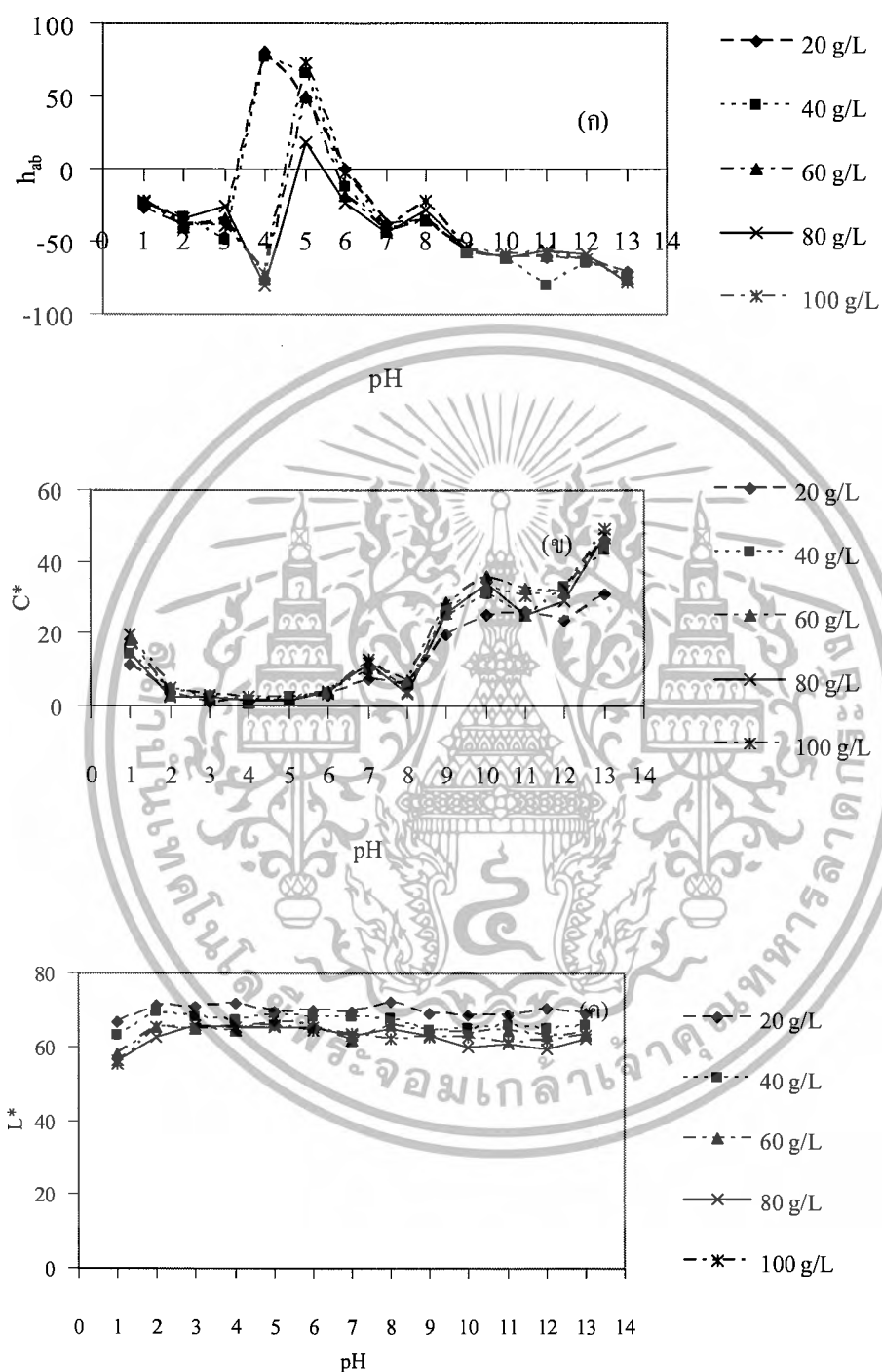
ในการศึกษาปริมาณพืชที่เหมาะสมในการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน นำพืชที่ใช้ในการศึกษา 4 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกลีชมพู ใบถั่วฝักยาว และใบหมากผู้หมากเมีย ชั่งน้ำหนักพืชแต่ละชนิดปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง นำไปสกัดด้วยน้ำทำให้ได้ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 g/L ตามลำดับ จากนั้นชุบกระดาษกรองด้วยรงควัตถุที่สกัดได้ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองพบว่า สีของรงควัตถุจากพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2-4.5 และตารางในภาคผนวก ข1-ข4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ปริมาณของดอกอัญชันที่เหมาะสมในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



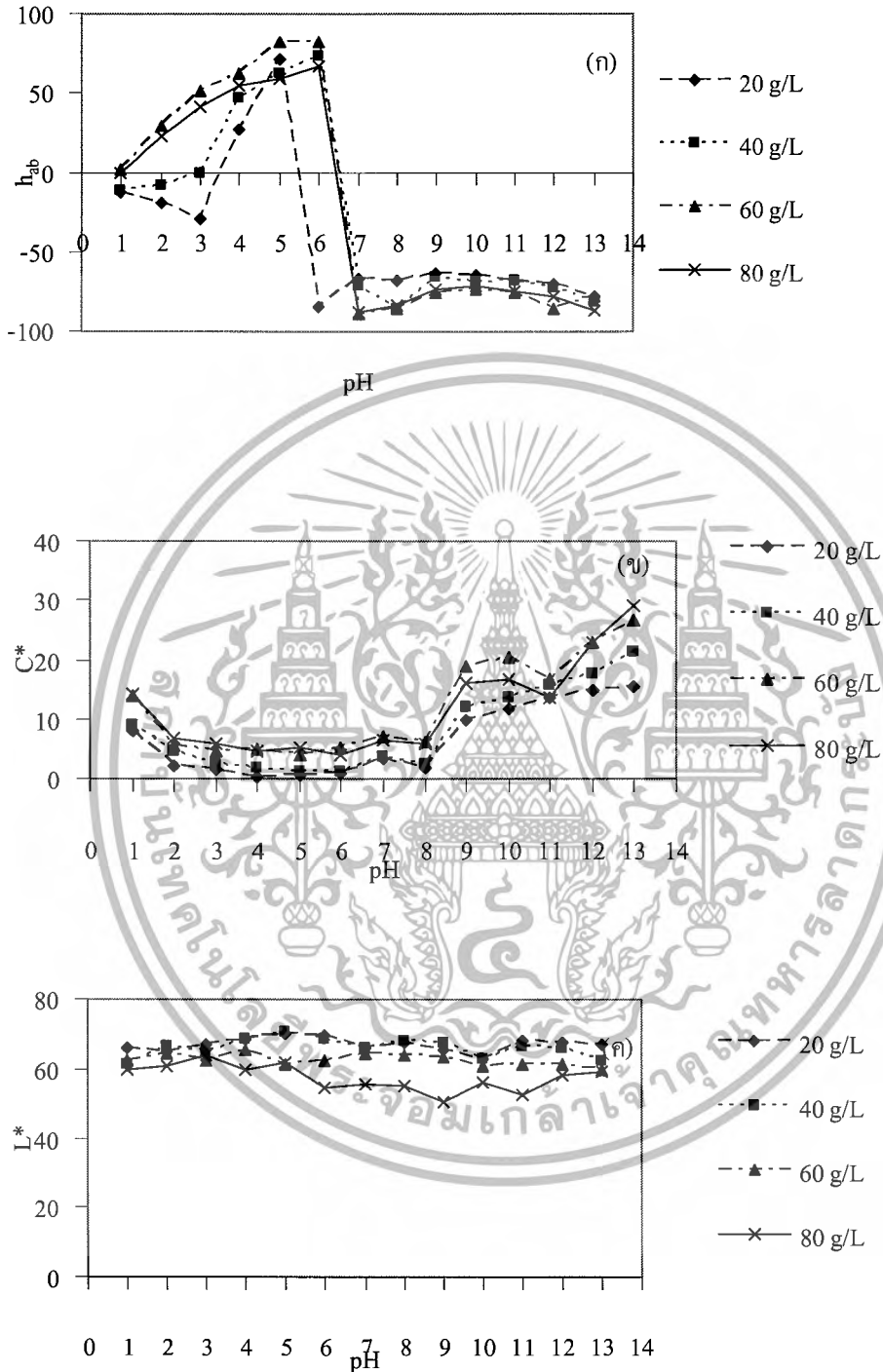
รูปที่ 4.3 ปริมาณของดอกแพลงพวยบกีสขมพูที่เหมาะสมในการทดลอง

(ก) ค่า h_{ab}

(ข) ค่า C^*

(ค) L^*

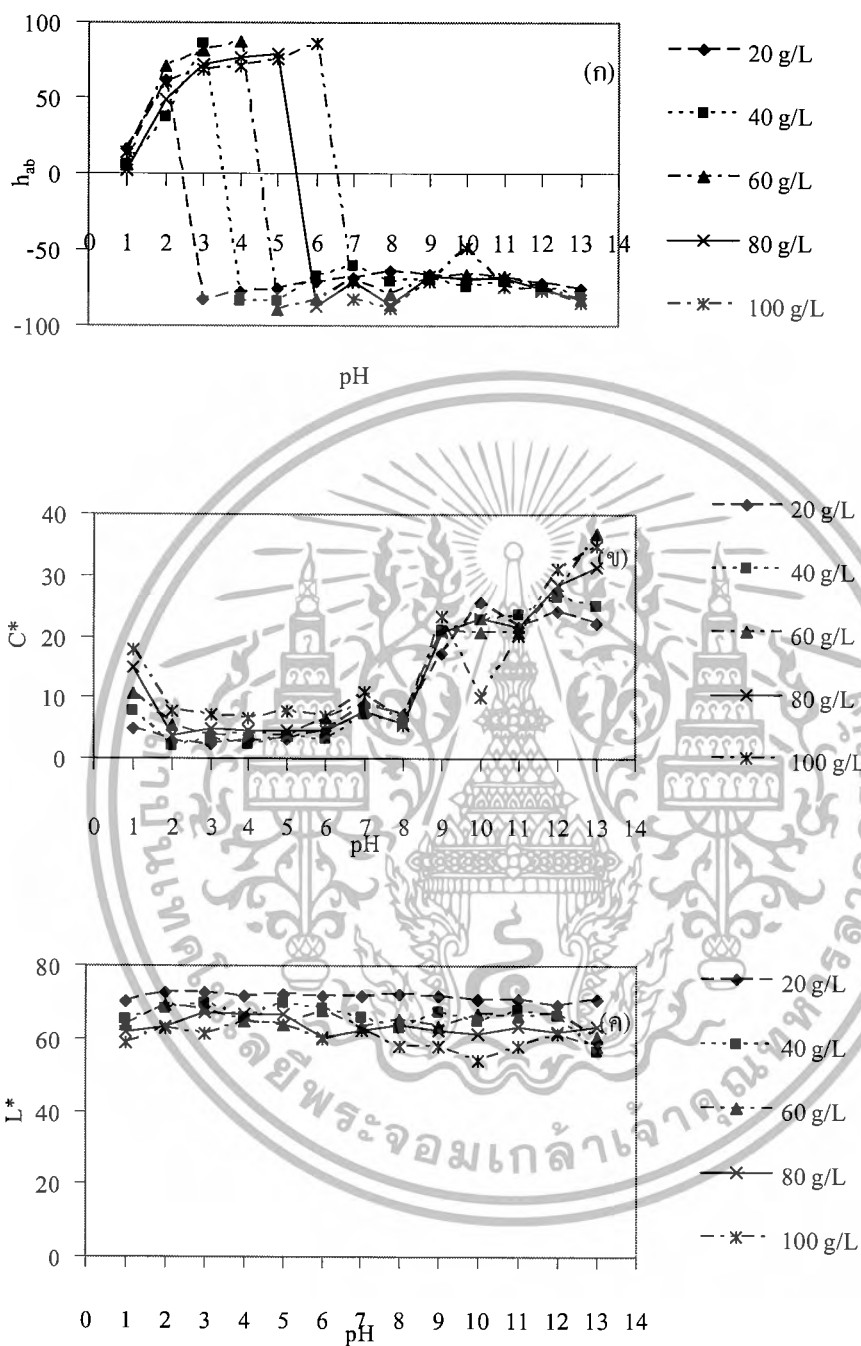
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณของไบฤาษีผสมที่เหมาะสมในการทดลอง

(ก) ค่า h_{ab} (ข) ค่า C^* (ค) L^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ปริมาณของโบมหากผู้หมากเมี่ยงที่เหมาะสมในการทดลอง

(ก) ค่า h_{ab}

(ข) ค่า C^*

(ค) L^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของดอกอัญชันที่แตกต่างกันในการสกัด แสดงผลดังรูปที่ 4.2 และตารางในภาคผนวก ข1 รูปที่ 4.2 (ก) พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของ ดอกอัญชันที่ใช้ในการสกัด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีปรากฏ (h_{sp}) ในลักษณะแนวโน้มเดียวกัน และมีค่าใกล้เคียงกันทุกพีเอช เมื่อปริมาณน้ำหนักรีดของดอกอัญชันน้อย จะมีค่าความเข้มของสีน้อย ส่วนค่าความสว่างของสีจะมากดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) และ(ค) ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของดอกแพงพวยบกลีซมพู่สีชมพูที่แตกต่าง กันในการสกัดแสดงผลดังรูปที่ 4.3 และตารางในภาคผนวก ข2 รูปที่ 4.3(ก) พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลง ปริมาณของดอกแพงพวยบกลีซมพู่สีชมพูที่ใช้ในการสกัด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีปรากฏ (h_{sp}) ใน ลักษณะแนวโน้มเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกันใน ช่วงพีเอช 1-3 และ 7-13 รูปที่ 4.3(ข) เมื่อ ปริมาณน้ำหนักรีดของดอกแพงพวยบกลีซมพู่สีชมพูน้อยนั้นจะมีความเข้มของสีที่น้อย รูปที่ 4.3 ค เมื่อ ปริมาณของดอกแพงพวยบกลีซมพู่สีชมพูน้อยความสว่างมาก

การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของใบถั่วฝักยาวที่แตกต่างกัน ในการสกัด แสดงผลดังรูปที่ 4.4 และตารางในภาคผนวก ข3 รูปที่ 4.4 (ก) พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของ ใบถั่วฝักยาวที่ใช้ในการสกัด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีปรากฏ ในลักษณะแนวโน้มเดียวกันและ มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงพีเอช 8-13 รูปที่ 4.4 (ข) เมื่อปริมาณน้ำหนักรีดของใบถั่วฝักยาวน้อย จะมีค่า ความเข้มของสีน้อย รูปที่ 4.4 (ค) เมื่อปริมาณใบถั่วฝักยาวน้อยค่าความสว่างของสีจะมาก

การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของใบหมากผู้หมากเมียที่แตกต่างกัน ใน การสกัดแสดงผลดังรูปที่ 4.5 และตารางในภาคผนวก ข 4 รูปที่ 4.5 (ก) พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลง ปริมาณของหมากผู้หมากเมียที่ใช้ในการสกัด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีปรากฏในลักษณะ แนวโน้มเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงพีเอช 7-13 รูปที่ 4.5 (ข) เมื่อปริมาณน้ำหนักรีดของ หมากผู้หมากเมียน้อย จะมีค่าความเข้มของสีน้อย รูปที่ 4.5 (ค) เมื่อปริมาณหมากผู้หมากเมียน้อย ค่าความสว่างของสีจะมาก

ดังนั้น จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.2 - 4.5 สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณพืช ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของรงควัตถุที่ระดับพีเอชต่าง ๆ จะมีผลต่อความเข้มของสีและความ สว่างของสีเท่านั้น ดังนั้นในการจัดทำสเกลสีมาตรฐานจึงเลือกใช้ปริมาณพืช 1 กรัมโดยน้ำหนัก แห่งในการทดลองขั้นตอนต่อไป เพื่อไม่เป็นการสิ้นเปลืองพืชที่ใช้ในการทดลอง

4.3 ชนิดของพืชที่เหมาะสมในการทดลองจัดทำสเกลมาตรฐาน

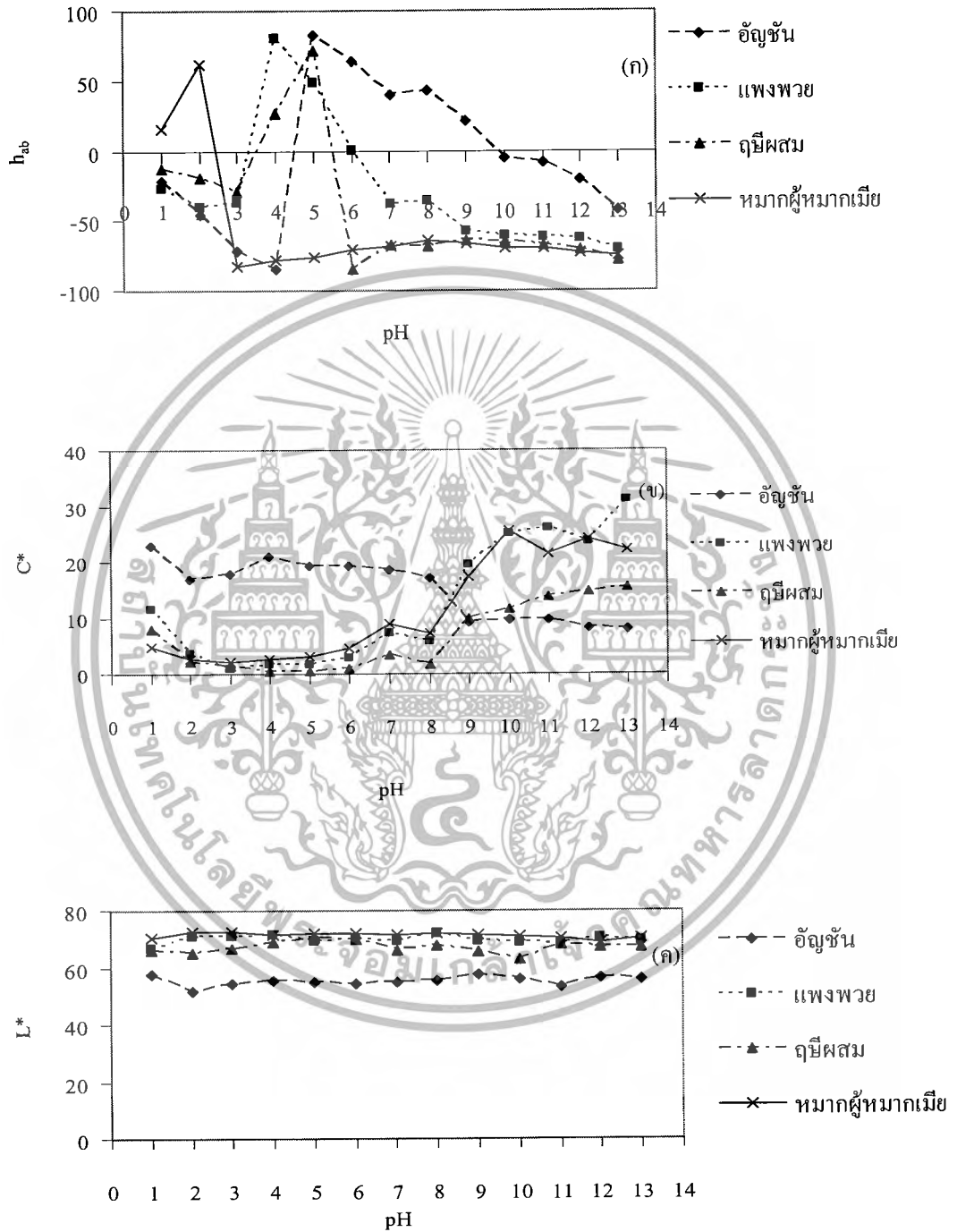
การทดลองใช้พืช 4 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาญีผสม และใบหมากผู้หมากเมีย โดยชั่งน้ำหนักพืชในปริมาณ 1 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง สกัดด้วยน้ำและชุบกระดาษกรอง ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการทดสอบกับบัพเฟอร์ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ และทำการวัดสีของรงควัตถุจากพืชแต่ละชนิดที่เปลี่ยนแปลงไป ผลการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4.6 (ตารางภาคผนวก ค)

จากรูปที่ 4.6 (ก) ค่าสีปรากฏ (h_{ab}) ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาญีผสม และใบหมากผู้หมากเมีย พบว่า อัญชันมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนที่สุด ณ ระดับพีเอชต่าง ๆ รองลงมาคือ ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาญีผสม และใบหมากผู้หมากเมีย ตามลำดับ โดยดอกแพงพวย ใบถาญีผสม และใบหมากผู้หมากเมีย จะไม่สามารถแยกสีได้อย่างชัดเจนในช่วงพีเอชที่เป็นค่า

จากรูปที่ 4.6 (ข) สีค่า C^* ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาญีผสม และใบหมากผู้หมากเมีย พบว่าดอกอัญชันเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสีสูงกว่าพืชอีก 3 ชนิดในช่วงพีเอช 1-8 แต่ในช่วงพีเอช 9-13 พบว่า ดอกอัญชันเกิดการเปลี่ยนความเข้มสีต่า นั่นคือรงควัตถุจากดอกอัญชัน ทำให้สามารถใช้ในการวัดค่าพีเอชได้ดี ในระดับพีเอชต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.6 (ค) แสดงค่า L^* ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของดอกอัญชัน ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาญีผสม และใบหมากผู้หมากเมีย พบว่า อัญชันมีความสว่างของสีที่ต่ำกว่าพืชอีก 3 ชนิด ซึ่งระดับความสว่างเรียงจากมาก ไปหาน้อยคือ ใบหมากผู้หมากเมีย ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาญีผสม และดอกอัญชัน ตามลำดับ ค่าความสว่างของสีที่ไม่เท่ากันเนื่องจากปริมาณรงควัตถุที่สกัดได้จากพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ซึ่งปริมาณรงควัตถุมากจะทำให้ค่าความสว่างของสีลดลงซึ่งแสดงว่ารงควัตถุที่สกัดได้จากดอกอัญชันมีปริมาณมากกว่าพืชอีก 3 ชนิด

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่า รงควัตถุที่สกัดได้จากดอกอัญชันเหมาะสมที่สุดในการนำไปวัดพีเอช รองลงไปคือ ดอกแพงพวยบกสีชมพู ใบถาญีผสม และใบหมากผู้หมากเมีย ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้อัญชันในการจัดทำสเกลมาตรฐาน



รูปที่ 4.6 ชนิดของพืชที่เหมาะสมในการทดลอง

(ก) ค่า h_{ab} (ข) ค่า C^* (ค) L^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การจัดทำสเกลสีมาตรฐาน

การจัดทำสเกลสีมาตรฐานสำหรับวัดค่าพีเอชจัดทำโดยใช้ค่า a^* , b^* และ L^* จากตารางภาคผนวก ง และ โปรแกรม adobe photoshop 7.0 ในการแปลงค่าเป็นสีที่ใช้ในการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน โดยใช้วิธี CIE 94 Colour Difference Equation ในการเปรียบเทียบว่าสีแต่ละพีเอชมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ดังสมการที่ 4.1

$$dE^*_{CIE94} = \left\{ \frac{dL^*}{k_L S_L} \right\}^2 + \left\{ \frac{dC^*}{k_C S_C} \right\}^2 + \left\{ \frac{dH^*}{k_H S_H} \right\}^2 \quad (4.1)$$

เมื่อ $S_L = 1$

$$S_C = 1 + 0.045C^*$$

$$S_H = 1 + 0.015C^*$$

โดยให้ค่า $k_L = 2$ และ $k_H = k_C = 1$

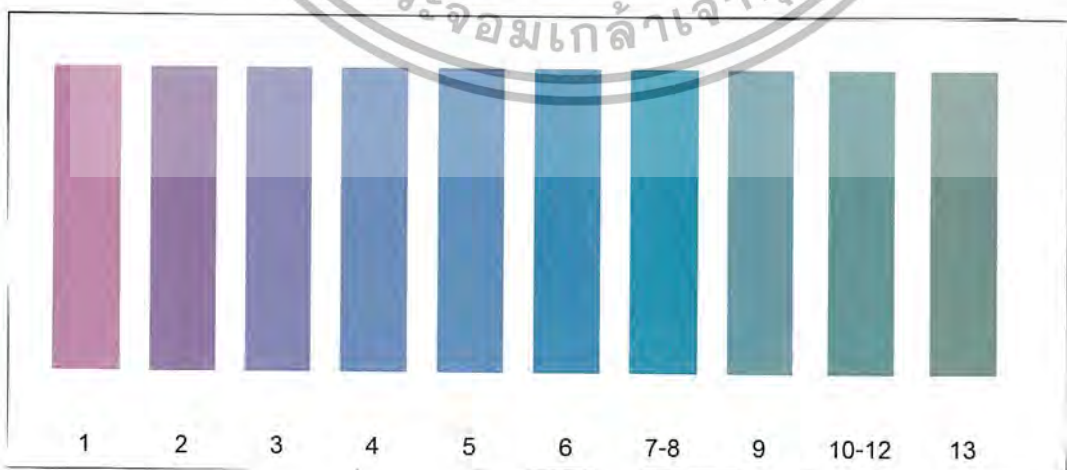
dE^* คือ ค่าที่ใช้วัดความแตกต่างของสีที่สายตามนุษย์สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้

โดยถ้า $dE^* = 1-2$ หน่วย หมายความว่าสีเหมือนกัน

ซึ่งผลการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ง ผลการคำนวณค่า ΔE^*_{CIE94} แสดงดังตารางภาคผนวก ง 1- ง 2

จากข้อมูลในตารางภาคผนวก ง พบว่า รังควัตถุจากพืชมีสีที่ไม่แตกต่างกันที่พีเอชในช่วง 7-8 และ 10-12 เนื่องจากค่า ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพีเอช 7 และ 8 มีค่าเท่ากับ 1

ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพีเอช 10 กับ 11, 10 กับ 12 และ 12 กับ 13 มีค่าเท่ากับ 0, 2 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งผลการจัดทำสเกลมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สเกลสีมาตรฐานในตรวจวัดพีเอชจากรังควัตถุที่สกัดได้จากดอกอัญชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น

ศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอช ศึกษาโดยการนำกระดาษวัดค่าพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นจากรงควัตถุจากดอกอัญชันมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ณ ระดับพีเอชต่าง ๆ โดยการแปรค่าเวลาในการอ่านค่าที่ได้จากกระดาษวัดพีเอช ที่เวลา 0, 5, 15, 30 และ 60 นาทีตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 (ตารางภาคผนวก จ)

จากรูปที่ 4.8 (ก) เมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป ความคงตัวของสี ณ ระดับพีเอช 1 – 12 ก่อนข้างคงที่ ยกเว้นที่พีเอช 13 เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงจะทำให้สีเปลี่ยนแปลงสำหรับค่าความเข้มแสงและค่าการสะท้อนแสงดังรูปที่ 4.8 (ข) - 4.8 (ค) พบว่ามีผลในแนวโน้มเดียวกับสีที่ปรากฏรูปที่ 4.8 (ก)

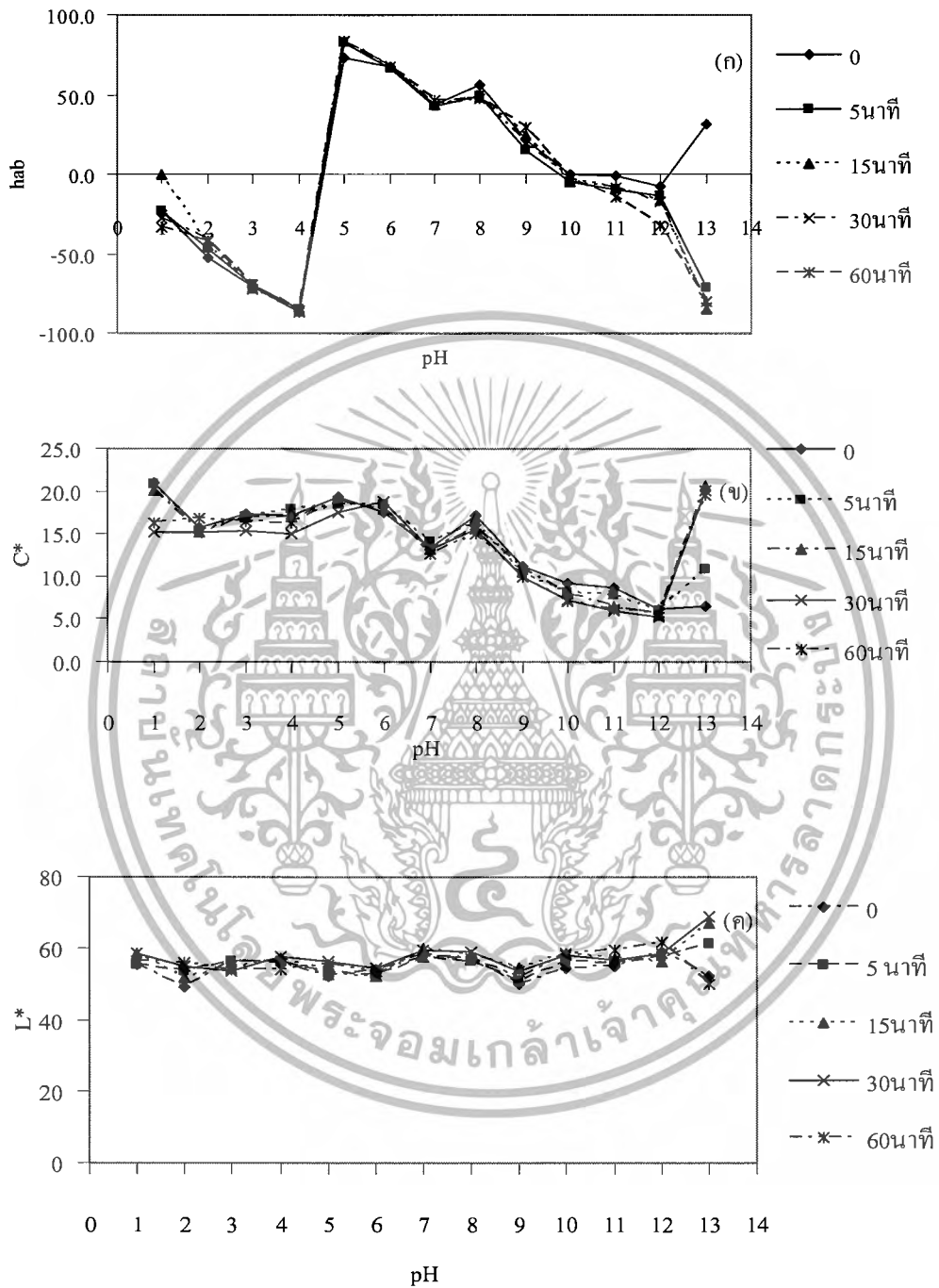
นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปได้ด้วยวิธี CIE 94 Colour Difference Equation โดยทำการคำนวณค่า ΔE^*_{CIE94} จากการเปรียบเทียบค่าสีกับค่าสีที่วัดได้เมื่อเวลาเริ่มต้น ดังแสดงดังตารางที่ 4.1 (ตารางภาคผนวก ฉ1-ฉ2)

ตารางที่ 4.1 ค่า ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่อ่านค่าได้ ณ เวลาต่าง ๆ หลังการเกิดสีเทียบกับเวลาเริ่มต้นของการเกิดสี (สีไม่มีความแตกต่างกัน ถ้าค่า ΔE^*_{CIE94} อยู่ในช่วง 1-2)

เวลา (นาที)	ค่า ΔE^*_{CIE94}												
	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12	pH13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1	3	0	0	2	2	1	2	2	24
15	1	2	0	0	3	0	0	2	1	1	2	2	26
30	3	3	1	1	3	1	0	2	1	1	2	3	26
60	3	3	1	0	2	0	1	2	2	1	4	6	24

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป ค่าที่อ่านได้จากกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นที่ระดับพีเอช 1-12 มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่พีเอช 13 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความคงตัวที่แสดงในรูปของค่า h_{90} (รูปที่ 4.8 (ก)) จากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า ช่วงระยะเวลาในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษพีเอชที่เตรียมขึ้นอยู่ในช่วง 0 ถึง 30 นาที แม้ว่าค่า ΔE^*_{CIE94} จะสูงกว่า 1-2 ในช่วง 15-30 นาที ในบางพีเอช แต่ไม่สามารถระบุถึงความแตกต่างของสีด้วยสายตาได้ส่วนค่า ΔE^*_{CIE94} ที่พี

เอช 13 มีค่ามากกว่า 20 นั่นคือ สีเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



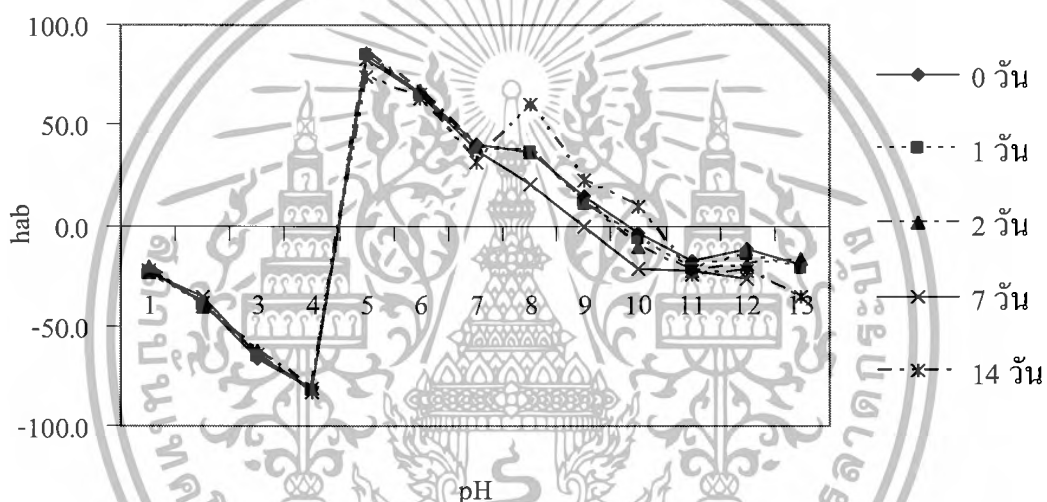
รูปที่ 4.8 ความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นจากดอกอัญชัน

(ก) ค่า h_{ab} (ข) ค่า C^* (ค) L^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้น ต่อประสิทธิภาพของกระดาษวัดพีเอช

ในการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิในการอบกระดาษวัดพีเอชต่อประสิทธิภาพการใช้งานโดยชูบกระดาษกรองในสารละลายรงค์วัตถุที่สกัดได้จากดอกอัญชันแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 °C และ 80 °C ใช้เวลาอบ 40 และ 20 นาทีตามลำดับ จากนั้นทิ้งให้เย็นและเก็บรักษาในเดซิเคเตอร์นำไปทดสอบที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ที่เวลาเริ่มต้น 1 , 2 , 7 และ 14 วัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2-4.3 และรูปที่ 4.9-4.10 (ตารางภาคผนวก ข)

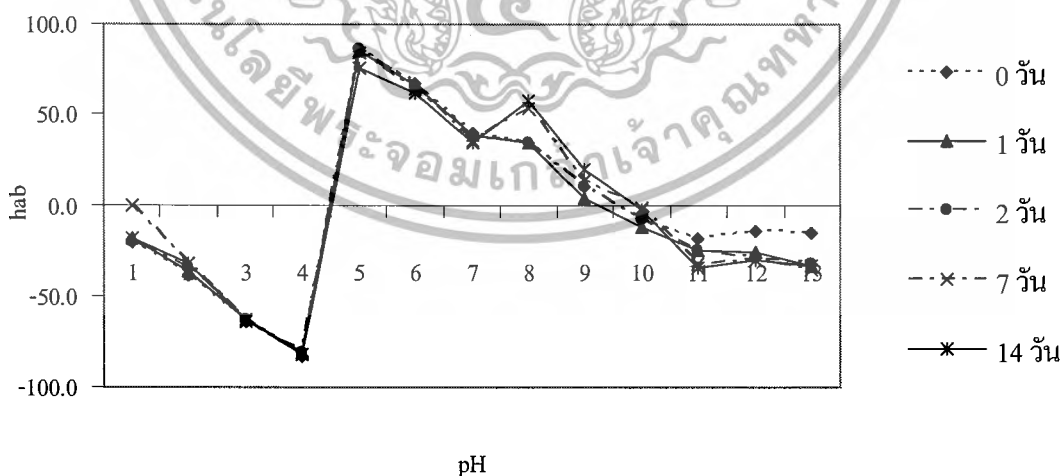


รูปที่ 4.9 ค่าเปรียบเทียบ h_{ab} ที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อทำการอบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้นที่อุณหภูมิ 40 °C

ตารางที่ 4.2 ค่า ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบสีของรงควัตถุเมื่ออบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้น ที่อุณหภูมิ 40 °C เมื่อวัดที่เวลาต่างๆ เทียบกับเวลาเริ่มต้นของการเกิดสี (สีไม่มีความแตกต่างกัน ถ้าค่า ΔE^*_{CIE94} อยู่ในช่วง 1-2) (ตารางภาคผนวก ซ1-ซ2)

เวลา (วัน)	ค่า ΔE^*_{CIE94}												
	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12	pH13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	2	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
2	1	1	1	0	1	0	0	1	1	2	2	2	1
7	1	1	1	0	1	1	1	2	2	1	1	3	2
14	0	1	1	1	3	1	2	6	3	4	2	3	5

จากรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.2 พบว่า ช่วงพีเอช 1-4, 6-7 และ 11 มีค่าสีปรากฏและสีของรงควัตถุมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน การเปลี่ยนแปลงไม่เด่นชัดจนสังเกตด้วยตาได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าค่า ΔE^*_{CIE94} ที่พีเอชอื่นๆ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีแตกต่างที่เวลา 7 วัน (ยกเว้นพีเอช 12) และเริ่มเปลี่ยนแปลงของสีที่เวลา 14 วัน



รูปที่ 4.10 ค่า h_{ab} ที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 80 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่า ΔE^*_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบสีของรงควัตถุเมื่ออบกระดาษวัดพีเอชที่เตรียมขึ้น ที่อุณหภูมิ 80 °C เมื่อวัดที่เวลาต่าง ๆ เทียบกับเวลาเริ่มต้นของการเกิดสี (สีไม่มีความแตกต่างกัน ถ้าค่า ΔE^*_{CIE94} อยู่ในช่วง 1-2) (ตารางภาคผนวก ข3-ข4)

เวลา (วัน)	ค่า ΔE^*_{CIE94}												
	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12	pH13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	0	2	1	2	1	2	3	5
2	0	2	0	1	1	1	2	1	0	0	2	4	5
7	2	2	0	1	1	1	2	5	2	2	4	5	6
14	1	2	0	1	3	2	2	5	3	2	5	5	6

จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3 พบว่า ที่ระดับพีเอช 1-4 , 6-7 และ 10 มีค่าสีของรงควัตถุไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ที่พีเอช 5 และ 9 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่เวลาในการเก็บรักษา 14 วัน ที่พีเอช 8 และ 10 สีเปลี่ยนแปลงที่เวลา 7 วัน ในพีเอช 12 และ 13 พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่สังเกตได้ที่ 1 วัน

จากตารางที่ 4.2-4.3 สามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงสี ของกระดาษวัดพีเอช ที่อบด้วยอุณหภูมิ 40 °C และ 80 °C เท่ากับ 2 และ 1 อาทิตย์ ตามลำดับ กระดาษวัดพีเอชที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 °C มีระยะเวลาสั้น เนื่องมาจากความร้อนที่สูงกว่าทำลายโครงสร้างของสารรงควัตถุจากพืชทำให้สลายได้เร็วกว่า (Delgado และ Octavio, 2002)

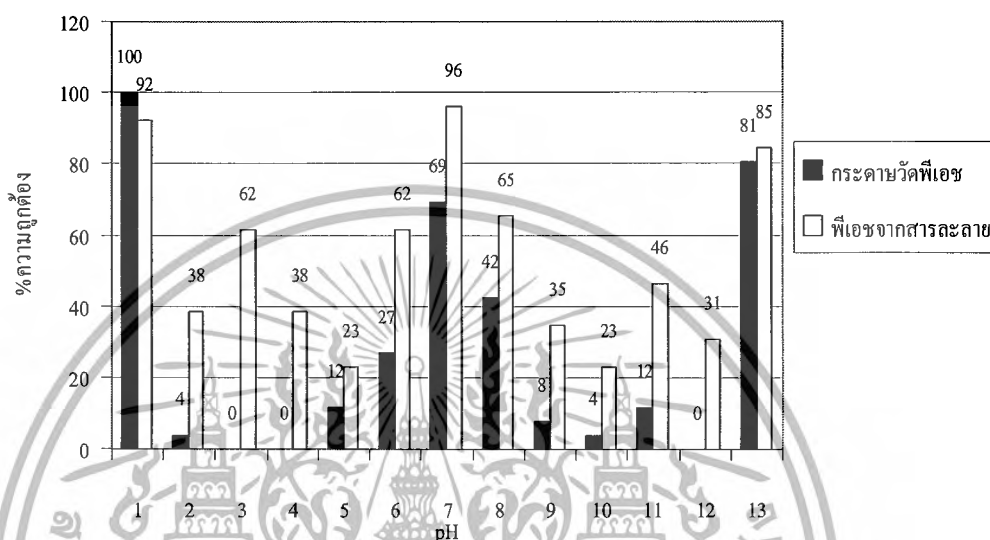
4.7 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น

ศึกษาประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอช ของกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น โดยทำกระดาษวัดพีเอช โดยการสกัดรงควัตถุจากอัญชัน 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้งด้วยน้ำ และชุบกระดาษกรองในสารละลายรงควัตถุ หลังจากกระดาษวัดพีเอชแห้งจึงทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง 26 คนในการอ่านค่าพีเอช ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางในภาคผนวก ฉ1 และรูปที่ 4.11

การศึกษานี้ประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชด้วยสารละลาย เตรียมสารละลายอัญชัน โดยใช้ดอกอัญชัน 1 กรัม น้ำหนักแห้ง มาบรจขูดขนาดเล็กวัดละ 2-3หยด จากนั้นหยดสารละลายบัพเฟอร์ 1-13 แต่ละพีเอชลงในแต่ละขวด หลังจากนั้นให้ผู้ทดสอบ 26 คน อ่านค่าพีเอชโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับสเกลสีมาตรฐานที่ได้ทำไว้ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางในภาคผนวก ฉ2 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการอ่านค่าพีเอชด้วยกระดาษวัดพีเอชและสารละลายที่ระดับพีเอชต่างๆ (n=26)

จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการอ่านค่าพีเอชด้วยกระดาษวัดพีเอชที่พีเอช 1 มีความถูกต้องในการอ่านค่าพีเอชสูงที่สุดเท่ากับ 100% และระดับพีเอชที่มีความถูกต้องในการอ่านค่าต่ำที่สุดคือพีเอช 3 4 และ 12 ซึ่งมีค่า 0% เนื่องจากสีที่ปรากฏที่พีเอช 3 กับ 4 และ พีเอชที่ 12 และ 13 มีสีใกล้เคียงกันมากทำให้ยากแก่ การที่สายตามนุษย์เปรียบเทียบความแตกต่าง

จากการอ่านค่าพีเอชในรูปสารละลายพบว่า สามารถใช้ได้กับสเกลสีมาตรฐานที่จัดเตรียมขึ้น โดยช่วงพีเอชเหมาะสมกับการใช้งานในพีเอชที่เป็นกรดถึงกลาง เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่สูงในช่วงนี้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจวัดค่าพีเอชในรูปกระดาษวัดพีเอช นอกจากนี้พบว่า การวัดค่าพีเอชในรูปสารละลายมีความถูกต้องมากกว่าในรูปกระดาษวัดพีเอช เนื่องจากรงควัตถุบนกระดาษวัดพีเอชละลายน้ำออกมาในขณะที่ทำการวัดพีเอชทำให้กระดาษวัดพีเอชจางลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นกับวิธีการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ และกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นกับวิธีการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ และกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการทดสอบกับน้ำตัวอย่างต่างๆ ได้แก่ แหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงปลา วัดค่าพีเอชด้วยกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงวัดพีเอชด้วยกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและพีเอชมิเตอร์ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่าการอ่านค่าพีเอชจากกระดาษวัดพีเอชที่จัดทำขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับการอ่านค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์และกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสีของกระดาษวัดพีเอชให้สีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในช่วงพีเอชที่เป็นกรดถึงกลาง ซึ่งน้ำตัวอย่างที่นำมาศึกษามีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าวทำให้ค่าพีเอชที่อ่านได้มีความถูกต้องเมื่อเทียบกับการอ่านค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์และกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ



ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นกับวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ และกระดาษวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ

ประเภทแหล่งน้ำ	ชื่อตัวอย่าง	pHจาก อัญชัน	pHpaper	pHmeter	
แหล่งเพาะเลี้ยง	ซังพันธุ์ปลา1	7-8	7	7.48	
	ซังพันธุ์ปลา2	7-8	8	8.4	
	จุกพันธุ์ปลา1	6	7	6.9	
	จุกพันธุ์ปลา2	7-8	8	7.7	
	บ่อเลี้ยงปลา1	6	7	7.6	
	บ่อเลี้ยงปลา2	7-8	8	7.4	
แหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	คลองประเวศบุรีรมย์บริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	7-8	8	7.3	
	สระน้ำบริเวณตึกโทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์	7-8	7	7.3	
	สระน้ำบริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	7-8	7	7.32	
	สระน้ำบริเวณหลังตึกA คณะวิศวกรรมศาสตร์	7-8	7	8.34	
	สระน้ำบริเวณหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	6	7	7.88	
	สระน้ำบริเวณตึก C ตึกเรียนรวมพระเทพ	6	8	7.55	
	สระน้ำบริเวณด้านข้างหอประชุมใหญ่	7-8	8	7.94	
	สระน้ำบริเวณด้านหน้าห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	7-8	7	7.34	
	น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ	น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์	7-8	8	6.8
		น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม	2	2	1.88
น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์		3	4	2.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุจากพืชโดยใช้น้ำและกรดซิตริก 0.01% ในเอทานอล พบว่าน้ำตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดรงควัตถุของพืช เมื่อศึกษาชนิดและพืชที่เหมาะสมในการจัดทำสเกลมาตรฐานโดยใช้พืช 4 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกแพงพวย บกสีชมพู ใบถั่วฝักยาว และใบหมากผู้หมากเมีย พบว่าดอกอัญชันเป็นพืชที่มีความเหมาะสมที่ใช้เป็นอินดิเคเตอร์มากที่สุด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสีชัดที่สุดในระดับพีเอชต่าง ๆ รองลงมาคือ ดอกแพงพวย บกสีชมพู ใบถั่วฝักยาว และใบหมากผู้หมากเมีย ตามลำดับ โดยปริมาณของพืช ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี แต่มีผลต่อความเข้มและความสว่างของสี การศึกษาความคงตัวของสีในการอ่านค่าพีเอชเพื่อความถูกต้องในการวัดค่าพีเอช อ่านภายในเวลาระยะเวลา 30 นาที จากการศึกษาลบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาศ 40 °C และ 80 °C พบว่ากระดาศที่ 40 °C กระดาศวัดพีเอชมีประสิทธิภาพดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก กระดาศวัดพีเอช ได้รับความร้อนที่สูงทำลายโครงสร้างของสารรงควัตถุจากพืชทำให้รงควัตถุสลายตัวอย่างรวดเร็ว ในการศึกษาประสิทธิภาพในการวัดค่าพีเอชโดยการเปรียบเทียบกับสเกลมาตรฐานที่เตรียมขึ้น โดยทำการทดลองใน 2 รูปแบบ คือ กระดาศวัดพีเอชและสารละลายรงควัตถุที่สกัดได้จากพืชพบว่า การวัดค่าพีเอชในรูปสารละลายมีความถูกต้องมากกว่าในรูปกระดาศวัดพีเอช เนื่องจากรงควัตถุบนกระดาศวัดพีเอช ละลายน้ำออกมาในขณะที่ทำการวัดพีเอชทำให้กระดาศวัดพีเอชจางลง ซึ่งประสิทธิภาพในการใช้งานของกระดาศวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้นเปรียบเทียบกับ การวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์และการใช้กระดาศวัดพีเอชที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการพบว่า ค่าพีเอชที่อ่านได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสีของกระดาศวัดพีเอชให้สีแตกต่างชัดเจนในช่วงพีเอชที่เป็นกรด-กลาง ซึ่งตัวอย่างที่นำมาศึกษาอยู่ในช่วงพีเอชดังกล่าว ดังนั้นมีความเหมาะสมในการใช้กระดาศวัดพีเอชที่จัดทำขึ้น วัดพีเอชของแหล่งน้ำทั่วไป แหล่งน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงปลา และน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาผลของโครงสร้างของรวงควดตุที่สกัดได้จากพืชที่ทำการศึกษา
- 2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของรวงควดตุที่สกัดได้ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการวัด
- 3) ควรศึกษารูปแบบการเตรียมกระดาษวัดพีเอชที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์, 2539

จूरिพร พิทักษ์ตระกูลศิริ และคณะ ,การศึกษาสมบัติการป้องกันการกัดก่อนโลหะของสารประกอบ
แอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วง, ปรินญาณิพนธ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ กรุงเทพฯ:
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539

ณรงค์ วุทธเสถียร, การปรับสภาพน้ำสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม , กรุงเทพฯ: บริษัทประชาชนจำกัด,
2540

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิศุทธิศักดิ์, คู่มือการวิเคราะห์น้ำเสีย , พิมพ์ครั้งที่ 3 , กรุงเทพฯ:
โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์, 2540

เพ็ญศรี ทองนพคุณ, ธนญา ตรึงตราจิตกุลม, วนาคณาวิวัฒน์, ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัด
สี, โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว, 2542

นพพร สงค์อ้อม, การสกัดและประยุกต์สารประกอบแอนโทไซยานิน, ปรินญาณิพนธ์ภาควิชา
เคมี คณะวิทยาศาสตร์ กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,
2539

นิธิยา รัตนापนนท์, เคมีอาหาร, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อินเดียนสโตร์, 2545

มันสิน ตัญทุลเวศม์, คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ , กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2540

วิทย์ เทียงบูรณธรรม, พจนานุกรมไม้ดอกไม้ประดับในเมืองไทย, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ : อักษร
พิทยา, 2542

ศุภาพร สุกสีเหลือง ,การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ , 2538

Bolívar, C.C.A and Luis, C.Z, “ **Stability of Anthocyanin-Based Aqueous Extracts of Andean
Purple Corn and Redeshed Sweet Potato Compared to Synthetic and Natural
Colorants**”, Food Chemistry, 86 ,69–77, 2004

Dean .J.A. (ed), **Lange’s Handbook of Chemistry**, 13th ed , New York, McGraw-Hill, 1985

Delgado Francisco and Paredes Octavio , **Natural Colorants for Food and Nutraceutical
Uses** , Florida; CRCpress.Inc, 2002

Filippini, R ; Caniato, R ; Piovan , A and Cappellati, EM., “**Production of Anthocyanins by
Catharanthus roseus**” , Fitoterapia., 74(1-2), 62-7, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Grube , O ; Dickmann , K. and Gundermann , R. , “ **The Pigment of Red Cabbage as an Indicator in the Range pH 8.5 -10**” ,Chem Abs , 37 , 1943
- Kohei Kazume ; Naonobu Noda and Masahiko Suzuki , “ **Malonylated flavonol glycosides from the Petal of *Clitoria ternatea***” , Photochemistry, 62,229-237, 2003
- Kurokawa, S ; Ario , M. and Koga ,T. , “ **Rad Cabbage as an Acid-base indicator**” , Chem. Abs. , 109 , 1988
- Jean-Francois Gonnet, “**Colour Effect of Co-pigmentation of Anthocyanins Revisited- 1. A Colorimetric Definition using the CIELAB scale**” , food chemistry, 63, 409-415, 1998
- Lewis ,E.C. and WalKer, R. L.J. , “ **Effect of Polysaccharides on the Colour of Anthocyanins**” , Analytical,Nutritional and Clicalmethodes Section, 0303-8146(95),00026-7, 1994
- Lide R. Devid (ed), **CRC Handbook of Chemistry and Physics**, 80th ed, New York ,CRC press, 2000
- Mazza. ,G. and Miniati. ,E. , **Anthocyanins in Fruits, Vegetables and Grains** , Florida , CRCpress.Inc, 1993
- Mozetic Branka , Trebse Polonca and Hribar Janez , “ **Determination and Quantitation of Anthocyanins and Hydroxycinnamic Acids in Different Cultivars of Sweet Cherries (*Prunus avium* L.) from Nova Gorica Region (Slovenia)**” , FoodTechnol, Biotechnol, 40(3) , 207-212, 2002
- Piovan Anna , Filippini Raffaella and Favretto Donata , “ **Characterization of the Anthocyanins of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don in Vivo and in Vitro by Electrospray ionization ion trap mass spectrometry**” , Rapid Communications in Mass Spectrometry , 12 (7) , 361 – 367, 1998
- Seung-Heui Kim and Seon-Kyu Kim, “ **Effects of 2,4-D, BA, and Sucrose on Growth, Production of Anthocyanin, pH, and Sugar Content in ‘Sheridan’ Grape Cell Suspension Cultures**” J. Plant Biotechnology, 4(2), 77-82, 2002
- Robert ,N ; Sam ,A.; Stewart and Karl ,H. Norris, “ **Anthocyanin and pH in the Color of ‘Heavenly Blue’ morning glory**” , Phytochemistry , 16(7) ,1118-1119,1977
- Wolf , F.T. , “ **Absorption Spectra of the Antrocyanin pigment of Red Cabbage : a natural wide-rage pH indicator**” , Chem Abs , 52 , 1956

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhong Zhaoqi ; Xuequn Pang ; Yang Chong ; Ji Zuoliang and Jiang Yueming , “ **Purification and Structural Analysis of Antrocyanins from Lichi pericarp**” , Food Chemistry , 84 , 601-604, 2004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่าเฉลี่ยค่า L^* a^* และ b^* ในการสกัดรงควัตถุจากพืชในตัวอย่างละลายต่างกัน

ตาราง ก1 ค่าเฉลี่ยค่า L^* a^* และ b^* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากดอกอัญชันปริมาณ 1 กรัมที่สกัดด้วยซิเตริก 0.01% ใน

เอทานอล

ค่าเฉลี่ย	pH												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
L^*	74.90±0.07	75.67±4.57	74.78±3.15	74.41±1.82	74.31±0.04	74.14±1.20	74.24±0.76	71.47±2.64	74.92±0.52	74.90±0.25	70.00±0.18	73.38±3.44	72.34±0.49
a^*	-0.35±0.13	-0.55±0.45	-0.37±0.06	-0.57±0.04	-0.83±0.16	-0.99±0.07	-1.24±0.14	-0.43±0.03	-1.37±0.05	-2.92±0.42	-1.47±0.04	-1.69±0.45	-2.56±1.35
b^*	-1.69±0.70	-1.34±2.14	-1.86±0.35	-1.84±0.26	-1.51±0.22	-1.56±0.14	-1.22±0.04	-1.60±0.23	-0.81±0.04	2.48±0.69	0.67±0.04	0.26±0.52	3.02±1.35

ตาราง ก2 ค่าเฉลี่ยค่า L^* a^* และ b^* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่างๆของรงควัตถุจากดอกอัญชันปริมาณ 1 กรัมที่สกัดด้วยน้ำ

ค่าเฉลี่ย	pH												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
L^*	55.85±3.91	54.82±7.09	54.37±3.39	53.17±4.47	55.05±2.20	54.33±3.98	54.93±1.20	55.46±0.76	57.75±2.64	55.80±0.52	53.26±0.25	56.31±0.18	56.26±0.50
a^*	21.34±3.68	11.92±2.26	5.58±1.75	2.01±0.74	-2.61±1.16	-8.49±0.95	-14.19±0.07	-12.53±0.14	-8.63±0.03	-9.71±0.05	-9.48±0.42	-7.72±0.04	-5.87±1.37
b^*	-8.23±1.77	-11.92±2.89	16.95±3.66	20.99±4.91	19.18±0.78	17.26±2.19	-12.02±0.14	-11.80±0.04	-3.34±0.23	0.79±0.04	1.29±0.69	2.89±0.04	5.36±3.93

ภาคผนวก ข

ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ของการตรวจวัดสีที่ปริมาณพืช 1-5 กรัมโดยพืชต่างชนิดกัน

ตาราง ข1 ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากดอกอัญชันที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	L*	55.85±	54.82±	54.37±	53.17±	55.05±	54.33±	54.93±	55.46±	57.75±	55.80±	53.26±	56.31±	56.26±
		3.91	7.09	3.39	4.47	2.20	3.98	1.20	0.76	2.64	0.52	0.25	0.18	0.50
	a*	21.34±	11.92±	5.58±	2.01±	-2.61±	-8.49±	-14.19±	-12.53±	-8.63±	-9.71±	-9.48±	-7.72±	-5.87±
		3.68	2.26	1.75	0.74	1.16	0.95	0.07	0.14	0.03	0.05	0.42	0.04	1.37
	b*	-8.23±	-11.92±	-16.95±	-20.99±	-19.18±	-17.26±	-12.02±	-11.80±	-3.34±	0.79±	1.29±	2.89±	5.36±
		1.77	2.89	3.66	4.91	0.78	2.19	0.14	0.04	0.23	0.04	0.69	0.04	3.93
2	L*	50.51±	47.21±	47.32±	45.86±	46.17±	49.11±	49.64±	46.18±	47.96±	45.88±	45.95±	50.02±	48.35±
		3.64	8.15	4.98	4.13	5.04	5.86	0.10	0.13	1.43	1.69	0.29	0.04	4.87
	a*	27.35±	12.41±	5.97±	3.41±	-2.52±	-7.87±	-15.11±	-13.46±	-14.19±	-10.82±	-10.45±	-8.73±	-6.74±
		3.64	2.07	2.88	2.39	1.63	2.44	0.04	0.05	0.05	0.13	0.28	0.06	1.94
	b*	-6.50±	-14.68±	-18.43±	-22.79±	-23.93±	-19.09±	-13.66±	-13.97±	-4.10±	0.74±	1.45±	2.72±	5.81±
		2.25	3.83	5.30	5.08	5.29	4.81	0.11	0.28	1.91	0.09	0.61	0.08	4.27
3	L*	47.73±	44.67±	45.84±	43.65±	42.11±	44.19±	42.47±	42.79±	43.79±	42.12±	42.25±	39.73±	41.27±
		6.08	6.78	8.02	5.52	5.02	5.15	0.94	0.09	0.86	2.06	0.59	0.02	4.54
	a*	28.00±	12.74±	6.81±	4.12±	-3.03±	-10.88±	-16.05±	-11.36±	-13.13±	-11.80±	-11.36±	-10.12±	-7.20±
		5.67	3.56	3.03	3.24	1.80	4.96	0.04	0.30	0.10	0.33	0.16	0.43	2.19
	b*	-7.33±	-15.64±	-19.66±	-24.52±	-23.62±	-18.17±	-14.73±	-15.78±	-4.64±	0.93±	1.02±	4.03±	6.70±
		1.39	4.28	5.55	6.35	4.72	3.55	0.08	0.75	0.04	1.28	0.35	0.46	3.58

ตาราง ข1(ต่อ) ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากดอกอัญชันที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	L*	45.84±	39.23±	41.79±	43.29±	38.00±	40.46±	38.86±	39.21±	37.56±	39.28±	40.36±	35.30±	39.17±
		6.16	6.37	8.90	6.96	6.28	4.88	0.11	0.08	0.02	0.43	4.04	0.59	6.89
	a*	27.99±	11.11±	10.13±	5.45±	-3.71±	-6.83±	-14.30±	-8.25±	-14.72±	-11.51±	-11.97±	-9.93±	-7.46±
		4.37	5.88	4.87	3.40	1.68	3.17	0.16	0.19	0.03	0.59	0.29	0.11	1.17
	b*	-7.35±	-20.85±	-21.27±	-17.85±	-27.55±	-22.26±	-15.28±	-19.32±	-5.24±	-0.30±	4.42±	3.61±	5.94±
		2.25	6.02	6.30	2.49	9.26	5.15	0.25	0.66	0.31	0.57	1.73	0.24	3.55
5	L*	42.71±	39.67±	38.12±	38.17±	38.43±	39.63±	39.64±	40.78±	40.23±	38.82±	39.37±	41.97±	41.17±
		6.03	7.77	3.98	5.86	4.45	9.23	3.81	3.93	0.49	5.59	1.52	0.80	10.77
	a*	31.25±	15.14±	11.29±	6.42±	-3.63±	-6.43±	-15.20±	-10.51±	-14.99±	-12.45±	-12.14±	-9.15±	-6.76±
		4.99	7.28	4.40	4.03	1.22	3.36	0.11	0.50	0.17	0.71	0.02	1.38	2.57
	b*	-3.68±	-20.88±	-24.30±	-25.77±	-26.51±	-23.24±	-16.19±	-18.59±	-7.00±	0.39±	3.61±	0.79±	6.70±
		7.19	6.89	3.15	7.15	5.86	5.93	0.64	1.12	0.95	1.20	0.45	2.64	7.39

ตาราง ข2 ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากดอกแพงพวยบกลีชมพูที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	L*	66.91±	71.19±	70.69±	71.55±	69.55±	70.10±	69.56±	72.06±	69.11±	68.56±	68.47±	70.52±	69.18±
		0.33	1.14	0.68	1.53	3.97	1.28	3.25	1.10	0.95	2.63	1.02	0.29	2.03
	a*	10.21±	2.71±	0.81±	-0.27±	-1.10±	-2.79±	-5.67±	-4.77±	-10.52±	-12.11±	-12.46±	-10.96±	-10.36±
		1.00	1.03	2.16	0.23	0.04	0.40	0.35	0.66	0.74	1.46	0.64	0.72	0.61
	b*	-5.20±	-2.27±	-0.60±	-1.62±	-1.24±	-0.01±	4.43±	3.42±	16.58±	21.92±	22.74±	20.90±	29.18±
		0.22	0.54	2.62	0.18	0.74	0.08	1.53	0.44	3.41	1.14	1.90	1.64	1.85
2	L*	63.18±	69.38±	68.17±	67.14±	68.89±	68.09±	68.28±	67.68±	64.54±	64.92±	65.78±	65.00±	65.97±
		3.21	1.15	2.65	1.02	1.29	3.29	2.16	2.28	2.81	2.13	2.83	2.16	1.79
	a*	13.07±	3.76±	1.46±	-0.36±	-0.90±	-3.17±	-7.49±	-4.48±	-13.44±	-14.99±	-3.87±	-14.21±	-11.71±
		2.66	0.36	0.13	0.58	0.33	0.48	0.20	0.61	1.62	0.92	16.83	1.40	0.37
	b*	-5.99±	-2.38±	-1.67±	-1.61±	-2.04±	0.68±	6.65±	3.18±	20.97±	27.16±	24.49±	29.51±	41.77±
		0.60	0.62	0.17	0.12	0.05	0.76	0.55	0.39	4.88	2.97	4.59	5.65	4.21
3	L*	58.25±	65.47±	65.00±	64.59±	67.00±	65.71±	61.50±	65.99±	64.63±	64.21±	64.51±	62.93±	63.57±
		0.24	0.84	1.68	3.72	2.14	2.34	4.37	1.79	1.71	1.22	0.84	2.16	1.18
	a*	16.86±	2.18±	1.71±	0.30±	-1.16±	-3.68±	-8.15±	-5.47±	-15.47±	-17.30±	-16.27±	-14.51±	-11.51±
		1.84	1.05	0.07	0.12	0.40	0.12	0.45	2.83	0.21	0.78	0.37	0.45	1.06
	b*	-6.63±	-1.86±	-1.15±	-1.13±	-1.41±	1.25±	7.61±	3.86±	23.69±	31.27±	27.81±	27.86±	45.41±
		0.45	0.56	0.29	0.62	1.00	0.76	0.63	2.63	0.36	2.52	1.56	2.35	4.22

ตาราง ข2 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากดอกแพงพวยบกสีชมพูที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	L*	56.07±	62.70±	65.88±	65.19±	65.31±	65.35±	63.22±	65.05±	63.08±	59.96±	60.58±	59.56±	62.28±
		2.97	2.76	1.61	0.50	1.25	2.29	3.52	1.60	2.44	1.38	1.78	2.64	1.73
	a*	13.72±	2.00±	2.12±	0.21±	-1.53±	-3.82±	-8.55±	-3.19±	-14.67±	-16.61±	-14.14±	-14.89±	-10.17±
		1.14	0.92	0.24	0.08	0.31	0.17	0.30	0.30	1.06	0.55	1.00	0.42	0.60
	b*	-5.91±	-1.34±	-1.03±	-1.26±	-0.51±	1.65±	8.13±	1.69±	21.06±	29.46±	20.97±	24.86±	46.65±
		0.05	0.89	0.70	0.46	0.42	0.66	0.16	0.69	2.75	0.89	3.89	6.93	5.02
5	L*	55.29±	65.43±	65.13±	65.52±	65.77±	64.67±	63.45±	62.08±	62.61±	62.60±	61.13±	61.83±	62.88±
		2.24	1.57	1.41	2.09	3.06	2.66	3.80	6.81	2.37	2.26	4.58	4.70	5.34
	a*	18.18±	3.98±	2.12±	0.70±	-0.73±	-3.21±	-9.38±	-3.61±	-15.73±	-17.44±	-16.37±	-15.16±	-10.26±
		3.00	0.48	0.28	0.12	0.66	0.43	0.86	1.09	0.52	1.17	1.10	0.18	1.02
	b*	-7.53±	-3.15±	-1.69±	-2.19±	-2.41±	0.13±	8.42±	1.42±	21.87±	28.22±	25.95±	28.29±	47.89±
		2.28	1.56	1.94	1.56	1.63	1.38	2.93	2.15	2.21	3.37	0.57	1.70	3.15

ตาราง ข3 ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากใบถั่วฝักยาวที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	L*	65.90±	65.01±	66.92±	68.63±	70.33±	69.92±	66.29±	67.86±	65.59±	63.04±	68.17±	67.40±	67.01±
		3.43	3.43	5.22	3.35	3.03	1.39	5.02	4.16	4.06	10.60	0.68	2.20	1.57
	a*	7.75±	2.13±	1.23±	0.33±	0.18±	-0.11±	-1.31±	-0.67±	-4.37±	-4.90±	-5.22±	-5.02±	-3.31±
		1.00	1.42	0.31	0.35	0.04	0.09	0.09	0.17	0.21	0.95	0.09	0.89	0.07
	b*	-1.75	-0.76±	-0.68±	0.17±	0.54±	1.06±	3.07±	1.65±	8.87±	10.58±	12.71±	13.86±	15.13±
		0.34	1.02	0.45	0.18	0.14	0.57	0.42	0.41	2.73	1.16	2.23	1.04	1.89
2	L*	61.49±	66.61±	65.25±	68.42±	70.58±	68.64±	65.86±	67.97±	67.67±	62.76±	66.53±	65.94±	62.49±
		7.19	4.59	6.35	2.26	1.99	2.10	5.74	3.95	3.96	4.24	4.17	1.43	5.62
	a*	8.77±	4.49±	2.56±	1.31±	0.54±	0.37±	-1.18±	-0.18±	-4.84±	-4.97±	-5.83±	-5.24±	-3.17±
		0.60	0.96	0.30	0.32	0.41	0.15	0.66	0.22	1.49	2.47	0.98	0.50	0.41
	b*	-1.82±	-0.65±	-0.04±	1.39±	1.06±	1.27±	3.38±	2.50±	11.01±	12.68±	14.58±	16.84±	21.08±
		0.15	0.24	0.39	0.23	1.12	0.76	2.53	0.94	4.30	7.37	3.05	2.50	2.29

ตาราง ข3 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากใบถั่วฝักยาวที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	L*	62.31±	64.59±	62.70±	65.50±	61.49±	62.31±	64.64±	64.00±	63.63±	60.81±	61.40±	61.52±	59.61±
		1.37	0.45	4.52	3.93	0.27	4.32	3.45	2.23	2.63	5.64	2.31	5.19	3.68
	a*	13.87±	4.75±	2.96±	2.31±	0.51±	0.68±	-0.17±	-0.48±	-5.18±	-5.11±	-4.63±	-5.60±	-1.91±
		1.11	1.79	0.58	0.20	2.21	1.48	0.23	0.41	0.64	1.72	1.66	0.91	0.16
	b*	0.36±	2.66±	3.65±	4.45±	3.88±	5.20±	7.12±	6.13±	18.34±	19.97±	16.14±	22.35±	26.50±
		0.20	1.18	1.23	0.69	1.35	1.14	0.73	1.31	0.65	4.36	2.32	3.30	6.28
4	L*	59.69±	60.81±	63.81±	59.94±	61.76±	54.95±	55.90±	55.22±	50.61±	56.23±	52.85±	58.37	59.53±
		3.59	0.77	2.75	6.67	3.32	9.44	4.02	3.78	3.48	8.86	9.89	3.55	0.70
	a*	14.14±	6.44±	4.51±	2.80±	2.72±	1.60±	-0.22±	-0.70±	-4.59±	-5.25±	-3.56±	-4.97±	-1.53±
		1.00	0.32	0.19	0.67	0.32	0.45	0.23	0.57	0.85	1.35	1.44	0.11	0.70
	b*	-0.17±	2.66±	3.92±	3.89±	4.50±	3.67±	6.66±	5.86±	15.44±	15.99±	13.05±	22.40±	29.14±
		0.43	0.47	0.59	0.88	0.86	0.99	1.52	1.45	2.24	5.54	3.21	3.20	2.64

ตาราง ข4 ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากใบหมากผู้หมากเมียที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	L*	70.28±	72.50±	72.50±	71.68±	71.94±	71.75±	71.55±	72.24±	71.46±	70.71±	70.66±	69.06±	70.56±
		0.74	0.74	0.46	0.34	0.44	0.94	1.41	0.90	1.41	1.10	1.42	3.88	2.17
	a*	4.65±	1.32±	-0.29±	-0.58±	-0.75±	-1.47±	-3.31±	-3.26±	-7.10±	-8.86±	-7.72±	-7.35±	-5.59±
		1.00	1.44	1.10	0.41	0.21	0.19	0.29	0.08	0.40	0.61	0.58	1.75	0.33
	b*	1.31±	2.42±	2.25±	2.70±	3.00±	4.22±	8.24±	6.52±	15.80±	23.91±	20.11±	22.92±	21.41±
		2.45	2.14	1.78	2.00	2.44	2.67	2.95	3.47	2.63	3.98	7.83	7.09	8.63
2	L*	65.51±	68.19±	69.92±	65.81±	69.78±	68.04±	65.96±	62.62±	67.01±	64.90±	67.95±	66.34±	56.57±
		2.15	3.86	0.97	2.26	1.40	1.91	4.11	4.93	1.26	2.82	0.99	1.21	-
	a*	7.80±	1.72±	0.20±	-0.28±	-0.40±	-1.24±	-3.47±	-1.85±	-7.64±	-6.16±	-7.86±	-6.99±	-4.88±
		0.94	0.29	0.17	0.17	0.07	0.07	0.17	0.17	0.47	2.97	0.22	0.36	-
	b*	0.83±	1.29±	3.08±	2.36±	3.50±	2.91±	6.22±	5.38±	19.51±	21.89±	22.25±	25.46±	24.66±
		1.42	1.15	0.42	0.95	0.86	1.45	4.48	0.55	3.48	0.40	0.72	1.79	-
3	L*	63.84±	69.19±	68.09±	64.77±	63.61±	67.52±	63.35±	65.42±	63.31±	66.76±	66.38±	66.95±	60.57±
		4.43	1.44	0.90	4.67	1.45	2.50	4.77	6.40	3.92	0.43	0.49	0.37	9.09
	a*	10.57±	1.76±	0.61±	0.21±	-0.02±	-0.81±	-3.17±	-1.35±	-7.45±	-8.20±	-8.10±	-7.18±	-4.80±
		1.89	0.78	0.33	0.29	0.24	0.12	0.22	0.44	1.08	0.64	0.55	0.32	0.54
	b*	1.18±	5.14±	3.82±	3.88±	3.73±	6.44±	8.78±	6.92±	19.52±	19.04±	18.96±	26.58±	36.66±
		0.61	0.45	1.11	0.13	0.53	1.21	0.25	0.90	4.93	10.17	10.12	3.48	6.36

ตาราง ข4 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากใบหมากผู้หมากเมียที่สกัดน้ำในปริมาณ 1-5 กรัม

ปริมาณ (กรัม)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	L*	61.69±	63.20±	67.36±	66.56±	66.83±	60.21±	62.36±	63.87±	62.10±	61.56±	63.52±	61.70±	63.24±
		1.63	5.82	2.23	0.52	3.22	6.05	5.03	4.54	4.39	4.79	5.41	6.35	3.88
	a*	14.88±	2.53±	1.48±	1.06±	0.89±	-0.20±	-2.49±	-0.38±	-7.97±	-8.33±	-8.04±	-7.00±	-4.33±
		3.94	0.90	0.87	0.66	0.58	0.18	0.26	0.26	1.14	1.36	1.19	0.36	0.55
	b*	0.63±	2.89±	4.60±	4.43±	4.40±	4.73±	7.25±	5.79±	19.20±	21.33±	20.01±	27.76±	31.21±
		1.07	1.18	1.76	2.09	2.11	1.05	0.82	0.70	3.23	4.54	4.39	0.90	4.89
5	L*	59.02±	63.04±	61.57±	64.83±	63.65±	59.87±	62.46±	57.94±	57.77±	54.08±	57.89±	61.50±	58.10±
		2.44	1.73	4.33	0.98	3.19	7.57	0.71	6.92	4.80	3.47	10.01	6.42	2.20
	a*	17.26±	3.79±	2.56±	2.13±	1.96±	0.54±	-1.49±	-0.15±	-7.45±	-6.64±	-5.33±	-6.87±	-3.33±
		4.00	0.32	0.20	0.15	0.34	0.24	0.44	0.15	2.23	1.97	0.45	0.67	0.65
	b*	4.20±	6.66±	6.64±	6.23±	7.38±	6.96±	10.74±	5.59±	22.20±	7.62±	19.32±	30.26±	34.65±
		1.63	2.01	1.99	0.81	1.44	1.83	2.44	2.33	1.44	23.40	2.08	2.39	4.02

ภาคผนวก ก

ผลการศึกษานิตพีชที่เหมาะสมในการจัดทำสเกลสีมาตรฐาน

ตาราง ก ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากพืชทั้ง 4 ชนิดที่ปริมาณ 1 กรัม

ชนิดพืช	ค่าเฉลี่ย	pH												
		1	2	s3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ดอก อัญชัน	L*	55.85± 3.91	54.82± 7.09	54.37± 3.39	53.17± 4.47	55.05± 2.20	54.33± 3.98	54.93± 1.20	55.46± 0.76	57.75± 2.64	55.80± 0.52	53.26± 0.25	56.31± 0.18	56.26± 0.50
	a*	21.34± 3.68	11.92± 2.26	5.58± 1.75	2.01± 0.74	-2.61± 1.16	-8.49± 0.95	-14.19± 0.07	-12.53± 0.14	-8.63± 0.03	-9.71± 0.05	-9.48± 0.42	-7.72± 0.04	-5.87± 1.37
	b*	-8.23± 1.77	-11.92± 2.89	-16.95± 3.66	-20.99± 4.91	-19.18± 0.78	-17.26± 2.19	-12.02± 0.14	-11.80± 0.04	-3.34± 0.23	0.79± 0.04	1.29± 0.69	2.89± 0.04	5.36± 3.93
	L*	66.91± 0.33	71.19± 1.14	70.69± 0.68	71.55± 1.53	69.55± 3.97	70.10± 1.28	69.56± 3.25	72.06± 1.10	69.11± 0.95	68.56± 2.63	68.47± 1.02	70.52± 0.29	69.18± 2.03
	a*	10.21± 1.00	2.71± 1.03	0.81± 2.16	-0.27± 0.23	-1.10± 0.04	-2.79± 0.40	-5.67± 0.35	-4.77± 0.66	-10.52± 0.74	-12.11± 1.46	-12.46± 0.64	-10.96± 0.72	-10.36± 0.61
	b*	-5.20± 0.22	-2.27± 0.54	-0.60± 2.62	-1.62± 0.18	-1.24± 0.74	-0.01± 0.08	4.43± 1.53	3.42± 0.44	16.58± 3.41	21.92± 1.14	22.74± 1.90	20.90± 1.64	29.18± 1.85
ดอก แพงพวย บกสี ชมพู	L*	66.91± 0.33	71.19± 1.14	70.69± 0.68	71.55± 1.53	69.55± 3.97	70.10± 1.28	69.56± 3.25	72.06± 1.10	69.11± 0.95	68.56± 2.63	68.47± 1.02	70.52± 0.29	69.18± 2.03
	a*	10.21± 1.00	2.71± 1.03	0.81± 2.16	-0.27± 0.23	-1.10± 0.04	-2.79± 0.40	-5.67± 0.35	-4.77± 0.66	-10.52± 0.74	-12.11± 1.46	-12.46± 0.64	-10.96± 0.72	-10.36± 0.61
	b*	-5.20± 0.22	-2.27± 0.54	-0.60± 2.62	-1.62± 0.18	-1.24± 0.74	-0.01± 0.08	4.43± 1.53	3.42± 0.44	16.58± 3.41	21.92± 1.14	22.74± 1.90	20.90± 1.64	29.18± 1.85

ตาราง ค (ต่อ) ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ของรงควัตถุจากพืชทั้ง 4 ชนิดที่ปริมาณ 1 กรัม

ชนิดพืช	ค่าเฉลี่ย	pH												
		1	2	s3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ใบถั่ว ผสม	L*	65.90± 3.43	65.01± 3.43	66.92± 5.22	68.63± 3.35	70.33± 3.03	69.92± 1.39	66.29± 5.02	67.86± 4.16	65.59± 4.06	63.04± 10.60	68.17± 0.68	67.40± 2.20	67.01± 1.57
	a*	7.75± 1.00	2.13± 1.42	1.23± 0.31	0.33± 0.35	0.18± 0.04	-0.11± 0.09	-1.31± 0.09	-0.67± 0.17	-4.37± 0.21	-4.90± 0.95	-5.22± 0.09	-5.02± 0.89	-3.31± 0.07
	b*	-1.75± 0.34	-0.76± 1.02	-0.68± 0.45	0.17± 0.18	0.54± 0.14	1.06± 0.57	3.07± 0.42	1.65± 0.41	8.87± 2.73	10.58± 1.16	12.71± 2.23	13.86± 1.04	15.13± 1.89
	L*	70.28± 0.74	72.50± 0.74	72.50± 0.46	71.68± 0.34	71.94± 0.44	71.75± 0.94	71.55± 1.41	72.24± 0.90	71.46± 1.41	70.71± 1.10	70.66± 1.42	69.06± 3.88	70.56± 2.17
	a*	4.65± 1.00	1.32± 1.44	-0.29± 1.10	-0.58± 0.41	-0.75± 0.21	-1.47± 0.19	-3.31± 0.29	-3.26± 0.08	-7.10± 0.40	-8.86± 0.61	-7.72± 0.58	-7.35± 1.75	-5.59± 0.33
	b*	1.31± 2.45	2.42± 2.14	2.25± 1.78	2.70± 2.00	3.00± 2.44	4.22± 2.67	8.24± 2.95	6.52± 3.47	15.80± 2.63	23.91± 3.98	20.11± 7.83	22.92± 7.09	21.41± 8.63

ภาคผนวก ง

การเปรียบเทียบความแตกต่างของสีในแต่ละระดับพีเอชด้วยวิธี

CIE 94 Color Difference Equation

แสดงวิธีการคำนวณค่า dE^*_{CIE94} ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีในแต่ละพีเอช
วิธี CIE 94 Color Difference Equation ในการเปรียบเทียบว่าสีแต่ละพีเอชมีความแตกต่างกันมาก
น้อยเพียงใดเพื่อใช้ในการจัดทำสเกลมาตรฐาน

$$dE^*_{CIE94} = \left[\left(\frac{dL^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{dC^*}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{dH^*}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (91)$$

เมื่อ $S_L=1$

$$S_C=1+0.045C^*$$

$$S_H=1+0.015C^*$$

โดยให้ค่า $k_L=2$ และ $k_H=k_C=1$ โดยถ้า $dE^*=1-2$ หน่วย หมายความว่าสีเหมือนกัน

ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบความแตกต่างของสีที่ระดับพีเอช 1 และพีเอช 2 ซึ่งค่าสีที่ระดับพีเอช 1
มีค่า $a^*=21.34$ $b^*=-8.23$ และ $L^*=55.85$ ค่าสีที่ระดับพีเอช 2 มีค่า $a^*=-11.92$ $b^*=-11.92$ และ $L^*=$
54.82

ที่ระดับพีเอช 1

$$\begin{aligned} C^* &= (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \\ &= (21.34^2 + (-8.23)^2)^{1/2} \\ &= 22.84 \end{aligned} \quad (92)$$

$$\begin{aligned} h_{ab} &= \tan^{-1}(b^*/a^*) \\ &= \tan^{-1}(-8.23/21.34) \end{aligned} \quad (93)$$

= -0.37 หรือ -21.10 เมื่อแปลค่าเป็นมุมโดยการคูณด้วย $180/\pi$ (ในที่นี้เลือกใช้ค่า -
21.10 เพื่อการสร้างกราฟและใช้ค่า -0.37 ในกรคำนวณค่า E_{CIE94})

การคำนวณค่า C^* และ h_{ab} ที่ระดับพีเอช 1-13 ณ เวลาต่างๆ สามารถคำนวณเช่นเดียวกันดัง
แสดงในตารางภาคผนวก ง 1

การคำนวณค่า ΔE_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีที่ระดับพีเอช 1 และพีเอช 2
โดยที่ระดับพีเอช 1 มีค่า $C^*=22.84$, $h_{ab}=-0.37$ และที่ระดับพีเอช 2 มีค่า $C^*=16.86$, $h_{ab}=-0.79$
(ค่ามาจากการคำนวณเช่นเดียวกับข้างต้น)

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 \quad (94)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} &= 1.03 \\ \Delta C^* &= C^*_1 - C^*_2 \\ &= 22.84 - 16.86 \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} &= 6.01 \\ \Delta h &= h_1 - h_2 \\ &= -0.37 - (-0.79) \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2 \sin(\Delta h/2) \times (C1^* \times C2^*)^{1/2} \\ &= 2 \sin(0.42/2) \times (22.84 \times 16.86) \\ &= 8.14 \end{aligned} \quad (37)$$

การคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh_b และ ΔH ที่ระดับพีเอช 1-13 ณ เวลาต่างๆสามารถคำนวณเช่นเดียวกัน

$$\Delta E_{CIE94} = \left\{ \left\{ \frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right\}^2 + \left\{ \frac{\Delta C^*}{k_C S_C} \right\}^2 + \left\{ \frac{\Delta H^*}{k_H S_H} \right\}^2 \right\} \quad (38)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีที่ระดับพีเอช 1 พบว่า

$$\begin{aligned} S_L &= 1 \\ S_C &= 1 + 0.045 C^* \\ &= 1 + 0.045(22.84) \\ &= 2.03 \\ S_H &= 1 + 0.015 C^* \\ &= 1 + 0.015(22.84) \\ &= 1.34 \end{aligned}$$

โดยให้ค่า $k_L = 2$ และ $k_H = k_C = 1$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \Delta E_{CIE94} &= \left\{ \left\{ \frac{1.03}{2 \times 1} \right\}^2 + \left\{ \frac{6.01}{1 \times 2.03} \right\}^2 + \left\{ \frac{8.14}{1 \times 1.34} \right\}^2 \right\} \\ \Delta E_{CIE94} &= 7 \text{ ซึ่งหมายความว่าสีที่ระดับพีเอช 1 และ 2 มีความแตกต่างกัน} \end{aligned}$$

การคำนวณค่า S_L , S_C , S_H และ ΔE_{CIE94} ที่ระดับพีเอชต่างๆสามารถคำนวณเช่นเดียวกัน โดยค่า S_C และ S_H คำนวณจากค่า C^* ที่ระดับพีเอชที่ต้องการเปรียบเทียบ ผลการคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ง1-ง2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง1 ผลการคำนวณค่า C^* , h_{ab} , S_H และ S_c

pH	C^*	h_{ab}	S_c	S_H
1	22.87	-0.37	2.029	1.343
2	16.86	-0.79	1.759	1.253
3	17.84	-1.25	1.803	1.268
4	21.08	-1.48	1.949	1.316
5	19.36	1.436	1.871	1.29
6	19.23	1.114	1.865	1.288
7	18.6	0.703	1.837	1.279
8	17.21	0.755	1.774	1.258
9	9.248	0.369	1.416	1.139
10	9.739	-0.08	1.438	1.146
11	9.562	-0.13	1.43	1.143
12	8.24	-0.36	1.371	1.124
13	7.953	-0.74	1.358	1.119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางง2 ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* และ ΔE_{CIE94}

ระดับพีเอช ตัวอย่างมาตรฐาน	ระดับพีเอช ตัวอย่าง	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
1	2	1.03	6.01	0.42	8.14	7
	3	1.47	5.03	0.88	17.29	13
	4	2.68	1.79	1.11	23.09	17
	5	0.80	3.51	-1.80	-33.02	25
	6	1.52	3.64	-1.48	-28.31	21
	7	0.91	4.27	-1.07	-21.05	16
	8	0.39	5.66	-1.12	-21.14	16
	9	-1.91	13.62	-0.74	-10.48	10
	10	0.05	13.13	-0.29	-4.28	7
	11	2.59	13.31	-0.23	-3.44	7
	12	-0.47	14.63	-0.01	-0.14	7
	13	-0.41	14.92	0.37	4.98	8
	2	3	0.45	-0.99	0.47	8.03
4		1.65	-4.23	0.69	12.74	10
5		-0.23	-2.50	-2.22	-32.37	26
6		0.49	-2.37	-1.90	-29.28	23
7		-0.11	-1.74	-1.49	-23.99	19
8		-0.63	-0.35	-1.54	-23.73	19
9		-2.93	7.61	-1.15	-13.63	12
10		-0.98	7.12	-0.70	-8.85	8
11		1.56	7.30	-0.65	-8.12	7
12		-1.49	8.62	-0.43	-5.00	6
13		-1.44	8.90	-0.05	-0.53	4
3	4	1.21	-3.24	0.22	4.30	4
	5	-0.67	-1.52	-2.69	-36.22	29
	6	0.05	-1.39	-2.37	-34.30	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.2 (ต่อ) ตารางผลการคำนวณ ค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* และ ΔE_{CIE94}

ระดับพีเอช ตัวอย่างมาตรฐาน	ระดับพีเอช ตัวอย่าง	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
3	7	-0.56	-0.75	-1.96	-30.22	24
	8	-1.08	0.64	-2.01	-29.57	23
	9	-3.38	8.60	-1.62	-18.63	15
	10	-1.42	8.10	-1.17	-14.58	12
	11	1.11	8.28	-1.12	-13.86	12
	12	-1.94	9.60	-0.89	-10.49	10
	13	-1.88	9.89	-0.51	-6.04	7
4	5	-1.88	1.72	-2.91	-40.14	31
	6	-1.16	1.85	-2.59	-38.74	29
	7	-1.77	2.48	-2.18	-35.10	27
	8	-2.29	3.88	-2.23	-34.21	26
	9	-4.59	3.88	-2.23	-25.08	19
	10	-2.63	11.34	-1.39	-18.40	15
	11	-0.09	11.52	-1.34	-17.64	15
	12	-3.15	12.84	-1.12	-13.97	12
	13	-3.09	13.13	-0.74	-9.31	10
	5	6	0.72	0.13	0.32	6.19
7		0.12	0.76	0.73	13.59	11
8		-0.41	2.15	0.68	12.17	10
9		-2.71	10.11	1.07	13.60	12
10		-0.75	9.62	1.52	18.88	15
11		1.79	9.80	1.57	19.24	16
12		-1.27	11.12	1.79	19.74	16
13		-1.21	11.41	2.18	21.98	18
6	7	-0.61	0.63	0.41	7.71	6
	8	-1.13	2.02	0.36	6.48	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.2 (ต่อ) ตารางผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* และ ΔE_{CIE94}

ระดับพีเอช ตัวอย่างมาตรฐาน	ระดับพีเอช ตัวอย่าง	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
6	9	-3.43	9.98	0.74	9.70	9
	10	-1.47	9.49	1.19	15.39	13
	11	1.07	9.67	1.25	15.85	13
	12	-1.99	10.99	1.47	16.90	14
	13	-1.93	11.28	1.85	19.78	16
7	8	-0.52	1.39	-0.05	-0.94	1
	9	-2.82	9.35	0.33	4.36	6
	10	-0.87	8.86	0.78	10.28	9
	11	1.67	9.04	0.84	10.85	10
	12	-1.38	10.36	-1.06	12.53	11
	13	-1.32	10.65	1.44	16.07	14
8	9	-2.30	7.96	0.39	4.84	6
	10	-0.34	7.47	0.84	10.51	9
	11	2.19	7.64	0.89	11.05	10
	12	-0.86	8.97	1.11	12.58	11
	13	-0.80	9.25	1.50	15.91	13
9	10	1.96	-0.49	0.45	4.23	4
	11	4.49	-0.31	0.50	4.69	4
	12	1.44	1.01	0.73	6.21	6
	13	1.50	1.30	1.11	9.03	8
10	11	2.54	0.18	0.05	0.52	0
	12	-0.52	1.50	0.28	2.48	2
	13	-0.46	1.79	0.66	5.70	5
11	12	-3.05	1.32	0.22	1.98	2
	13	-3.00	1.61	0.61	5.20	5
12	13	0.06	0.29	0.38	3.07	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ค่า L* a* และ b* ที่เปลี่ยนแปลง ณ เวลาต่าง ๆ หลังการเกิดสี

ตาราง จ1 ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการอ่านค่าสีที่ระดับพีเอชต่างๆของรงควัตถุจากพืชที่เวลาต่างๆหลังการเกิดสี

เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	L*	55.33±	48.94±	56.53±	56.04±	52.29±	54.03±	58.01±	57.13±	49.95±	54.48±	55.13±	58.88±	52.39±
		3.10	10.31	1.42	2.16	1.63	4.89	1.02	2.71	11.39	2.15	0.65	1.22	5.51
	a*	19.29±	9.58±	5.83±	1.13±	-5.55±	-6.67±	-9.65±	-9.44±	-10.38±	-9.27±	-8.77±	-6.11±	-5.57±
		1.00	3.08	2.58	0.51	0.08	5.62	1.04	1.14	0.27	1.64	1.85	1.87	1.12
	b*	-8.19±	-12.50±	-16.46±	-17.16±	-18.56±	-16.25±	-9.27±	-14.33±	-4.20±	0.01±	0.18±	0.77±	-3.37±
		0.58	3.08	0.67	0.68	1.48	1.89	0.86	3.99	0.59	1.11	0.83	0.71	5.81
5	L*	55.49±	53.55±	56.20±	56.09±	52.98±	52.74±	57.18±	56.14±	50.75±	56.39±	55.86±	57.47±	61.33±
		1.58	4.08	1.01	1.52	0.98	2.60	0.99	4.23	4.60	1.97	2.86	3.05	2.64
	a*	19.22±	10.58±	5.94±	1.78±	-2.16±	-7.21±	-10.28±	-10.53±	-9.89±	-8.12±	-7.72±	-5.82±	-3.44±
		5.31	1.92	0.70	0.23	0.14	0.72	0.32	1.44	0.45	1.40	0.05	0.67	0.44
	b*	-8.04±	-11.28±	-15.96±	-17.90±	-18.31±	-16.96±	-9.60±	-12.44±	-2.73±	0.67±	1.34±	1.42±	10.33±
		0.79	1.15	1.18	1.15	2.40	1.94	0.51	3.80	2.12	0.45	0.20	0.59	0.73

ตาราง จ1 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b*. ในการอ่านค่าสีที่ระดับพีเอชต่างๆของรงควัตถุจากพืชที่เวลาต่างๆหลังการเกิดสี

เวลา (นาทึ)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	L*	58.42± 1.75	51.96± 3.94	54.66± 3.51	57.19± 2.98	52.85± 2.74	52.28± 3.44	59.98± 0.47	58.20± 4.07	54.46± 3.07	58.65± 2.53	57.03± 1.15	56.15± 3.01	67.20± 0.56
	a*	18.26± 1.30	10.85± 2.51	6.10± 0.76	1.40± 0.32	-2.04± 0.24	-6.87± 0.73	-9.59± 0.87	-10.38± 0.56	-9.93± 0.90	-7.93± 0.47	-6.39± 0.50	-5.15± 0.64	-1.75± 0.10
	b*	-8.56± 0.50	-10.71± 1.74	-15.85± 1.78	-16.99± 1.26	-18.48± 0.58	-16.51± 2.01	-9.13± 0.63	-11.89± 2.59	-4.54± 2.37	0.70± 0.55	0.98± 0.26	1.50± 0.62	20.61± 0.48
30	L*	58.72± 0.82	55.07± 4.10	53.60± 2.14	57.60± 1.60	56.16± 1.72	54.49± 1.89	59.43± 2.04	58.89± 3.36	53.77± 3.57	58.08± 0.76	56.64± 1.51	58.70± 1.26	68.95± 1.54
	a*	16.55± 1.91	10.92± 2.88	4.74± 0.45	0.88± 0.19	-2.18± 0.20	-7.25± 1.14	-9.66± 1.04	-10.39± 1.20	-9.37± 1.19	-7.25± 0.57	-6.00± 0.37	-4.99± 0.26	-2.14± 0.64
	b*	-8.77± 0.54	-10.70± 1.51	-14.60± 1.09	-15.08± 1.28	-18.66± 1.97	-17.31± 3.02	-9.14± 0.83	-11.54± 1.84	-3.39± 0.34	0.39± 0.61	0.86± 0.51	1.58± 0.91	19.97± 1.73
60	L*	56.47± 1.02	56.08± 3.87	54.13± 1.37	54.25± 4.70	55.39± 1.49	53.84± 2.03	57.60± 2.57	57.34± 2.92	51.64± 8.77	58.70± 1.21	59.61± 2.69	61.52± 2.34	50.20± 34.46
	a*	13.58± 0.75	12.47± 0.40	5.72± 0.73	1.22± 0.20	-2.10± 0.06	-6.90± 0.52	-8.74± 0.62	-10.02± 1.19	-8.76± 0.27	-7.08± 0.71	-6.00± 0.33	-4.90± 0.49	-3.24± 0.13
	b*	-8.97± 0.39	-11.34± 0.64	-15.44± 1.89	-16.21± 0.36	-19.04± 0.58	-16.47± 1.70	-9.27± 0.74	-11.10± 2.28	-4.87± 2.36	0.32± 0.18	1.56± 0.67	3.13± 1.30	19.31± 0.43

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณความแตกต่างของสีที่ตรวจวัดที่เวลาหลังการเกิดสีต่าง ๆ ด้วยวิธี วิธี

CIE 94 Colour Difference Equation

ตัวอย่างเช่น ที่ระดับพีเอช 1 ที่เวลาเริ่มต้นมีค่า $a^* = 19.29$ $b^* = -8.19$ และ $L^* = 55.33$

$$\begin{aligned} C^* &= (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} & (ฉ1) \\ &= (19.29^2 + (-8.19)^2)^{1/2} \\ &= 29.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{ab} &= \text{tang}^{-1}(b^*/a^*) & (ฉ2) \\ &= \text{tang}^{-1}(-8.19/19.29) \\ &= -0.40 \text{ หรือ } -23.02 \text{ เมื่อแปรค่าเป็นมุมโดยการคูณด้วย } 180/\pi \text{ (ในที่นี้เลือกใช้ค่า } - \end{aligned}$$

23.02 เพื่อการสร้างกราฟและใช้ค่า -0.40 ในการคำนวณค่า ΔE_{CIE94})

การคำนวณค่า C^* และ h_{ab} ที่ระดับพีเอช 1-13 ณ เวลาต่างๆสามารถคำนวณเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางในภาคผนวก ฉ1

การคำนวณค่า ΔE_{CIE94} เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาเริ่มต้นและที่เวลา 5 นาที โดยที่เวลา 5 นาที มีค่า $a^* = 19.22$ $b^* = -8.04$ และ $L^* = 55.49$ และ $C^* = 20.83$, $h_{ab} = -0.40$ (ค่ามาจากการคำนวณเช่นเดียวกับข้างต้น)

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L^*_1 - L^*_2 & (ฉ3) \\ &= 55.33 - 55.49 \\ &= -0.16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta C^* &= C^*_1 - C^*_2 & (ฉ4) \\ &= 29.25 - 20.83 \\ &= 0.12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_1 - h_2 \\ &= -0.40 - (-0.40) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2 \sin(\Delta h/2) \times (C1^* \times C2^*)^{1/2} & (ฉ5) \\ &= 2 \sin(0/2) \times (29.25 \times 20.83) \\ &= -0.12 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta E_{CIE94} = \left\{ \frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right\}^2 + \left\{ \frac{\Delta C^*}{k_C S_C} \right\}^2 + \left\{ \frac{\Delta H^*}{k_H S_H} \right\}^2 \quad (จ6)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีเมื่อเวลาเริ่มต้นพบว่า

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045C^* \quad (จ7)$$

$$= 1 + 0.045(29.25)$$

$$= 1.94$$

$$S_H = 1 + 0.015C^* \quad (จ8)$$

$$= 1 + 0.015(29.25)$$

$$= 1.31$$

โดยให้ค่า $k_L = 2$ และ $k_H = k_C = 1$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

$$\text{ดังนั้น } \Delta E_{CIE94} = \left\{ \frac{-0.16}{2 \times 1} \right\}^2 + \left\{ \frac{0.12}{1 \times 1.94} \right\}^2 + \left\{ \frac{-0.12}{1 \times 1.31} \right\}^2$$

$$\Delta E_{CIE94} = 0 \text{ ซึ่งหมายความว่าสีไม่มีความแตกต่างกัน}$$

การคำนวณค่า S_L , S_C , S_H และ ΔE_{CIE94} ที่ระดับพีเอช 1-13 ณ เวลาต่างๆ สามารถคำนวณเช่นเดียวกัน

ซึ่งการเปรียบเทียบทำการเปรียบเทียบสีที่เวลาเริ่มต้นกับระยะเวลาในการตรวจวัดอื่นๆ โดยค่า S_C

และ S_H คำนวณจากค่า C^* ที่เวลาเริ่มต้น

ผลการคำนวณแสดงในตาราง ท1-ท2

ตาราง ฉ1 ผลการคำนวณค่า S_H และ S_c

pH	S_c	S_H
1	1.943	1.314
2	1.709	1.236
3	1.786	1.262
4	1.774	1.258
5	1.872	1.291
6	1.79	1.263
7	1.602	1.201
8	1.772	1.257
9	1.504	1.168
10	1.417	1.139
11	1.395	1.132
12	1.277	1.092
13	1.293	1.098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ๒ ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^*

pH	เวลา (นาที)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
1	0	20.95	-0.40					0
	5	20.83	-0.40	-0.16	0.12	-0.01	-0.12	0
	15	20.17	-0.44	-3.09	0.79	0.04	0.76	1
	30	15.28	-0.49	-3.39	5.67	0.09	1.53	3
	60	16.28	-0.58	-1.14	4.68	0.18	3.36	3
2	0	15.75	-0.92					0
	5	15.47	-0.82	-4.61	0.28	-0.10	-1.79	1
	15	15.25	-0.78	-3.02	0.50	-0.14	-2.47	2
	30	15.28	-0.71	-6.13	0.46	-0.21	-3.72	3
	60	15.42	-0.79	-7.14	0.32	-0.12	-2.20	2
3	0	17.46	-1.23	0	0.00	0.00	0.00	0
	5	17.03	-1.21	0.34	0.44	-0.02	-0.31	0
	15	16.99	-1.25	1.88	0.48	0.02	0.38	0
	30	15.35	-1.26	2.93	2.12	0.03	0.54	1
	60	16.46	-1.22	2.40	1.00	-0.01	-0.26	1
4	0	17.19	-1.50					0
	5	17.99	-1.47	-0.06	-0.79	-0.03	-0.60	1
	15	17.04	-1.49	-1.15	0.15	-0.02	-0.29	0
	30	15.11	-1.51	-1.56	2.08	0.01	0.13	1
	60	16.26	-1.50	1.79	0.93	-0.01	-0.16	0
5	0	19.37	1.28					0
	5	18.43	1.45	-0.69	0.94	-0.17	-3.30	3
	15	18.59	1.46	-0.56	0.79	-0.18	-3.40	3
	30	17.59	1.45	-3.87	1.79	-0.17	-3.27	3
	60	18.82	1.46	-3.10	0.55	-0.18	-3.13	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ๓2 (ต่อ) ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^*

pH	เวลา (นาที)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
6	0	17.56	1.18					0
	5	18.43	1.17	1.29	-0.87	0.01	0.22	0
	15	17.88	1.18	1.75	-0.32	0.00	0.08	0
	30	18.77	1.17	-0.45	-1.20	0.01	0.12	1
	60	17.86	1.17	0.19	-0.29	0.01	0.12	0
7	0	13.38	0.77					0
	5	14.07	0.75	0.83	-0.69	0.01	0.27	0
	15	13.24	0.76	-1.97	0.14	0.01	0.09	0
	30	13.24	0.76	-1.42	0.14	0.01	0.15	0
	60	12.74	0.81	0.41	0.64	-0.05	-0.78	1
8	0	17.16	0.99					0
	5	16.30	0.87	0.99	0.86	0.12	1.84	2
	15	15.79	0.85	-1.07	1.37	0.14	2.06	2
	30	15.53	0.84	-1.76	1.63	0.15	2.30	2
	60	14.96	0.84	-0.21	2.20	0.15	2.33	2
9	0	11.20	0.38					0
	5	10.26	0.27	-0.80	0.94	0.11	1.85	2
	15	10.92	0.43	-4.51	0.28	-0.04	-0.71	1
	30	9.96	0.35	-3.82	1.24	0.04	0.59	1
	60	10.03	0.51	-1.69	1.18	-0.12	-1.94	2
10	0	9.27	0.00					0
	5	8.14	-0.08	-1.91	1.13	0.08	1.28	1
	15	7.96	-0.09	-4.16	1.31	0.09	1.38	1
	30	7.26	-0.05	0.71	2.01	0.05	0.90	1
	60	7.09	-0.05	-4.22	2.18	0.04	0.74	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ๑2.(ต่อ) ตาราง ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , Δh_{ab} และ ΔC^*

pH	เวลา (นาที)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
11	0	8.78	-0.02					0
	5	7.58	-0.22	-0.73	1.20	0.20	3.15	3
	15	6.46	-0.15	-1.90	2.31	0.13	2.03	2
	30	6.07	-0.14	-1.51	2.71	0.12	1.89	2
	60	6.20	-0.25	-4.48	2.57	0.23	3.63	3
12	0	6.16	-0.13					0
	5	5.99	-0.24	1.41	0.17	0.11	1.87	2
	15	5.36	-0.28	2.73	0.79	0.16	2.57	2
	30	5.23	-0.31	0.18	0.92	0.18	2.78	3
	60	5.81	-0.57	-2.64	0.34	0.44	6.76	6
13	0	6.51	0.54					0
	5	10.89	-1.25	-8.94	-4.38	1.79	25.68	24
	15	20.68	-1.49	-14.80	-14.17	2.03	27.57	26
	30	20.08	-1.46	-16.56	-13.57	2.01	27.35	26
	60	19.58	-1.40	2.20	-13.07	1.95	25.26	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกระดาษฟิเชอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพการวัดที่เวลาต่าง ๆ

ตาราง ข1 ค่าเฉลี่ยค่า L^* , a^* และ b^* ในการตรวจวัดค่าสีของรงควัตถุที่เวลาในการเก็บรักษาต่าง ๆ ณ ระดับฟิเชอร์ต่างกัน เมื่อใช้อุณหภูมิ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในการอบกระดาษกรอง

เวลา (วัน)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	L^*	52.82±	51.99±	49.19±	48.85±	52.53±	54.25±	50.92±	48.99±	54.62±	54.56±	54.02±	45.71±	54.75±
		3.89	4.86	3.66	5.28	2.67	3.10	2.55	8.01	2.63	8.66	2.31	0.18	2.21
	a^*	18.45±	14.91±	7.13±	2.81±	-1.37±	-7.09±	-13.40±	-13.09±	-10.15±	-7.86±	-7.26±	-6.80±	-6.70±
		2.81	0.01	0.35	1.01	0.22	0.07	0.95	0.43	0.06	0.44	0.23	0.48	0.95
	b^*	-7.72±	-11.76±	-15.84±	-18.51±	-16.76±	-16.32±	-11.19±	-9.70±	-2.62±	0.43±	2.29±	1.42±	2.38±
		0.31	0.42	0.13	2.47	0.93	0.01	0.43	0.30	0.19	0.03	0.63	0.54	1.61
1	L^*	55.92±	51.63±	55.15±	55.79±	50.77±	54.90±	50.98±	53.77±	49.24±	52.61±	56.01±	55.19±	51.80±
		5.13	0.11	2.56	5.98	0.23	0.73	2.10	3.85	10.59	0.83	2.26	4.00	3.15
	a^*	17.38±	11.05±	7.08±	2.40±	-1.38±	-7.63±	-13.99±	-13.30±	-10.38±	-8.88±	-8.12±	-7.35±	-6.90±
		0.21	0.41	0.45	1.57	0.42	0.30	0.28	1.82	1.27	2.22	0.27	0.22	0.30
	b^*	-7.83±	-9.19±	-15.02±	-16.70±	-17.39±	-16.79±	-10.99±	-9.88±	-2.06±	0.96±	3.25±	1.92±	2.64±
		0.21	0.41	0.45	1.57	0.42	0.30	0.28	1.82	1.27	2.22	0.27	0.22	0.30

ตาราง ข1 (ต่อ)ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b*ในการตรวจวัดค่าสีของรงควัตถุที่เวลาในการเก็บรักษาต่าง ๆ ณ ระดับพีเอชต่างกัน เมื่อใช้อุณหภูมิ 40 °C ในการอบกระชายกรอง

เวลา (วัน)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	L*	52.33±	48.88±	48.97±	51.96±	53.53±	48.50±	52.27±	53.85±	54.86±	51.46±	52.13±	56.55±	56.69±
		0.33	0.54	1.44	0.35	4.53	8.87	0.83	1.77	0.94	3.90	2.21	3.83	1.92
	a*	20.91±	14.64±	7.26±	2.89±	-1.46±	-6.92±	-13.33±	-14.22±	-10.27±	-9.60±	-8.68±	-7.07±	-5.79±
		1.10	1.77	0.85	0.09	0.49	0.13	1.43	2.06	1.27	0.76	0.50	0.18	0.47
	b*	-7.77±	-12.62±	-15.02±	-19.06±	-19.42±	-16.78±	-10.82±	-10.44±	-2.05±	1.84±	3.58±	2.51±	1.66±
		0.21	0.42	0.83	0.33	2.93	0.12	0.95	0.93	0.18	0.37	0.48	0.08	0.21
7	L*	54.70±	53.49±	52.62±	47.77±	53.03±	53.17±	53.58±	55.64±	55.60±	57.61±	52.65±	52.49±	56.62±
		1.82	1.41	2.84	1.82	2.86	1.61	2.37	0.51	3.54	0.79	2.59	4.31	0.81
	a*	17.13±	15.23±	6.65±	3.14±	-2.22±	-8.00±	-14.34±	-12.24±	-10.69±	-9.67±	-8.09±	-8.54±	-5.70±
		4.19	0.17	0.65	0.91	0.21	0.30	1.15	0.27	0.86	0.83	0.26	0.39	0.10
	b*	-7.28±	-10.91±	-14.05±	-19.15±	-18.11±	-16.91±	-10.76±	-12.06±	-3.88±	0.00±	3.19±	3.49±	2.82±
		1.13	0.11	1.04	2.55	0.42	0.73	1.31	1.24	0.18	0.37	0.73	0.03	0.24
14	L*	56.52±	46.59±	54.13±	54.19±	55.58±	50.81±	51.74±	53.18±	54.44±	55.82±	53.02±	57.04±	52.82±
		4.28	4.60	1.85	3.28	3.62	2.11	1.52	4.87	0.10	0.39	1.73	0.47	4.43
	a*	17.79±	13.10±	6.48±	1.89±	-4.42±	-8.74±	-14.37±	-9.28±	-14.17±	-6.10±	-9.09±	-7.69±	-6.77±
		1.03	1.38	0.46	0.79	0.16	0.21	1.58	0.16	1.91	7.19	0.27	0.44	0.40
	b*	-7.47±	-10.35±	-13.67±	-15.79±	-15.67±	-17.16±	-8.60±	-16.41±	-5.70±	-1.04±	4.13±	3.22±	4.88±
		0.09	0.81	0.88	1.89	0.01	1.35	1.00	0.83	0.59	0.04	0.28	0.42	0.21

ตาราง ข3 ค่าเฉลี่ยค่า L* a* และ b* ในการตรวจวัดค่าสีของรงควัตถุที่เวลาในการเก็บรักษาต่างๆ ณ ระดับพีเอชต่างกัน เมื่อใช้อุณหภูมิ 80 °C ในการอบกระดาศกรอง

เวลา (วัน)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	L*	54.26±	56.49±	52.70±	51.97±	52.83±	52.34±	48.74±	54.64±	52.44±	55.49±	54.10±	54.00±	54.37±
		1.38	0.14	0.35	0.78	0.57	3.15	2.74	0.26	5.11	2.68	5.97	6.64	2.17
	a*	21.92±	13.63±	7.27±	2.62±	-1.79±	-7.55±	-11.94±	-12.27±	-10.89±	-9.24±	-8.30±	-8.01±	-6.31±
		4.64	0.06	2.04	0.76	0.04	0.58	0.32	1.94	0.33	0.23	0.35	1.15	1.18
	b*	-8.36±	-10.76±	-14.64±	-20.22±	-19.10±	-18.01±	-10.09±	-8.56±	-2.01±	1.33±	2.74±	1.96±	1.71±
		0.22	0.23	5.31	2.23	0.83	0.97	0.42	1.74	0.57	0.13	0.51	0.45	0.99
1	L*	56.80±	54.91±	53.25±	53.74±	53.37±	53.15±	55.01±	55.04±	51.81±	55.45±	51.11±	53.71±	50.45±
		1.90	1.59	0.80	4.09	2.52	0.77	1.64	2.90	2.76	5.85	1.07	1.44	2.32
	a*	24.13±	15.41±	6.73±	2.44±	-1.76±	-8.17±	-14.61±	-14.28±	-12.85±	-8.91±	-9.53±	-8.02±	-6.20±
		3.88	1.33	0.61	0.62	0.20	0.30	0.53	1.11	0.40	0.00	0.88	0.09	0.35
	b*	-7.84±	-11.22±	-14.58±	-17.89±	-20.84±	-18.11±	-11.59±	-9.89±	-0.72±	1.99±	4.41±	3.97±	4.08±
		3.88	1.33	0.61	0.62	0.20	0.30	0.53	1.11	0.40	0.00	0.88	0.09	0.35
2	L*	55.56±	53.71±	53.39±	52.03±	46.71±	53.14±	50.39±	51.64±	53.38±	48.37±	51.50±	50.01±	52.23±
		9.54	3.01	0.93	5.69	4.63	1.39	6.15	0.67	1.80	1.61	1.27	5.83	1.65
	a*	19.87±	16.50±	7.65±	2.82±	-1.29±	-7.37±	-14.69±	-14.58±	-11.25±	-8.50±	-8.05±	-7.37±	-7.01±
		1.92	0.54	0.23	0.19	0.15	1.33	0.35	0.81	0.41	0.35	1.49	1.04	0.47
	b*	-7.50±	-11.33±	-15.37±	-18.70±	-18.28±	-17.04±	-11.38±	-9.97±	-1.90±	1.22±	3.66±	4.04±	4.44±
		0.06	0.88	0.69	0.16	2.83	1.33	0.34	0.03	0.62	0.14	1.68	1.20	-

ตาราง ข3 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยค่า L^* , a^* และ b^* ในการตรวจวัดค่าสีของรงควัตถุที่เวลาในการเก็บรักษาต่าง ๆ ณ ระดับพีเอชต่างกัน เมื่อใช้อุณหภูมิ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในการอบกระดาศกรอง

เวลา (วัน)	ค่า เฉลี่ย	pH												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	L^*	56.35±	54.16±	55.20±	52.95±	53.42±	54.19±	53.28±	50.12±	54.44±	53.46±	53.36±	53.77±	52.35±
		0.95	1.44	0.63	1.36	0.65	0.25	1.83	0.89	0.57	1.73	4.67	1.39	1.55
	a^*	20.39±	15.41±	7.06±	2.54±	-2.16±	-8.22±	-15.40±	-11.35±	-13.94±	-8.99±	-9.04±	-7.89±	-6.98±
		0.28	1.81	0.54	0.62	0.07	0.27	1.12	0.42	0.63	0.37	0.93	0.66	0.69
	b^*	-7.95±	-10.44±	-14.72±	-18.09±	-19.97±	-16.50±	-11.13±	-15.13±	-3.27±	0.20±	5.78±	4.59±	5.00±
		0.68	0.76	0.18	1.53	0.95	1.40	0.31	0.62	0.70	0.76	0.90	0.36	0.78
14	L^*	53.93±	54.18±	53.38±	51.29±	51.52±	53.83±	56.59±	52.98±	53.92±	53.55±	50.64±	50.85±	58.65±
		0.11	4.98	5.90	4.77	5.18	1.75	1.50	4.51	3.50	3.32	1.05	2.15	1.12
	a^*	22.92±	13.10±	7.56±	2.66±	-4.55±	-8.81±	-13.96±	-8.99±	-14.30±	-12.36±	-10.69±	-7.79±	-6.23±
		3.22	1.56	0.91	0.38	0.21	0.23	0.67	1.82	1.26	1.34	0.22	0.69	0.01
	b^*	-7.54±	-8.34±	-15.13±	-18.00±	-17.38±	-16.30±	-9.43±	-13.93±	-4.95±	0.58±	7.43±	4.51±	4.14±
		0.30	0.10	1.35	0.87	0.42	0.59	0.54	0.13	0.28	0.90	0.60	1.15	1.22

ภาคผนวก ข

การคำนวณความแตกต่างของสีที่เวลาต่าง ๆ ของกระดาษวัดพีเอชที่อบ ณ อุณหภูมิ 40 °C และ 80 °C ด้วยวิธี วิธี CIE 94 Colour Difference Equation

ตัวอย่างเช่น ที่ระดับพีเอช 1 ของกระดาษวัดพีเอชที่อบ ณ อุณหภูมิ 40 °C เวลาเริ่มต้นมีค่า $L^* = 52.82$ $a^* = 18.45$ และ $b^* = -7.72$ ณ เวลาเริ่มต้น

$$\begin{aligned} C^* &= (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} & (\text{ข1}) \\ &= (18.45^2 + (-7.72)^2)^{1/2} \\ &= 20.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{ab} &= \tan^{-1}(b^*/a^*) & (\text{ข2}) \\ &= \tan^{-1}(-7.72/18.45) \end{aligned}$$

= -0.40 หรือ -22.71 เมื่อแปลค่าเป็นมุม โดยการคูณด้วย $180/\pi$ (ในที่นี้เลือกใช้ค่า -22.71 เพื่อการสร้างกราฟและใช้ค่า -0.40 ในการคำนวณค่า ΔE_{CIE94})

การคำนวณค่า C^* และ h_{ab} ที่ระดับพีเอช 1-13 ณ เวลาต่าง ๆ สามารถคำนวณเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการคำนวณของสีจากกระดาษวัดพีเอชที่อบ ณ 40 °C และ 80 °C แสดงดังตารางข2 และข4 ตามลำดับ

การคำนวณค่าสีของกระดาษกรองที่อบ ณ 40 °C ในระดับพีเอช 1 ค่า ΔE_{CIE94} เมื่อเปรียบที่เวลาเริ่มต้นและที่เวลา 1 วัน โดยที่เวลา 1 วันมีค่า $L^* = 55.92$ $a^* = 17.38$ $b^* = -7.83$ และ $C^* = 19.06$, $h_{ab} = -0.43$ (ค่ามาจากการคำนวณเช่นเดียวกับข้างต้น)

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L^*_1 - L^*_2 & (\text{ข3}) \\ &= 52.82 - 55.92 \\ &= -3.10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta C^* &= C^*_1 - C^*_2 & (\text{ข4}) \\ &= 20.00 - 19.06 \\ &= 0.94 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_1 - h_2 & (\text{ข5}) \\ &= -0.40 - (-0.43) \\ &= 0.03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2 \sin(\Delta h/2) \times (C1^* \times C2^*)^{1/2} & (\text{ข6}) \\ &= 2 \sin(0/2) \times (20.00 \times 19.06) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.53$$

การคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh_{ab} และ ΔH ที่ระดับพีเอช 1-13 ณ เวลาต่าง ๆ สามารถคำนวณเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการคำนวณของสี่จากกระดาษวัดพีเอชที่อบ ณ 40°C และ 80°C แสดงดังตาราง ๗2 และ ๗4 ตามลำดับ

$$\Delta E_{\text{CIE94}} = \left\{ \left[\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right]^2 + \left[\frac{\Delta C^*}{k_C S_C} \right]^2 + \left[\frac{\Delta H^*}{k_H S_H} \right]^2 \right\} \quad (๗7)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีเมื่อเวลาเริ่มต้น ณ ระดับพีเอช 1 ของกระดาษวัดพีเอชที่อบ ณ 40°C พบว่า

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045C^* \quad (๗8)$$

$$= 1 + 0.045(20.00)$$

$$= 1.9$$

$$S_H = 1 + 0.015C^* \quad (๗9)$$

$$= 1 + 0.015(20.00)$$

$$= 1.3$$

โดยให้ค่า $k_L = 2$ และ $k_H = k_C = 1$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

$$\text{ดังนั้น } \Delta E_{\text{CIE94}} = \left\{ \left[\frac{-3.10}{2 \times 1} \right]^2 + \left[\frac{0.94}{1 \times 1.9} \right]^2 + \left[\frac{0.53}{1 \times 1.3} \right]^2 \right\}$$

$$\Delta E_{\text{CIE94}} = 1 \text{ ซึ่งหมายความว่าสีไม่มีความแตกต่างกัน}$$

การคำนวณค่า S_L , S_C , S_H และ ΔE_{CIE94} ที่ระดับพีเอช 1-13 ณ เวลาต่าง ๆ สามารถคำนวณเช่นเดียวกัน ซึ่งการเปรียบเทียบทำการเปรียบเทียบสีที่เวลาเริ่มต้นกับระยะเวลาในการตรวจวัดอื่นๆ โดยค่า S_C และ S_H คำนวณจากค่า C^* ที่เวลาเริ่มต้น ซึ่งผลการคำนวณของสี่จากกระดาษวัดพีเอชที่อบ ณ 40°C และ 80°C แสดงดังตาราง ๗1 - ๗4 ตามลำดับ

ตาราง ซ1 ผลการคำนวณค่า S_H และ S_c เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 40 °C

pH	S_c	S_H
1	1.900	1.300
2	1.854	1.285
3	1.782	1.261
4	1.842	1.281
5	1.756	1.252
6	1.801	1.267
7	1.785	1.262
8	1.733	1.244
9	1.472	1.157
10	1.354	1.118
11	1.342	1.114
12	1.313	1.104
13	1.320	1.107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข2 ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^* เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 40 C°

pH	เวลา (วัน)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
1	0	20.00	-0.40					0
	1	19.06	-0.42	-3.10	0.94	0.03	0.53	1
	2	22.30	-0.36	0.49	-2.30	-0.04	-0.86	1
	7	18.73	-0.40	-1.87	1.27	0.01	0.11	1
	14	19.29	-0.40	-3.70	0.71	0.00	0.02	0
2	0	18.98	-0.67					0
	1	14.37	-0.69	0.36	4.61	0.03	0.44	2
	2	19.32	-0.71	3.11	-0.34	0.04	0.86	1
	7	18.73	-0.62	-1.50	0.25	-0.05	-0.96	1
	14	16.69	-0.67	5.40	2.29	0.00	-0.02	1
3	0	17.37	-1.15	0	0.00	0.00	0.00	0
	1	16.61	-1.13	-5.97	0.77	-0.02	-0.32	0
	2	16.68	-1.09	0.22	0.69	-0.06	-1.08	1
	7	15.54	-1.13	-3.44	1.83	-0.02	-0.40	1
	14	15.12	-1.13	-4.94	2.25	-0.02	-0.37	1
4	0	18.72	-1.42					0
	1	16.87	-1.43	-6.94	1.85	0.01	0.14	1
	2	19.27	-1.42	-3.11	-0.55	0.00	0.00	0
	7	19.40	-1.41	1.08	-0.68	-0.01	-0.23	0
	14	15.90	-1.45	-5.35	2.82	0.03	0.59	1
5	0	16.81	1.49					0
	1	17.44	1.49	1.76	-0.63	0.00	-0.04	0
	2	19.47	1.50	-1.01	-2.66	-0.01	-0.12	1
	7	18.11	1.45	-0.50	-1.29	0.04	0.73	1
	14	16.28	1.30	-3.06	0.53	0.19	3.95	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข2 (ต่อ) ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^* เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 40 C°

pH	เวลา (วัน)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
6	0	17.79	1.16	0	0.00	0.00	0.00	0
	1	18.44	1.14	-0.65	-0.65	0.02	0.34	0
	2	18.14	1.18	5.75	-0.36	-0.02	-0.34	0
	7	18.70	1.13	1.08	-0.91	0.03	0.66	1
	14	19.25	1.10	3.44	-1.46	0.06	1.25	1
7	0	17.45	0.70					0
	1	17.79	0.67	-0.05	-0.34	0.03	0.59	0
	2	17.17	0.68	-1.35	0.28	0.01	0.27	0
	7	17.17	0.64	-2.66	0.28	0.05	1.01	1
	14	16.74	0.54	-0.81	0.71	0.16	2.98	2
8	0	16.29	0.64					0
	1	16.56	0.64	-4.79	-0.27	0.00	-0.02	0
	2	17.64	0.63	-4.86	-1.35	0.00	0.08	1
	7	17.18	0.78	-6.66	-0.89	-0.14	-2.62	2
	14	18.85	1.06	-4.19	-2.56	-0.42	-7.34	6
9	0	10.48	0.25	0	0.00	0.00	0.00	0
	1	10.58	0.20	5.39	-0.10	0.06	1.00	1
	2	10.47	0.20	-0.24	0.01	0.06	0.98	1
	7	11.37	0.35	-0.98	-0.89	-0.10	-1.84	2
	14	15.27	0.38	0.18	-4.79	-0.13	-2.16	3
10	0	7.87	-0.05	0	0.00	0.00	0.00	0
	1	8.93	-0.11	1.95	-1.06	0.05	1.01	1
	2	9.77	-0.19	3.10	-1.90	0.13	2.42	2
	7	9.67	0.00	-1.05	-1.80	-0.05	-1.00	1
	14	6.18	0.17	-1.26	1.69	-0.22	-3.99	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข2 (ต่อ) ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^* เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 40 °C

pH	เวลา	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
11	0	7.61	-0.31					0
	1	8.74	-0.38	-1.99	-1.14	0.08	1.24	1
	2	9.38	-0.39	1.89	-1.78	0.09	1.65	2
	7	8.69	-0.38	1.37	-1.08	0.07	1.32	1
	14	9.98	-0.43	1.01	-2.38	0.12	2.16	2
12	0	6.95	-0.21					0
	1	7.59	-0.26	-9.48	-0.65	0.05	0.90	1
	2	7.50	-0.34	-10.84	-0.55	0.14	2.41	2
	7	9.22	-0.39	-6.78	-2.28	0.18	3.05	3
	14	8.34	-0.40	-11.33	-1.39	0.19	3.14	3
13	0	7.11	-0.34					0
	1	7.39	-0.36	2.95	-0.28	0.02	0.37	0
	2	6.02	-0.28	-1.94	1.08	-0.06	-0.96	1
	7	6.36	-0.46	-1.87	0.75	0.12	1.82	2
	14	8.34	-0.62	1.93	-1.24	0.28	5.36	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข3 ผลการคำนวณค่า S_H และ S_c เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 80 °C

pH	S_c	S_H
1	2.06	1.35
2	1.78	1.26
3	1.74	1.25
4	1.92	1.31
5	1.86	1.29
6	1.88	1.29
7	1.70	1.23
8	1.67	1.22
9	1.50	1.17
10	1.42	1.14
11	1.39	1.13
12	1.37	1.12
13	1.29	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข4 ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^* เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 80 °C

pH	เวลา (วัน)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
1	0	23.46	-0.36					0
	1	25.37	-0.31	-2.54	-1.91	-0.05	-1.22	1
	2	21.24	-0.36	-1.30	2.22	0.00	-0.07	1
	7	18.61	-0.37	-2.10	4.85	0.01	0.16	2
	14	24.12	-0.32	0.33	-0.66	-0.05	-1.11	1
2	0	17.37	-0.67					0
	1	19.06	-0.63	1.59	-1.70	-0.04	-0.82	1
	2	20.01	-0.60	2.78	-2.64	-0.07	-1.44	2
	7	18.61	-0.57	2.33	-1.25	-0.10	-2.03	2
	14	15.53	-0.57	2.31	1.84	-0.10	-1.93	2
3	0	16.34	-1.11					0
	1	16.05	-1.14	-0.55	0.29	0.03	0.55	0
	2	17.16	-1.10	-0.68	-0.82	-0.01	-0.18	0
	7	16.32	-1.12	-2.50	0.02	0.01	0.32	0
	14	16.91	-1.11	-0.67	-0.57	0.00	-0.05	0
4	0	20.38	-1.44					0
	1	18.05	-1.44	-1.77	2.33	-0.01	-0.14	1
	2	18.91	-1.42	-0.06	1.47	-0.02	-0.45	1
	7	18.27	-1.43	-0.98	2.12	-0.01	-0.23	1
	14	18.19	-1.42	0.68	2.19	-0.02	-0.39	1
5	0	19.18	1.48				0.00	0
	1	20.91	1.49	-0.55	-1.73	-0.01	-0.18	1
	2	18.33	1.50	6.12	0.86	-0.02	-0.46	1
	7	17.70	1.46	-0.59	1.49	0.01	0.30	1
	14	17.97	1.31	1.31	1.22	0.16	3.23	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ซ4 (ต่อ) ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^* เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 80 °C

pH	เวลา (วัน)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
6	0	19.52	1.17					0
	1	19.86	1.15	-0.81	-0.34	0.03	0.51	0
	2	18.57	1.16	-0.81	0.96	0.01	0.22	1
	7	18.43	1.11	-1.85	1.09	0.07	1.34	1
	14	18.53	1.08	-1.49	1.00	0.10	1.96	2
7	0	15.63	0.70					0
	1	18.64	0.67	-6.27	-3.01	0.03	0.58	2
	2	18.58	0.66	-1.65	-2.95	0.04	0.79	2
	7	18.58	0.63	-4.54	-2.95	0.08	1.45	2
8	14	16.84	0.59	-7.85	-1.21	0.11	2.28	2
	0	14.96	0.61					0
	1	17.37	0.61	-0.41	-2.41	0.00	0.06	1
	2	17.66	0.60	3.00	-2.71	0.01	0.18	1
	7	18.91	0.93	4.52	-3.95	-0.32	-5.89	5
	14	16.57	1.00	1.66	-1.62	-0.39	-6.56	5
9	0	11.07	0.18					0
	1	12.86	0.06	0.63	-1.79	0.13	2.19	2
	2	11.41	0.17	-0.94	-0.33	0.02	0.28	0
	7	14.31	0.23	-2.00	-3.24	-0.05	-0.97	2
	14	15.13	0.33	-1.48	-4.06	-0.15	-3.22	3
10	0	9.33	-0.14					0
	1	9.13	-0.22	0.03	0.20	0.08	1.64	1
	2	8.59	-0.14	7.12	0.75	0.00	0.00	0
	7	8.99	-0.02	1.05	0.34	-0.12	-2.38	2
	14	12.37	-0.05	1.94	-3.04	-0.10	-1.89	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ๗4 (ต่อ) ผลการคำนวณค่า ΔL^* , ΔC^* , Δh , ΔH^* , ΔE_{CIE94} , h_{ab} และ ΔC^* เมื่ออบกระดาษวัดพีเอช ณ อุณหภูมิ 80 °C

pH	เวลา (วัน)	C*	h_{ab}	ΔL^*	ΔC^*	Δh	ΔH^*	ΔE_{CIE94}
11	0	8.74	-0.32					0
	1	10.49	-0.43	2.99	-1.76	0.11	2.08	2
	2	8.84	-0.43	2.61	-0.10	0.11	2.00	2
	7	10.73	-0.57	0.74	-1.99	0.25	4.47	4
	14	13.01	-0.61	3.47	-4.28	0.29	4.72	5
12	0	8.24	-0.24					0
	1	8.94	-0.46	0.29	-0.70	0.22	3.65	3
	2	8.40	-0.50	3.98	-0.16	0.26	4.50	4
	7	9.13	-0.53	0.23	-0.88	0.29	5.57	5
	14	8.99	-0.52	3.15	-0.75	0.28	5.34	5
13	0	6.53	-0.26					0
	1	7.42	-0.58	3.91	-0.88	0.32	5.57	5
	2	8.30	-0.56	2.14	-1.77	0.30	5.22	5
	7	8.58	-0.62	2.02	-2.05	0.36	6.42	6
	14	7.47	-0.59	-4.28	-0.94	0.32	6.18	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของกระดวยวัดพีเอชและสเกลสีมาตรฐานที่จัดเตรียมขึ้น

ตาราง ฉ1 ผลทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของกระดวยวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น ซึ่งทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง 26 คน

คนที่	pH												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	2	3	4	6	9	7-8	13	13	13	13	10-12
2	1	1	1	2	4	4	7-8	9	13	13	13	13	13
3	1	1	1	2	4	6	9	9	13	13	13	13	13
4	1	1	2	3	5	5	7-8	7-8	13	13	10-12	13	10-12
5	1	1	2	3	4	5	7-8	7-8	13	13	13	13	13
6	1	1	2	2	3	5	7-8	7-8	10-12	13	13	13	13
7	1	1	2	2	3	5	7-8	7-8	10-12	10-12	13	13	13
8	1	3	2	2	4	5	9	6	7-8	13	13	9	13
9	1	2	2	3	3	6	7-8	7-8	9	13	13	13	13
10	1	1	2	3	4	5	7-8	7-8	13	13	13	13	13
11	1	1	2	1	3	5	7-8	9	13	13	10-12	13	13
12	1	1	2	3	4	4	7-8	7-8	13	13	13	13	13
13	1	1	2	3	5	5	7-8	9	13	13	13	13	13
14	1	1	2	2	4	5	7-8	10-12	13	13	13	13	13
15	1	1	2	3	4	4	7-8	7-8	13	13	13	11	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฅ1 (ต่อ) ผลทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของกระดาษวัดพีเอชที่จัดเตรียมขึ้น ซึ่งทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง 26 คน

คน ที่	pH												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	1	1	2	3	4	6	7-8	12	7-8	9	13	13	10- 12
17	1	1	2	3	4	5	7-8	6	9	13	13	4	13
18	1	1	1	6	2	13	1	13	13	13	13	13	9
19	1	1	1	3	4	6	9	9	13	13	13	13	13
20	1	1	2	2	3	5	7-8	10	10- 12	13	13	13	13
21	1	1	1	3	4	4	10- 12	9	13	13	13	13	13
22	1	1	2	2	3	5	10- 12	7-8	10- 12	13	13	13	13
23	1	1	2	3	5	6	7-8	7-8	13	13	10- 12	13	10- 12
24	1	1	2	3	4	6	10- 12	9	13	13	13	13	13
25	1	1	1	1	3	4	7-8	13	13	13	13	13	13
26	1	1	1	1	3	4	7-8	6	10- 12	13	13	5	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ณ2 ผลทดสอบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชด้วยการเทียบสีกับสเกลมาตรฐานที่จัดเตรียมขึ้นในรูปสารละลาย

คน ที่	pH												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	4	3	4	4	6	7-8	6	10- 12	10- 12	10-12	13	13
2	1	1	2	4	6	7-8	7-8	7-8	10- 12	13	13	13	13
3	1	4	3	4	6	6	7-8	6	10- 12	13	13	13	13
4	1	1	3	6	7-8	6	7-8	6	5	9	9	10- 12	13
5	1	2	2	3	4	5	7-8	6	7-8	7-8	10-12	12	13
6	1	1	2	3	4	6	7-8	7-8	10- 12	7-8	13	9	10- 12
7	1	2	2	3	5	5	6	7-8	9	7-8	10-12	12	10- 12
8	1	1	2	3	4	5	7-8	7-8	10- 12	10- 12	13	13	13
9	1	1	2	3	5	5	7-8	7-8	10- 12	10- 12	13	13	13
10	1	1	2	3	4	6	7-8	7-8	10- 12	10- 12	10-12	12	10- 13
11	1	1	1	3	4	5	10- 12	7-8	10- 12	13	13	13	13
12	1	2	3	4	5	6	7-8	7-8	10- 9	12	10-12	13	13
13	1	2	3	3	4	6	7-8	7-8	9	13	10-12	13	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ณ2 (ต่อ) ผลทดสอบประสิทธิภาพการวัดค่าพีเอชด้วยการเทียบสีกับสเกลมาตรฐานที่จัดเตรียมขึ้นในรูปแบบ
สารละลาย

คน ที่	pH												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	1	2	3	3	4	6	7-8	7-8	9	13	10- 12	13	13
15	1	5	3	4	13	7-8	7-8	9	10- 12	10- 12	10- 12	6	13
16	1	2	3	3	4	6	5	7-8	9	13	10- 12	12	13
17	1	2	2	2	4	6	7-8	7-8	10- 12	13	10- 12	10- 12	13
18	1	3	3	3	4	6	7-8	7-8	9	13	10- 12	9	13
19	1	2	3	3	3	6	7-8	7-8	9	13	9	10- 12	10- 12
20	1	2	3	4	13	13	7-8	9	10- 12	13	4	7-8	10- 12
21	1	1	3	4	10- 12	10- 12	7-8	13	13	13	6	7-8	13
22	2	1	3	4	5	6	7-8	7-8	10- 12	9	10- 12	9	13
23	1	2	3	4	5	6	7-8	5	9	13	13	10- 12	13
24	1	6	6	5	6	4	7-8	13	1	13	13	9	13
25	1	1	3	4	5	6	7-8	7-8	9	13	13	10- 12	13
26	1	1	3	10- 12	4	6	7-8	7-8	10- 12	13	9	13	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้